

ISSN 2664-262X

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет

**ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВИЙ ВІСНИК.
ТЕХНІЧНІ НАУКИ**

Збірник наукових праць
За загальною редакцією М.І. Черновола
Заснований у 1997 році

В и п у с к 3(34)

Кропивницький • 2020

ISSN 2664-262X

Ministry of Education and Science of Ukraine
Central Ukrainian National Technical University

**CENTRAL UKRAINIAN SCIENTIFIC BULLETIN.
TECHNICAL SCIENCES**

Collected Works
Under the general editorship of M. Chernovol
Founded in 1997

Issue 3(34)

Кропывнытскый • 2020

У науковому віснику представлені статті, присвячені проблемам проектування, експлуатації та ремонту сільськогосподарської техніки і транспортних засобів, технології виробництва, транспортних технологій та логістики, будівництва, матеріалознавства, ІТ-технологій, роботизації, автоматизації в промисловості та сільському господарстві. Наведені практичні рекомендації до використання результатів досліджень у галузях народного господарства.

Науковий вісник є фаховим виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень професорсько-викладацького складу, аспірантів, докторантів університету, а також науковців інших навчальних закладів, науково-дослідних інститутів НАНУ та промислових підприємств України.

Збірник розрахований на наукових, науково-технічних працівників різних галузей науки та техніки, ЗВО, здобувачів вчених ступенів і звань.

Рекомендовано до друку Вченою радою Центральноукраїнського національного технічного університету, протокол від 19 жовтня 2020 року № 2.

Головний редактор: д-р техн. наук, проф. Черновол М.І.

Редакційна колегія: Аулін В.В., д-р техн. наук, проф., (заступник головного редактора за галузями: 13 «Механічна інженерія», 19 «Архітектура та будівництво», 20 «Аграрні науки та продовольство», 27 «Транспорт»); Кузик О.В., канд. техн. наук (відповідальний секретар за галузями: 13 «Механічна інженерія», 19 «Архітектура та будівництво», 20 «Аграрні науки та продовольство», 27 «Транспорт»); Осадчий С.І., д-р техн. наук, проф. (заступник головного редактора за галузями: 12 «Інформаційні технології», 15 «Автоматизація та приладобудування»); Березюк І.А., канд. техн. наук, доц. (відповідальний секретар за галузями: 12 «Інформаційні технології», 15 «Автоматизація та приладобудування»); Белоцерковський М.А., д-р техн. наук, проф. (Білорусь); Боков В.М., канд. техн. наук, доц.; Варума Аріфа, Dr PhD (Нігер); Васильковський О.М., канд. техн. наук, проф.; Віхрова Л.Г., канд. техн. наук, проф.; Гамалій В.Ф., д-р ф.-м. наук, проф.; Гасенко А.В., канд. техн. наук, доц.; Гриньків А.В., канд. техн. наук, ст. наук. співр.; Жорнік В.І., д-р техн. наук (Білорусь); Зоценко М.Л., д-р техн. наук, проф.; Івашук В.В., д-р техн. наук, доц.; Кириченко А.М., д-р техн. наук, проф.; Клименко В.В., д-р техн. наук, проф.; Немировський Я.Б., д-р техн. наук; Павленко І.І., д-р техн. наук, проф.; Панков А.О., д-р ф.-м. наук, доц.; Сало В. М., д-р техн. наук, проф.; Смірнов О.А., д-р техн. наук, проф.; Смірнов С.А., канд. техн. наук; Солових Є.К., д-р техн. наук, проф.; Сторчак М.Г., д-р техн. наук, ст. наук. співр. (Німеччина); Філімоніхін Г.Б., д-р техн. наук, проф.

Адреса редакційної колегії: 25030, м. Кропивницький, проспект Університетський, 8,
Центральноукраїнський національний технічний університет, тел.: +380 (522) 390-472, +380 (522) 390-437, +380 (522) 55-10-49.

Офіційний сайт: <http://mapiea.kntu.kr.ua/>

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації. Редакція може публікувати статті в порядку обговорення, не поділяючи точки зору автора.

Науковий вісник заснований у 1997 році.

Включений до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (доктора філософії) в галузі технічних наук (постанови Президії ВАК України від 9 червня 1999 року №1-05/7, від 14 жовтня 2009 року № 1-05/4; накази Міністерства освіти і науки України від 29 грудня 2014 року № 1528, від 07 листопада 2018 року № 1218, від 02 липня 2020 року № 886, від 24 вересня 2020 року № 1188).

Науковий вісник зберігається в загальнодержавній реферативній базі даних «Україніка наукова» Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського та представлений у міжнародних наукометричних базах даних *Index Copernicus*, *CrossRef*, *WorldCat*, *ResearchBib*, *Google Scholar*

Реєстраційне свідоцтво: серія KB № 23513-13353 ПП від 13.07.2018 р.

ISSN 2664-262X (p), 2707-9449 (o)

DOI: 10.32515/2664-262X

КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 621.777.22.07

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).3-11](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).3-11)**В.В. Свяцький**, доц., канд. техн. наук, **О.В. Скрипник**, доц., канд. техн. наук,
С.В. Конончук, канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*
*e-mail: svv_iamph@ukr.net***Комп'ютерне моделювання процесу прямого пресування через різні профілі матричних лійок**

Виходячи з аналізу напруженого і деформованого стану стадії пресування, що встановилася, запропоновано використовувати профіль матричної лійки, виконаний по лінії ковзання, що розділяє пружну і пластичну зону. Результати теоретичних досліджень, комп'ютерного моделювання процесу прямого пресування за допомогою програмного комплексу Deform 2D/3D, експериментальних дослідів показали, що кращі умови пресування досягаються через матрицю із профілем, який виконаний по лінії ковзання.

комп'ютерне моделювання, пресування, інструмент, матриця, профіль, зусилля, ефективність**В.В. Свяцький**, доц., канд. техн. наук, **О.В. Скрипник**, доц., канд. техн. наук, **С.В. Конончук**, канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна***Компьютерное моделирование процесса прямого прессования через различные профили матричных воронок**

На основе анализа поля линий скольжения установленной стадии прессования через симметричную одноочковую матрицу предложено использовать профиль матричной воронки, выполненный по линии скольжения, разделяющий упругую и пластическую зону. Результаты теоретических исследований, компьютерного моделирования процесса прямого прессования с помощью программного комплекса Deform 2D/3D, экспериментальных опытов показали, что оптимальные энергосиловые условия достигаются при прессовании через матрицу, которая имеет профиль, выполненный по линии скольжения.

компьютерное моделирование, прессование, инструмент, матрица, профиль, усилие, эффективность

Постановка проблеми. Інтенсифікація процесу екструзії матеріалів з метою мінімізації зусиль одержання прес-виробів має великий науковий і практичний інтерес.

Напружено-деформований стан і розміри вогнища деформації при екструзії істотно залежать від конструкції пресового інструмента і, зокрема, від форми матричної лійки [1, 2]. Проте, на сьогоднішній день не має єдиної, загально прийнятої думки щодо впливу геометрії матричної лійки на енергосилові параметри процесу екструзії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У багатьох процесах пресування використовують форму матричної лійки у вигляді усіченого конусу із кутом заходу від 90° до 120°. Широка практика застосування конусних матриць зумовлена відносно низькою собівартістю виготовлення такого пресового інструменту. Однак, матричні лійки, виконані по конусу, не забезпечують оптимальні енергосилові показники пресування [3]. Крім конічних у практиці металообробки тиском застосовуються і інші профілі матричних лійок. Увігнутий профіль, який побудований по циклоїді з радіусом $R_{\text{ц}}$, обумовлений умовою найбільшої рівномірності пластичного течії металу в матричній лійці [4]. Утворююча матриці, яка побудована по циклоїді, забезпечує найменший час

знаходження периферійних шарів металу у вогнищі деформації, що, у свою чергу, на думку авторів [4], призводить до мінімальної неоднорідності металу у поперечному перерізі випресовки.

Радіус циклоїди $R_{ц}$ визначається за формулою:

$$R_{ц} = \frac{R_0 - R}{1,741}, \quad (1)$$

де R_0 – радіус контейнера;

R – радіус отвору матриці.

Опуклий профіль, побудований по експоненті, аргументований у роботі [1] умовою сталості логарифмічної деформації λ_z на одиницю висоти матричної лійки:

$$R_z = R_0 \cdot \exp\left(-0,5\lambda \frac{z}{h}\right), \quad (2)$$

де h – висота матричної лійки;

R_z – радіус лійки на відстані z від її початку.

Опуклий профіль, запропонований у роботі [4], обґрунтований умовою забезпечення сталості усередненої швидкості деформації по висоті матричної лійки:

$$R_z = R_0 \left(1 + \frac{R_0^2 - R^2}{R^2 \cdot h} z\right)^{-0,5}. \quad (3)$$

При пресуванні кольорових металів і сплавів через прямокутну матрицю ($\alpha = 90^\circ$) було виявлено [5], що в контейнері утворюються "загальмовані" зони металу, які формують "природню" матричну лійку, близьку за формою до сфери. Р. Хілл [6] теоретично обґрунтував, що границі, які розділяють пружні й пластичні зони, є лініями ковзання або лініями, що їх огинають. При цьому форма цієї границі, за даними досліджень [7], суттєво не залежить від степені деформації, швидкості пресування, температури заготовки і природи сплаву.

Таким чином, дотепер не існує єдиної точки зору про вплив геометрії вогнища деформації на енергосилові параметри процесу пресування металів.

Постановка завдання. На основі теоретичних досліджень і комп'ютерного моделювання за допомогою програмного комплексу Deform 2D/3D встановити вплив різних профілів матричних лійок на одержання прес-виробів із найменшими енергосиловими параметрами.

Виклад основного матеріалу. Нами проведено дослідження з визначення профілю матричної лійки на основі аналізу поля ліній ковзання сталої стадії пресування через симетричну одноочкову матрицю [3]. Подібний підхід виконаний у роботі В. Джонсона та Х. Кудо [8], де показано, що в сталому процесі пресування поле ліній ковзання залишається фіксованим за формою і є незмінним у часі.

Поле ліній ковзання відповідає схемі пресування через шорстку матрицю із жорстко-пластичними зонами у кутах. Розв'язок завдання (побудова поля ліній ковзання) у системі декартових координат xOy із центром поля в точці O' зводиться до розв'язку системи рівнянь [9]

$$\begin{cases} \frac{x}{R_{отв}} = \sqrt{2} \cos\left(\frac{\pi}{4} - \varphi\right) \cdot J_0 \cdot (2\sqrt{\alpha\beta}) + 2 \cos \varphi U_1(2\beta, 2\sqrt{\alpha\beta}) - 2 \sin \varphi U_0(2\beta, 2\sqrt{\alpha\beta}), \\ \frac{y}{R_{отв}} = -\sqrt{2} \sin\left(\frac{\pi}{4} - \varphi\right) \cdot J_0 \cdot (2\sqrt{\alpha\beta}) + 2 \sin \varphi U_1(2\beta, 2\sqrt{\alpha\beta}) - 2 \cos \varphi U_0(2\beta, 2\sqrt{\alpha\beta}), \end{cases}$$

при таких граничних умовах: координати крайніх ліній ковзання збігаються із границями "мертвої зони", їхній нахил до стінки контейнера визначається коефіцієнтом тертя відповідно:

$$\delta = \frac{1}{2} \arccos \frac{\tau}{k},$$

де α і β – криволінійні координати;

J_0 – функція Бесселя нульового порядку;

U_0, U_1 – функції Ломмеля двох змінних (криволінійних координат α і β) нульового і першого порядку, відповідно;

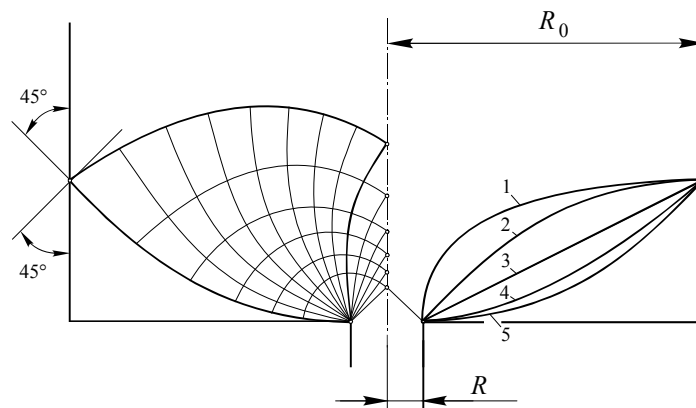
τ – величина дотичного напруження, що діють на стінках контейнера;

k – пластична постійна;

φ – коефіцієнт, що розраховується за формулою:

$$\varphi = \alpha + \beta.$$

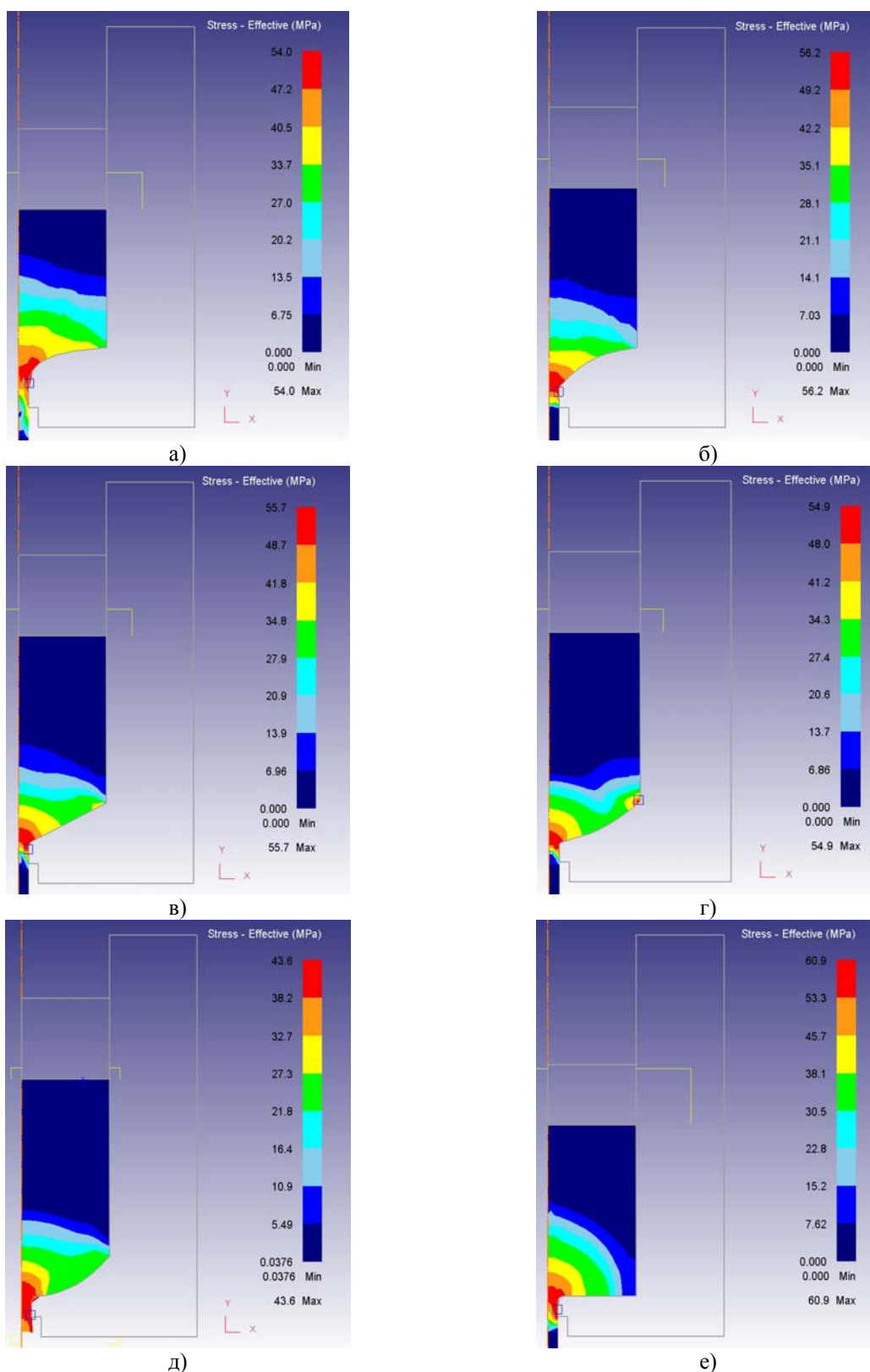
За допомогою комп'ютерного моделювання прямого пресування свинцевих зразків із величиною витяжки $\mu = 81$ ($R_0 = 22.5$ мм, $R = 2.5$ мм) зі швидкістю 1 мм/сек досліджувалися такі типи профілів матричних лійок: увігнута по циклоїді, яка побудована по залежності (1); опукла, що побудована по логарифмічній залежності (2); друга опукла, розрахована згідно (3); конусна і увігнута, яка побудована по лінії ковзання, що відокремлює пружні зони від пластичних у процесі пресування (рис. 1).



1 – перша опукла логарифмічна; 2 – друга опукла логарифмічна; 3 – конусна;
4 – увігнута по циклоїді; 5 – увігнута по лінії ковзання

Рисунок 1 – Поле ліній ковзання для сталої стадії пресування і профілі матричних лійок
Джерело: розроблено автором

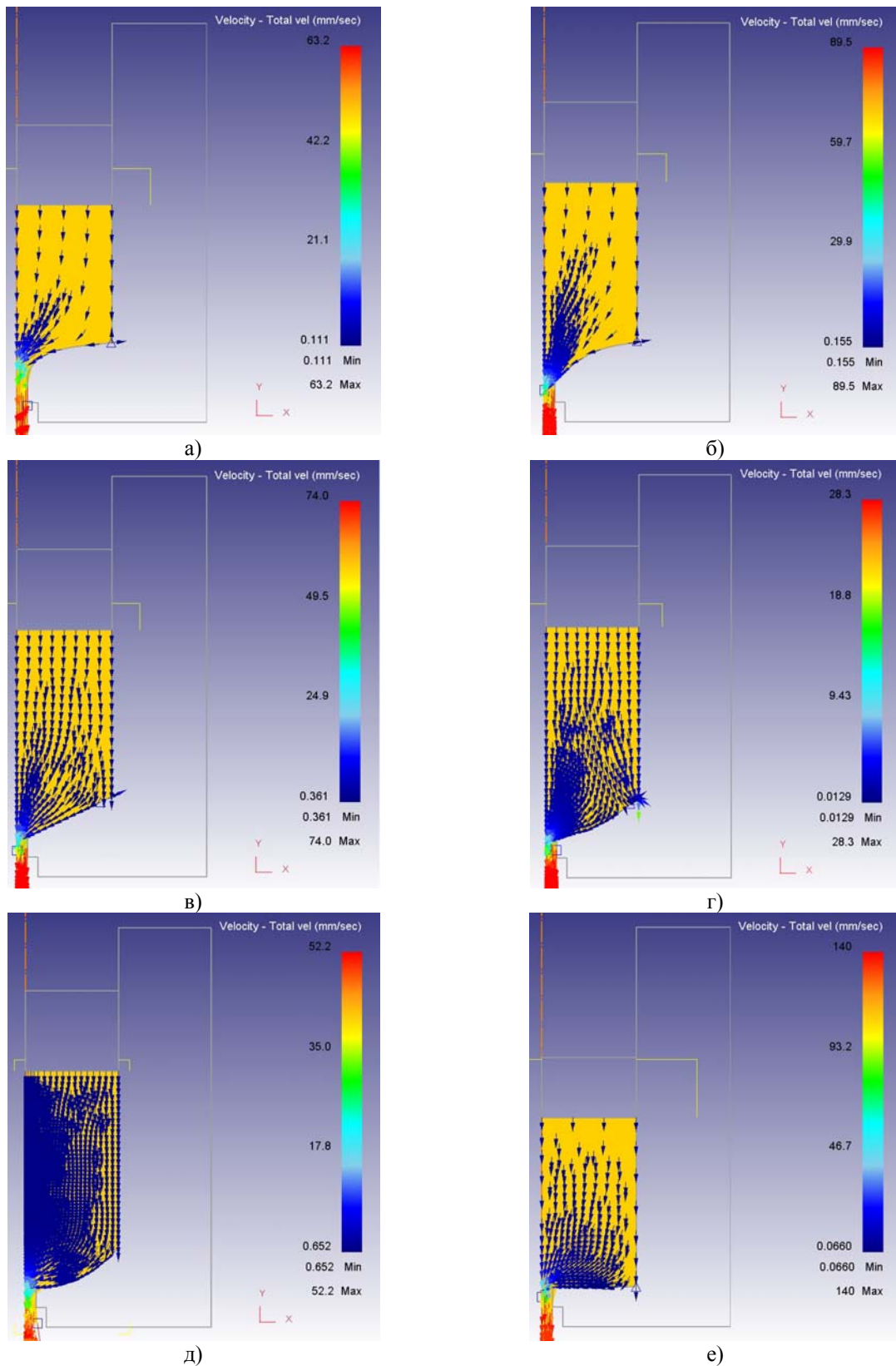
Аналіз комп'ютерного моделювання силових параметрів пресування (рис. 2 – 5) показав суттєву перевагу ввігнутих профілів матриць щодо інших профілів. При пресуванні через матрицю, профіль якої виконаний по лінії ковзання, що відокремлює пластичну зону від пружної (рис. 5, д), відзначені найменші енергосилові витрати в порівнянні із профілем циклоїдної матриці (рис. 5, г). До того ж, побудова лінії ковзання (лінії максимальних зсувних деформацій) теоретично обґрунтована, і для різних степенів витяжки лінія ковзання, яка відокремлює пластичну зону від жорсткої, в кожному окремому випадку буде різною, а при $\mu = 4$ ($R_k/R_0 = 2$) лінія ковзання буде мати нахил до осі симетрії кут 45° , і як наслідок, в цьому випадку криволінійний профіль матриці перетвориться в конусний. У той же час циклоїдний профіль, згідно [4], будується через дві вузлові точки: перша – точка гострої кромки отвору матриці, друга – точка сполучення профілю матриці і контейнера, ордината якої дорівнює висоті конусної матриці. Отже, для різних степенів витяжки профіль циклоїдної матриці буде завжди криволінійним, що веде до некерованості енергосиловими характеристиками процесу пресування.



*a – перша опукла логарифмічна; б – друга опукла логарифмічна; в – конусна;
г – увігнута по циклоїді; д – увігнута по лінії ковзання; е – прямокутна*

Рисунок 2 – Розподіл інтенсивностей напружень для сталої стадії пресування через різні типи матричних ліжок

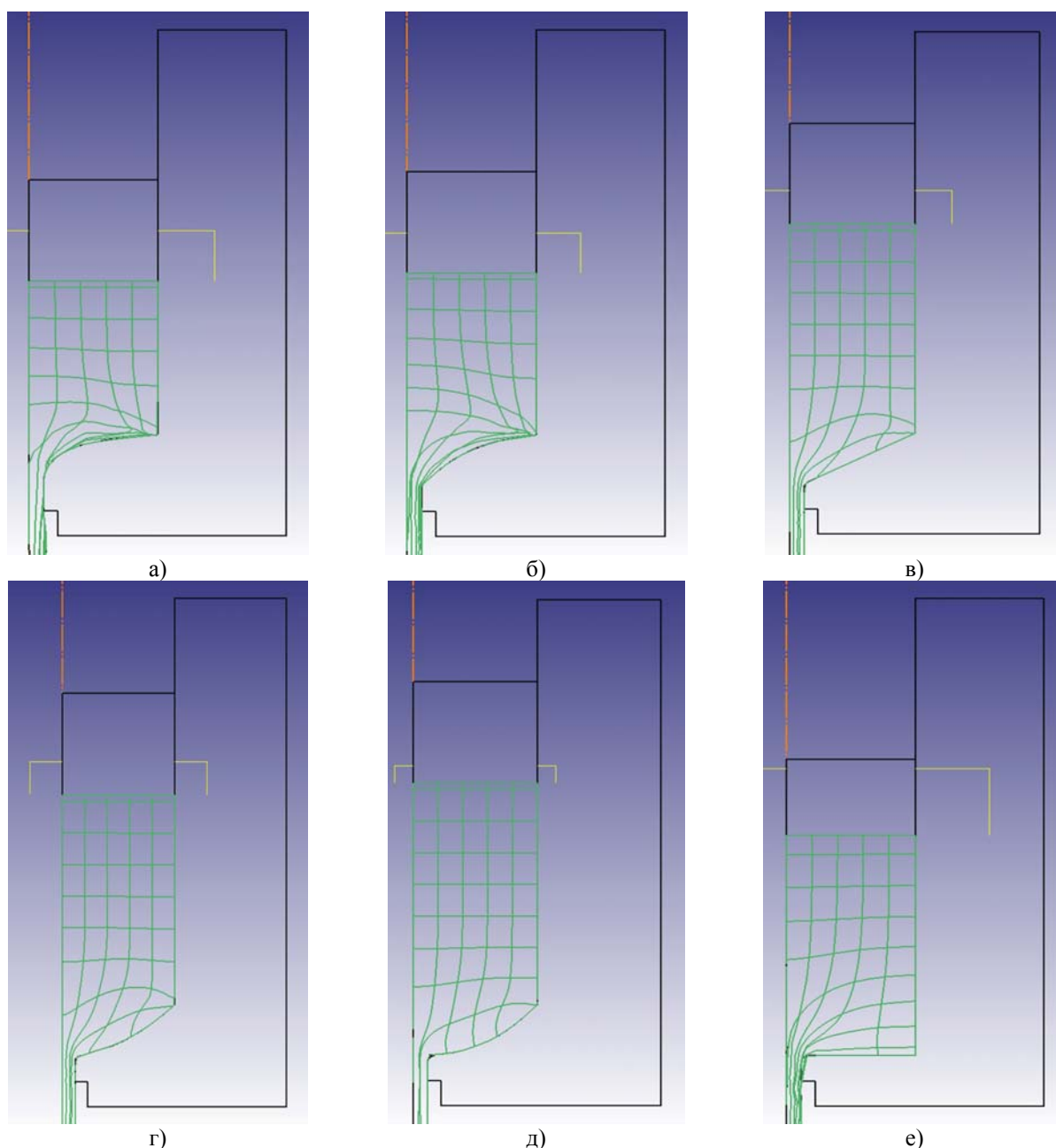
Джерело: розроблено автором



*а – перша опукла логарифмічна; б – друга опукла логарифмічна; в – конусна;
г – увігнута по циклоїді; д – увігнута по лінії ковзання; е – прямокутна*

Рисунок 3 – Векторне поле швидкостей для сталої стадії пресування
через різні типи матричних лійок

Джерело: розроблено автором

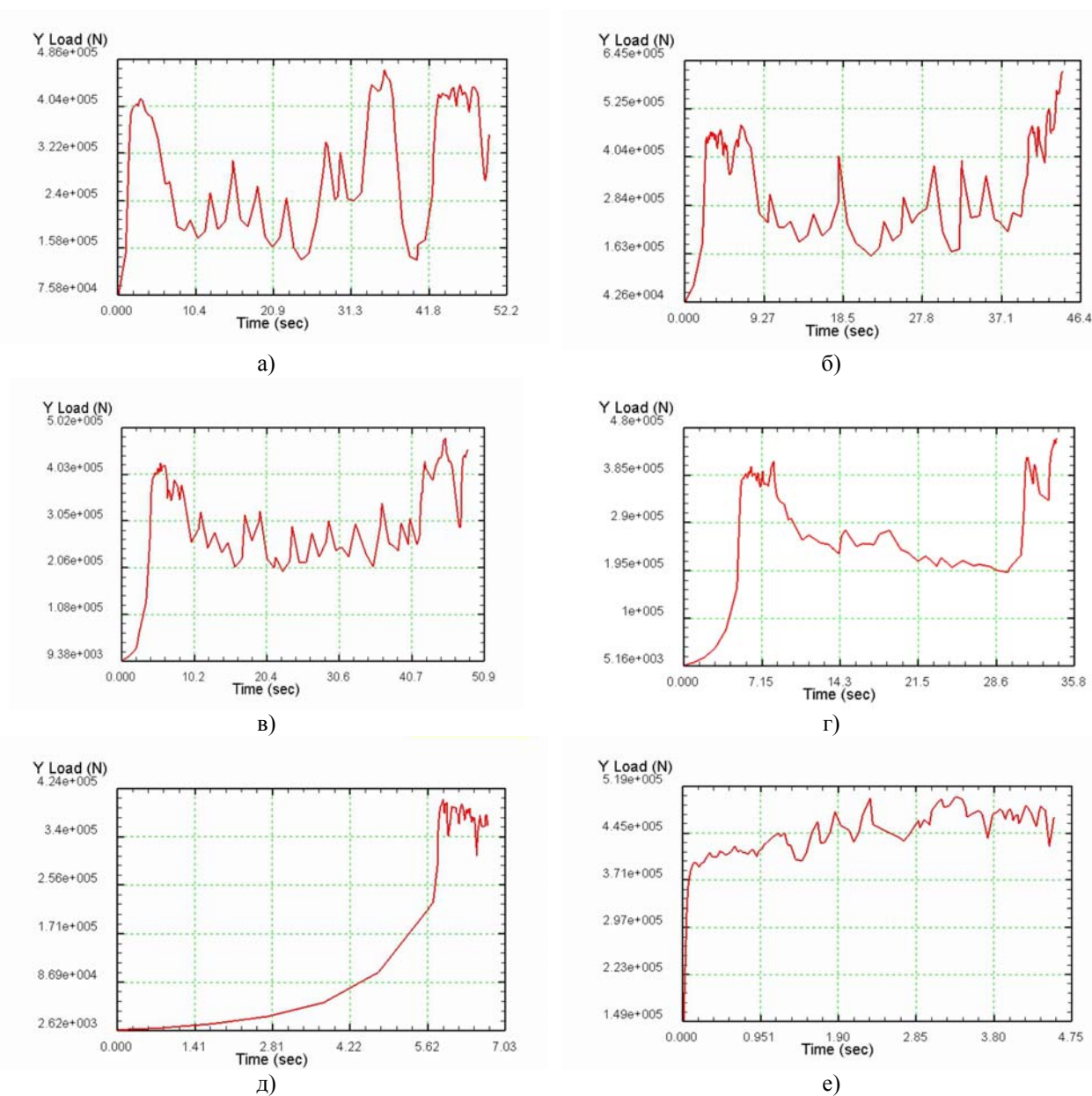


*a – перша опукла логарифмічна; б – друга опукла логарифмічна; в – конусна;
г – увігнута по циклоїді; д – увігнута по лінії ковзання; е – прямокутна*

Рисунок 4 – Викривлення координатної сітки для сталої стадії пресування через різні типи матричних лійок

Джерело: розроблено автором

Експериментальна перевірка теоретичних положень проводилася нами при пресуванні дискретних тіл (гранул) [10, 11]. Особливості характеру течії гранул, наявність межгранулярного контактного тертя дає можливість більш переконливо показати розподіл результуючих деформацій у вогнищі пресування. Для цього використовували такі типи матриць: матриця із профілем, побудованим по лінії ковзання, що відокремлює пружні зони від пластичних; опукла логарифмічна, побудована згідно із залежністю (2), і яка має із двох опуклих лійок найменші енергосилові характеристики пресування; а також конусна. Загальний вид прес-залишків для кожного типу матриць наведено в [10].



*а – перша опукла логарифмічна; б – друга опукла логарифмічна; в – конусна;
г – увігнута по циклоїді; д – увігнута по лінії ковзання; е – прямокутна*

Рисунок 5 – Графіки зусиль пресування через різні типи матричних лійок в залежності від переміщення прес-шайби

Джерело: розроблено автором

Результати експериментального дослідження кінетики течії дискретного середовища (гранул) [10, 11], як і комп'ютерного моделювання [12 – 14], показали, що форма матричної лійки матриці чинить вплив на геометрію вогнища деформації і розподіл деформацій у прес-виробі. З аналізу деформацій гранул визначено, що для увігнутої лійки, побудованої по лінії ковзання, характерне викривлення вісесиметричних частинок у напрямку деформації (рис. 4). Ці викривлення під час руху частинок від периферійних шарів до осі симетрії матриці; у опуклої лійки геометрія вогнища деформації є найбільшою; для конічної течія металу є близькою до радіальної в напрямку усіченого конуса (рис. 2).

Висновки. Таким чином, результати теоретичних досліджень, комп'ютерного моделювання процесу прямого пресування за допомогою програмного комплексу

Deform 2D/3D, експериментальних дослідів показали, що інтенсифікація процесу екструзії досягаються при використанні матриці, що має профіль, виконаний по лінії ковзання, яка відокремлює пластичну зону від жорсткої.

Список літератури

1. Норицин И.А., Акаро И.Л., Перфилов А.А. Влияние профиля матричной воронки на параметры процесса прямого прессования. *Кузнечно-штамповочное производство*. 1971. № 12. С. 1–8.
2. Сафаров Ю.С., Геращенко В.И. К вопросу о выборе оптимальной геометрии инструмента при прессовании. *Кузнечно-штамповочное производство*. 1971. № 12. С. 8–11.
3. Шепельский Н.В., Свяцкий В.В. Оптимизация профиля матричной воронки для прессования. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. 2000. № 8. С. 10–12.
4. Глебов Ю.П., Перлин И.М. О форме упругой зоны матрицы при прессовании через одноканальную матрицу. *Известия вузов. Цветная металлургия*. 1961. № 2. С. 27–30.
5. Норицын И.А. Анализ скоростных параметров прямого прессования и волочения. *Процессы штамповки и их технологические параметры*. М. : Машгиз, 1959. С. 117–127.
6. Хилл Р. Математическая теория пластичности. М. : ГИТТЛ, 1956. 407 с.
7. Батурин А.И. Влияние технологических параметров на размеры и форму очага деформации при прямом способе прессования алюминиевых сплавов через плоскую матрицу. *Кузнечно-штамповочное производство*. 1970. № 1. С. 6–8.
8. Джонсон В., Кудо Х. Механика процесса выдавливания металла. М. Металлургия, 1965. 174 с.
9. Теоретические основыковки и объемной штамповки / Макушок Е.М., Матусевич А.С., Северденко В.П., Сегал В.М. Минск : Наука и техника, 1968. 408 с.
10. Шепельский Н.В. Свяцкий В.В. Выбор рациональной геометрии матричной воронки для прессования. *Физика и техника высоких давлений*. 2000. Т. 10. № 4. С. 57–61.
11. Шепельский Н.В., Свяцкий В.В. Влияние геометрии очага деформации на процесс получения разобщенных волокон при прессовании литых гранул. *Збірн. наук. праць ДДМА. Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні*. 2000. С. 242–247.
12. Свяцкий В.В. Моделювання процесу прямого пресування з використанням криволінійних профілів матричних лійок. *Литво. Металургія. 2020* : зб. матеріалів XVI міжнар. наук.-техн. конф. Тези доповідей, Запоріжжя : ФОП Мокшанов В.В., 2020. С. 294-296.
13. Свяцкий В.В. Вплив вогнища деформації на енергосилові параметри процесу пресування. *Organization of scientific research in modern conditions '2020*. Conference Proceedings, USA. Seattle : KindleDP, 2020. P. 78-82.
14. Свяцкий В.В. Аналіз моделювання енергосилових параметрів процесу прямого пресування. *Прикладні науково-технічні дослідження* : зб. матеріалів IV міжнар. наук.-прак. конф. Тези доповідей, Івано-Франківськ : ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», 2020. Т. 1. С. 72-74.

Referencis

1. Noricin, I.A., Akaro, I.L. & Perfilov, A.A. (1971). Vlijanie profilja matrichnoj voronki na parametry processa prjamoogo pressovanija [The effect of the matrix funnel profile on the parameters of the direct extrusion process]. *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo – Forging and stamping*, 12, 1-8 [in Russian].
2. Safarov Ju.S. & Gerashhenko V.I. (1971). K voprosu o vybore optimal'noj geometrii instrumenta pri pressovanii [To the question of choosing the optimal tool geometry during pressing]. *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo – Forging and stamping*, 12, 8-11 [in Russian].
3. Shepel'skij, N.V. & Svjackij, V.V. (2000). Optimizacija profilja matrichnoj voronki dlja pressovanija [Optimization of the die profile for extrusion]. *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem – Forging and stamping. Materials Forming*, 8, 10-12 [in Russian].
4. Glebov, Ju.P. & Perlin, I.M. (1961). O forme uprugoj zony matricy pri pressovanii cherez odnokanal'nuju matricu [On the shape of the elastic zone of the matrix during pressing through a single-channel matrix]. *Izvestija vuzov. Cvetnaja metallurgija – Proceedings of the universities. Non-ferrous metallurgy*, 2, 27-30 [in Russian].
5. Noricyn, I.A. (1959). Analiz skorostnyh parametrov prjamoogo pressovanija i volochenija [Analysis of speed parameters of direct pressing and drawing]. *Processy shtampovki i ih tehnologicheskie parametry – Stamping processes and their technological parameters*. Moscow: Mashgiz, 117-127 [in Russian].
6. Hill R. (1956). Matematicheskaja teorija plastichnosti [Mathematical Theory of Plasticity]. M.: GITTL [in Russian].
7. Baturin, A.I. (1970). Vlijanie tehnologicheskikh parametrov na razmery i formu ochaga deformacii pri prjamom sposobe pressovanija aljuminievjyh splavov cherez ploskuju matricu [The influence of

- technological parameters on the size and shape of the deformation zone in the direct method of pressing aluminum alloys through a flat matrix]. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo – Forging and stamping*, 1, 6-8 [in Russian].
8. Dzhonson, V. & Kudo, H. (1956). *Mehanika processa vydavlivaniya metalla* [Mechanics of the extrusion process]. M.: Metallurgija [in Russian].
 9. Makushok, E.M., Matusovich, A.S., Severdenko, V.P. & Segal, V.M. (1968). *Teoreticheskie osnovy kovki i obemnoj shtampovki* [Theoretical Foundations of Forging and Volumetric Stamping]. Minsk: Nauka i tehnika, 408 [in Russian].
 10. Shepel'skij, N.V. & Svjackij, V.V. (2000). Vybora racional'noj geometrii matrichnoj voronki dlja pressovaniya [The choice of rational geometry of the matrix funnel for pressing]. *Fizika i tehnika vysokih davlenij – High Pressure Physics and Technology*, 10, 4, 57-61 [in Russian].
 11. Shepel'skij, N.V. & Svjackij, V.V. (2000). Vlijanie geometrii ochaga deformacii na process poluchenija razobshhennykh volokon pri pressovanii lityh granul [The influence of the geometry of the deformation zone on the process of obtaining fragmented fibers during the extrusion of molding granules]. *Zbirn. nauk. prats' DDMA. Udoskonalennia protsesiv ta obladnannia obrobky tyskom v metalurhii ta mashynobuduvanni – Collection of scientific works of DDMA. Improvement of processes and equipment of pressure treatment in metallurgy and mechanical engineering*, 242-247 [in Russian].
 12. Sviatskyi, V.V. (2020). Modeliuvannia protsesu priamoho presuvannia z vykorystanniam kryvoliniynykh profiliv matrychnykh lijk [Modeling of direct extrusion process using curved profiles of matrix funnels]. *Lytvo. Metalurhiia. 2020: XVI mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia – XVI International Scientific and Technical Conference*. (pp. 294-296). Zaporizhzhia: sole proprietor Mokshanov V.V. [in Ukrainian].
 13. Sviatskyi, V.V. (2020). Vplyv vohnyscha deformatsii na enerhosylovi parametry protsesu presuvannia [Effect of the Deformation Zone for Power Parameters of the Extrusion Process]. *Organization of scientific research in modern conditions '2020. International Scientific and Practical Conference*. (pp. 78-82). USA. Seattle: KindleDP [in Ukrainian].
 14. Sviatskyi, V.V. (2020). Analiz modeliuvannia enerhosylovykh parametriv protsesu priamoho presuvannia [Analysis of Energy-Power Parameters Simulation of the Direct Extrusion Process]. *Prykladni naukovo-tekhnicni doslidzhennia: IV mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia – IV International Scientific and Practical Conference*. (1, pp. 72-74). Ivano-Frankivsk: Vasyl Stefanyk Precarpathian National University [in Ukrainian].

Volodymyr Sviatskyi, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Skrypnyk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Serhii Kononchuk**, PhD tech. sci.

Central Ukrainian national technical university, Kropyvnytskyi, Ukraine

Computer Simulation of the Direct Pressing Process Through Various Matrix Funnel Profiles

The stressed and deformed state of the metal and the dimensions of the center of deformation during pressing depend significantly on the design of the tool and, in particular, on the shape of the matrix funnel. However, there is still no single point of view on the influence of the geometry of the deformation center on the energy forces of the metal pressing process. Based on the analysis of the field of slip lines of the steady-state stage of pressing through a symmetric single-point matrix, it is proposed to use the profile of the matrix funnel made along the slip line separating the elastic and plastic zones. The following types of matrix funnel profiles were investigated using computer simulation of direct extrusion of lead samples with a drawing value 81 at a speed of 1 mm/s: cycloid concave; convex; the second convex, which is built on the logarithmic dependence; conical and concave, which is built along a sliding line that separates the elastic zones from the plastic in the pressing process.

The results of theoretical studies, computer simulations of the direct pressing process using the Deform 2D/3D software package, and experimental experiments have shown that optimal energy-power conditions are achieved by pressing through a matrix that has a profile made along the slip line. The results of the experimental study of the kinetics of the flow of the discrete medium showed that the shape of the matrix funnel influences the size of the deformation center and the distribution of the resulting deformation in the molding. From the analysis of deformation of the granules, it is determined that the concave funnel, built along the slip line, is characterized by a curvature of the axisymmetric particles in the direction of deformation. These curvatures decrease as the granules move to the axis of symmetry of the matrix. It is noted that for a convex funnel, the length of the deformation center is greatest; for a conical metal flow is close to the radial in the direction of the truncated cones.

computer modeling, pressing, tool, matrix, profile, force, efficiency

Одержано (Received) 12.03.2020

Прорецензовано (Reviewed) 24.03.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 681.58

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).12-21](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).12-21)

В.В. Смірнов, доц., канд. техн. наук, **Н.В. Смірнова**, доц., канд. техн. наук
*Центральнoукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,
Україна*
e-mail: swckntu@gmail.com

Архітектура контролера вузла адаптивної мобільної мережі з аморфною топологією

Наведений опис архітектури контролера вузла адаптивної мобільної мережі з аморфною топологією. Описана концепція роботи мобільної мережі. Мобільна мережа є адаптивною, що самоорганізується і здатна працювати автономно. Представлений стек протоколів мобільної мережі складається з протоколу управління, протоколу обміну даними і протоколу конфігурації. Взаємодія контролерів вузлів мережі здійснюється за допомогою декількох трансиверів, що дозволило розподілити службовий трафік, трафік даних і трафік управління по різних каналах. Мобільна мережа призначена для управління роєм об'єктів, якими можуть бути БПЛА, робототехнічні об'єкти і системи управління різними технологічними процесами.

мобільна мережа, архітектура, протокол, контролер, рій, бпла, кластер

В.В. Смирнов, доц., канд. техн. наук, **Н.В. Смирнова**, доц., канд. техн. наук
Центральнoукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Украина
Архитектура контроллера узла адаптивной мобильной сети с аморфной топологией

Приведено описание архитектуры контроллера узла адаптивной мобильной сети с аморфной топологией. Описана концепция работы мобильной сети. Мобильная сеть является адаптивной, самоорганизующейся и способна работать автономно. Представлен стек протоколов мобильной сети состоящий из протокола управления, протокола обмена данными и протокола конфигурации. Взаимодействие контроллеров узлов сети осуществляется с помощью нескольких трансиверов, что позволило распределить служебный трафик, трафик данных и трафик управления по разным каналам. Мобильная сеть предназначена для управления роём объектов, которыми могут быть БПЛА, робототехнические объекты и системы управления различными технологическими процессами.

мобильная сеть, архитектура, протокол, контроллер, рой, бпла, кластер

Постановка проблеми. В даний час існує безліч мобільних мереж різного призначення, які розрізняються архітектурою, областю використання, функціональними можливостями, вартістю реалізації та іншими характеристиками. Багато мобільних мереж об'єднують різні технічні об'єкти, які беруть участь в інформаційному обміні, але не пов'язані виконанням загального завдання. Об'єкти таких мереж не здатні впливати на прийняття рішень іншими об'єктами мережі.

Для вирішення кола специфічних завдань, наприклад, управління роєм БПЛА або робототехнічними об'єктами, що виконують частину роботи в рамках спільної справи, необхідна спеціальна мобільна мережа, що відповідає додатковим вимогам, не властивим мобільним мережам загального призначення.

Наприклад, робототехнічні об'єкти мобільної мережі (рою), що виконують завдання розмінування ділянки мінного поля, можуть з різних причин виходити з області покриття мережі або припиняти виконання локального завдання, що може вплинути на результат виконання місії.

У цьому випадку інші об'єкти рою повинні виконати завдання вибулого об'єкта, що передбачає динамічну зміну програми функціонування одного або декількох об'єктів мережі або зміна завдання рою (польотного завдання для рою БПЛА) в цілому.

Таким чином, специфіка управління роєм мобільних об'єктів передбачає застосування мобільної мережі з певними властивостями, спрямованими на забезпечення прозорості управління та функціонування мережі, забезпечення її «живучості» за рахунок самоорганізації об'єктів мережі шляхом зміни положення об'єктів мережі в просторі, тим самим ситуативно адаптуючи мережу до змінних умов існування рою.

Аналіз досліджень і публікацій. Існує ряд стандартів на мережеві протоколи для мобільних мереж відповідно до яких проводиться мережеве обладнання.

Мережеві стандарти IEEE 802.11 реалізується технологією Wi-Fi [1,2].

Мережа на основі Wi-Fi працює в діапазонах 2,4 і 5 ГГц. Забезпечуючи високу пропускну здатність, технологія має ряд недоліків, що перешкоджають побудові мобільної мережі для управління роєм об'єктів, а саме: обмежена кількість одночасних з'єднань (10-50 в залежності від застосовуваного контролера), великий час встановлення з'єднання (до 10 секунд) і відносно великий струм споживання.

Мережевий стандарт IEEE 802.15.4 реалізується технологією ZigBee для маршрутизованих радіомереж. Розроблено групою ZigBee Alliance [3-6].

Стандарт визначає два типи вузлів мережі: повнофункціональний пристрій Full-Function Device (FFD) і пристрої з полегшеними функціями Reduced-Function Device (RFD). Пристрій FFD є координатором мережі і може виконувати функції загального вузла. Пристрій RFD є простим пристроєм і не може виконувати функції координатора.

Мережа на основі ZigBee може бути одноранговою з топологією peer-to-peer (P2P), або мати топологію «зірка». Мережа повинна мінімум один FFD.

Мережі P2P можуть створювати довільні структури з'єднань і є основою для мереж, здатних до самоврядування і організації. Однак ZigBee не реалізує ці функції, що є перешкодою для застосування технології ZigBee в мобільній мережі для управління роєм об'єктів.

Мережа Z-Wave на основі ITU-T G.9959 [7-8] дозволяє створювати комірчасті мережі, що самоорганізуються і є гарним рішенням для управління роєм об'єктів. Однак, для створення контролерів мережі необхідно мати сертифікат союзу Z-Wave Alliance на правах члена Full Member за \$ 2500 на рік, що перешкоджає широкому використанню Z-Wave для реалізації мобільної мережі з аморфною топологією.

Мережевий стандарт IEEE 802.16 реалізується технологією WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) [9-10]. У цій технології реалізується концепція множинного доступу з поділом за часом (TDMA). Базова станція виділяє абонентським станціям тимчасові інтервали, для передачі даних в строгій черговості, що виключає колізії в середовищі передачі.

Однак, технологія вимагає використання базових станцій, абонентських станцій і обладнання для організації зв'язку між базовими станціями, що не відповідає концепції створення мобільних мереж.

Постановка задачі. Представляється доцільною розробка автономної адаптивної мобільної мережі з невисокою вартістю і обмеженою функціональністю для управління роєм об'єктів з метою виконання певного кола локальних задач. Слід взяти до уваги, що в даний час в багатьох країнах системи ройових БПЛА знаходяться в стадії розробки і лабораторних випробувань.

Архітектура контролера вузла мережі, його апаратна реалізація, стек протоколів і програмне забезпечення повинні мати низьке енергоспоживання і низьку ціну в розрахунку на ймовірність одноразового використання.

У зв'язку з цим необхідно прийняти ряд обмежень для реалізації мобільної мережі, таких, як кількість вузлів в мережі, потужність трансиверів, складність протоколів, можливості реалізації архітектури контролера вузла мережі для малих об'єктів мережі (наприклад, дронів класу Perdix) [11,12] і низькошвидкісних спеціалізованих робототехнічних систем, а також інші обмеження.

Основним завданням мобільної мережі з аморфною топологією є реалізація взаємодії об'єктів рою між собою з метою виконання поставленого завдання в умовах можливої втрати об'єктів рою. Мережа повинна забезпечити «живучість» рою при будь-якій зміні топології мережі, бути адаптованою і здатною до самоорганізації, перерозподілу та зміни завдань як окремого об'єкта, так і рою в цілому.

Таким чином, мережа повинна мати можливість працювати незалежно від операторів і самостійно приймати рішення з управління об'єктами мережі (рою).

Для вирішення цього завдання необхідна розробка архітектури мережі, стека протоколів, стратегії і правил функціонування мережі (інтелект), а також створення апаратного і програмного забезпечення контролера вузла мережі, як незалежного та самодостатнього модуля.

Виклад основного матеріалу. Для реалізації поставленого завдання була розроблена архітектура контролера вузла мобільної мережі, на основі якої були створені алгоритми функціонування, апаратне і програмне забезпечення контролера.

Більшою мірою базова архітектура контролера вузла мобільної мережі включає в себе перевірені рішення інших архітектур, які доповнені апаратними та програмними засобами, необхідними для виконання мережею заданих функцій. Архітектура контролера вузла мобільної мережі представлена на рис. 1.

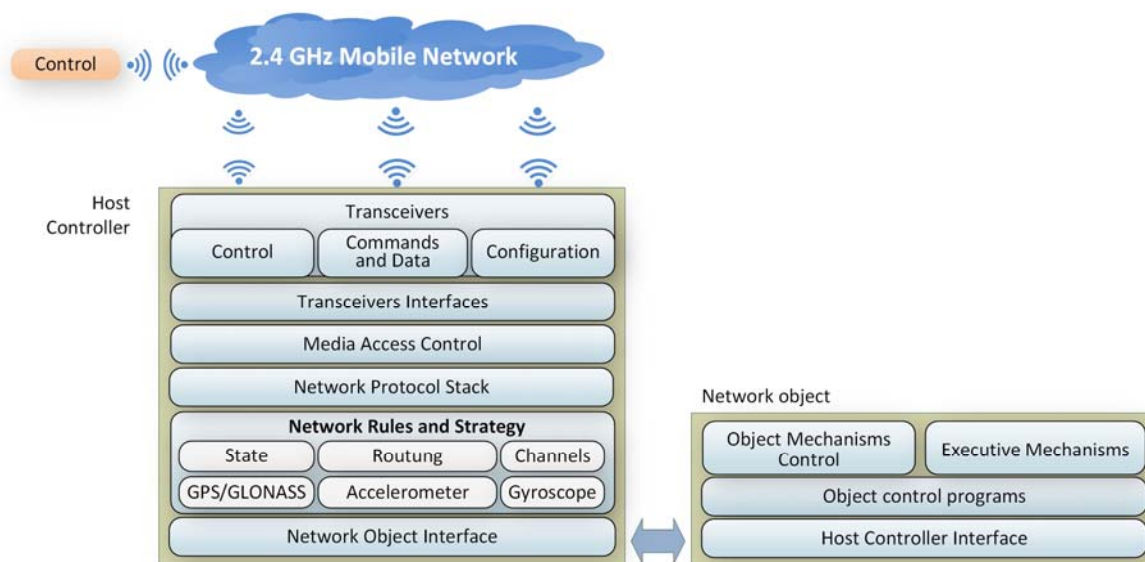


Рисунок 1 – Архітектура контролера вузла мобільної мережі

Джерело: розроблено автором

Контролер взаємодіє з мережею за допомогою трьох трансиверів: трансивера управління (Control), трансивера команд і даних (Commands and Data) і трансивера конфігурації (Configuration). Застосування декількох трансиверів дозволяє

розвантажити середу передачі від зайвого трафіку. Трансивери працюють на різних каналах і з різною інтенсивністю, тому не мають негативного взаємного впливу.

Через трансивер управління здійснюється зв'язок контролера вузла мережі з оператором з метою отримання додаткових команд об'єкту мережі (об'єкту рою) і відправки інформації про поточний стан рою. У разі відсутності зв'язку з оператором рій виконує поставлене завдання відповідно до поточної програми.

Через трансивер команд і даних здійснюється обмін даними між контролерами вузлів мережі про зміни в таблицях маршрутизації, в топології мережі, в статусі об'єктів, а також передача команд управління контролерам вузлів мережі для зміни місця розташування об'єктів мережі в просторі з метою побудови потрібної топології мережі (рою).

Через трансивер конфігурації здійснюється моніторинг вузлів мережі з метою підтримки контролером вузла мережі в актуальному стані інформації про топології мережі, таблиць маршрутизації і ієрархії кластерів. Після отримання об'єктом мережі завдання від контролера вузла мережі задача утримання об'єкта в заданих координатах лежить на самому об'єкті рою.

Інтерфейси з трансиверами (Transceivers Interfaces) забезпечують взаємодію трансиверів з блоком доступу до середовища передачі, який реалізує стек мережевих протоколів. При необхідності, якщо кількість об'єктів в мережі починає впливати на її продуктивність, до складу інтерфейсу можуть входити додаткові контролери, які реалізують відповідні функції з метою розвантаження основного контролера.

Стек мережевих протоколів (Network Protocol Stack) містить протоколи управління, обміну командами та даними і протоколи конфігурації.

Основним блоком, який визначає інтелект контролера вузла мережі є блок правил і стратегії поведінки мережі (Network Rules and Strategy). У блок входять програмні модулі управління маршрутизацією (Routing), перемиканням каналів трансиверів (Channels), модуль визначення координат (GPS/GLONASS) і статусу об'єкта (State).

GPS, акселерометр і гіроскоп з відповідним програмним забезпеченням є основними модулями, які беруть участь в конфігурації, побудові і підтримці просторової топології мережі як в статичному положенні рою, так під час його переміщення (рис. 2).

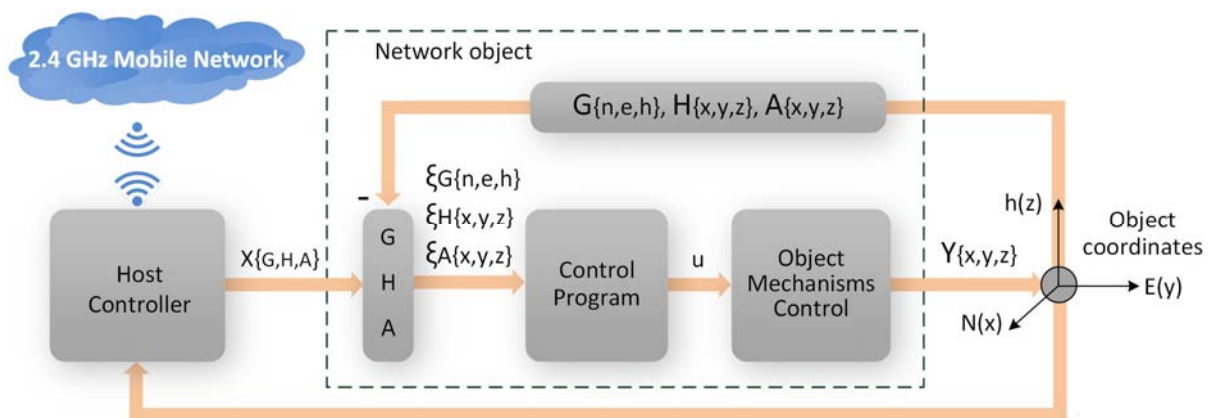


Рисунок 2 – Управління просторовим положенням об'єкта мобільної мережі

Джерело: розроблено автором

де G, H, A - вектор значень впливів, що задаються, GPS (G), гіроскопа (H) і акселерометра (A);

$\xi_G \{n, e, h\}$, $\xi_H \{x, y, z\}$, $\xi_A \{x, y, z\}$ - помилки відхилення G, H, A координат об'єкту від заданих значень;

G {n, e, h}, H {x, y, z}, A {x, y, z} - поточні значення G, H, A.

Координати об'єкта мобільної мережі в просторі можуть визначатися координатором мережі і програмою управління контролера вузла мережі відповідно до правил і стратегією мережі. Об'єкт мережі підтримує своє положення в просторі як в абсолютних, так і у відносних координатах, а також при переміщенні рою відповідно до вираження:

$$Y\{G(n,e,h); H(n,e,h); A(n,e,h)\} - X\{G(n,e,h); H(n,e,h); A(n,e,h)\} \rightarrow 0. \quad (1)$$

Інтерфейс з об'єктом мережі (Network Object Interface) забезпечує взаємодію між контролером вузла мережі і об'єктом мережі.

Оскільки контролер вузла мобільної мережі є незалежним пристроєм, функцією якого є підтримка працездатності мережі, він може бути використаний з будь-яким пристроєм, що має послідовний комунікаційний інтерфейс SPI або UART і відповідну програму управління.

Тому об'єктом мобільної мережі може бути будь-який пристрій, такий, як коптер, рухливий наземний робототехнічний об'єкт або статичний пристрій управління будь-яким технологічним процесом.

Взаємодія між контролерами вузлів мережі здійснюється за допомогою протоколу управління, інформаційного протоколу і протоколу конфігурації.

Протокол управління (рис. 3) призначений для зв'язку оператора з контролерами вузлів мобільної мережі. Просторові координати оператора передаються в ширококомовному режимі.

Приймачем і ретранслятором пакетів стає найближчий до оператора контролер вузла мережі. Вибір об'єкта-ретранслятора здійснюється на підставі даних таблиць маршрутизації, які має кожен контролер вузла мережі.

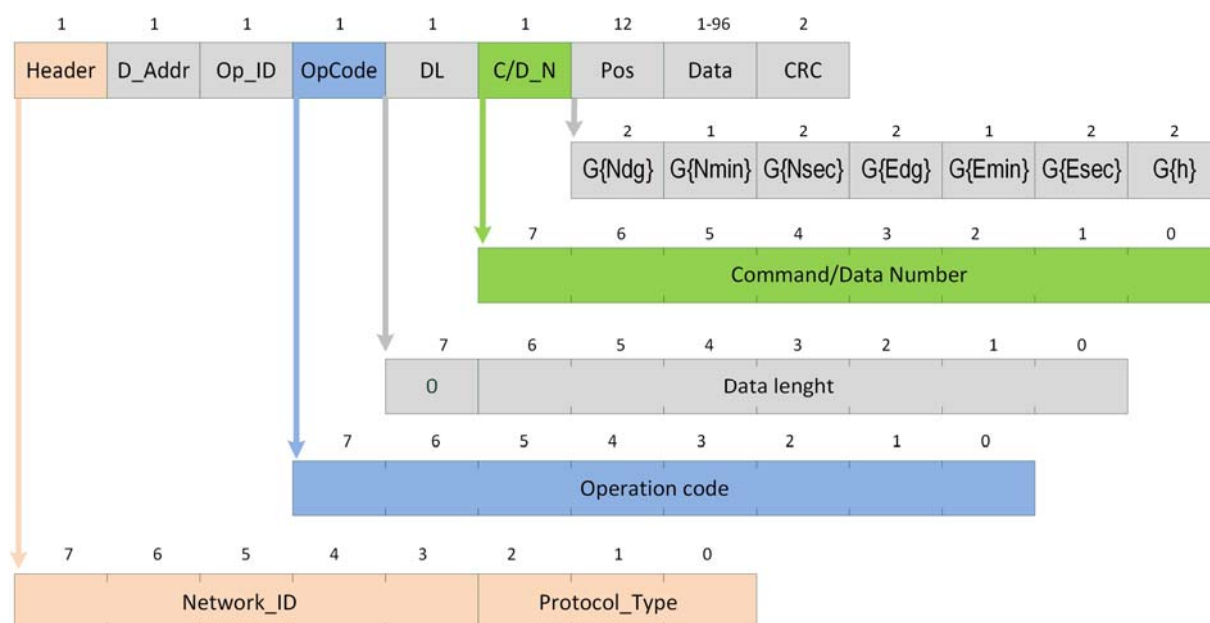


Рисунок 3 – Структура протоколу управління мобільною мережею
Джерело: розроблено автором

Призначення полів протоколу. Поле «Header» – заголовок протоколу. Поле ідентифікує мережу (32 мережі) і тип протоколу. Ідентифікація мережі необхідна, оскільки кілька мереж можуть перетинатися і знаходитися в загальній зоні покриття.

Поле «D_Addr» містить адресу об'єкта - одержувача пакета або значення «0xFF» в режимі широкомовної передачі. Поле «Op_ID» містить ідентифікатор оператора мережі. Поле «Op_Code» містить код операції для контролера вузла мережі. Поле «DL» визначає довжину поля даних в байтах.

Поле «C / D_N» містить номер даного пакета в загальній послідовності пакетів, що передаються. На кожен посланий відправником пакет від одержувача надходить квитанція про його прийом. В процесі ретрансляції пакетів виникає затримка, а в разі ретрансляції пакету по декількох каналах (при збої в системі маршрутизації) - одержувач може прийняти кілька копій пакета.

Якщо пакет прийнятий і на нього надіслано квитанцію, то всі інші копії пакета відкидаються одержувачем. Якщо у відповідь на відправлений пакет квитанція не надійшла протягом певного часового інтервалу, вважається, що об'єкт-ретранслятор вибув з мережі. У цьому випадку програма оператора запускає процедуру виявлення нового об'єкта-ретранслятора шляхом передачі широкомовного пакета з командою реконфігурації мережі. Після надходження квитанції значення поля «C / D_N» інкрементується по кільцю.

Поле «Pos» містить GPS / GLONASS / Galileo координати оператора в упакованому форматі в який перетворюються поля записів протоколу NMEA [13].

Положення оператора може змінюватися в просторі, тому передача координат оператора необхідна для прийняття рішень об'єктами мережі. Поле «Data» - поле даних 1-96 байт. Містить параметри команд і дані. Поле «СКС» - контрольна сума.

Протокол конфігурації (рис. 4) використовується об'єктами мережі для визначення поточної топології мережі, формування кластерів об'єктів, формування таблиць маршрутизації пакетів та інших службових функцій.

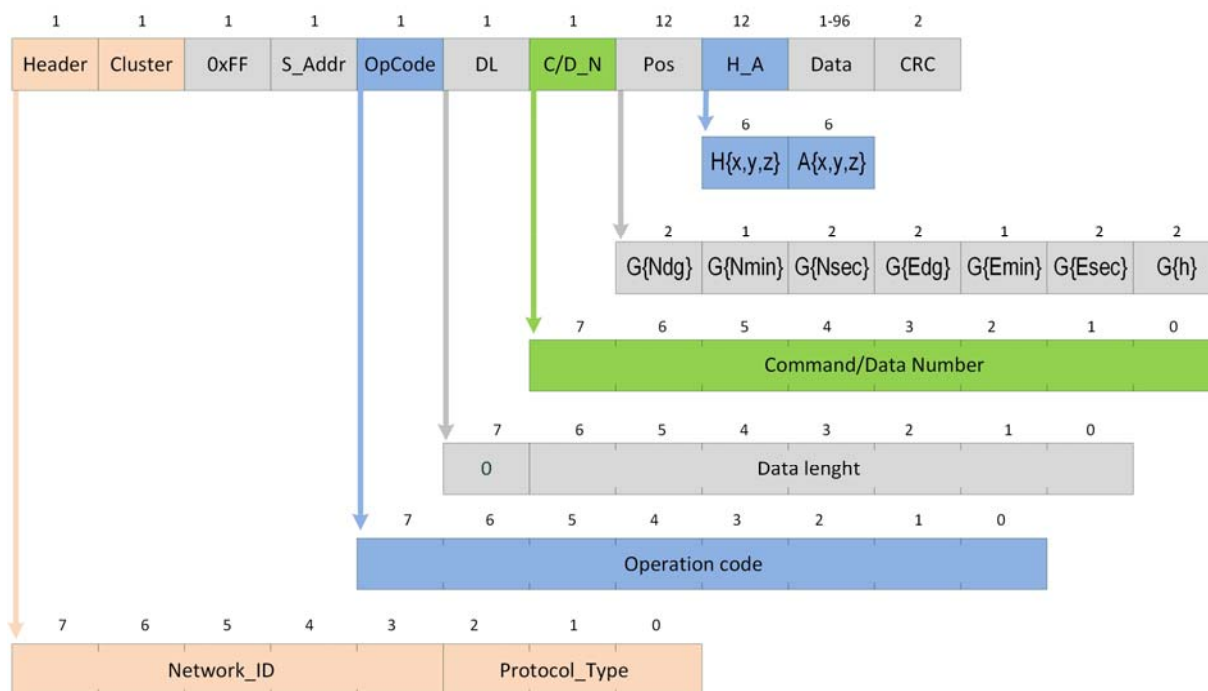


Рисунок 4 – Структура протоколу конфігурації мобільної мережі

Джерело: розроблено автором

Поле «Cluster» містить ідентифікатор кластера, до якого належить об'єкт мережі.

Поле «Pos» містить GPS / GLONASS / Galileo координати контролера вузла мережі в упакованому форматі.

Поле «H_A» містить інформацію про відмінності станів гіроскопа (H) і акселерометра (A) по осях x, y, z в момент часу H_A (t) і в момент часу H_A (t-1). Дана інформація необхідна для точного позиціонування об'єкта в просторі, дублювання поведінки ведучого об'єкта, формування певної топології мережі і виконання побудов об'єктів в порядку, наприклад, такі, як «Ланцюг», «Конвой» та інші, в залежності від поточної виконуваної роєм задачі.

Обмін даними конфігурації між контролерами вузлів мережі здійснюється безперервно по окремо виділеним каналам. Контролер вузла мобільної мережі передає дані про свій стан в ширококомовному режимі (поле адреси одержувача містить адресу 0xFF). Процедура конфігурації здійснюється без квітування пакетів

Черговість передачі даних в мережу визначається номером (ідентифікатором) контролера вузла мережі. Контролер з молодшим номером передає свої дані першим. Якщо контролер вузла мережі не передає дані в перебігу встановленого проміжку часу, то після закінчення тайм-ауту чергу передачі передається об'єкту з великим номером. Інтервал тайм-ауту визначається ступенем мобільності мережі і може мати значення від 0.5 - 2 секунди.

В процесі виконання процедури конфігурації оновлюються таблиці зв'язків з доступними контролерами вузлів мережі. Найближчий контролер визначається за даними GPS і може виступати в ролі ретранслятора.

Той контролер, у якого більше сусідніх зв'язків, створює кластер і стає координатором кластеру. З безлічі контролерів вузлів мережі кластера зі зв'язками одного рангу координатором стає контролер з більшою адресою (ідентифікатором).

У контролері вузла мобільної мережі застосований гіроскоп L3G4200D [14] і акселерометр ADXL345 [15].

Протокол обміну даними (рис. 5) має невеликі відмінності від протоколу управління. Замість поля «Op_Code» використовується поле «S_Addr» - адреса відправника. Виключено поле «Pos».

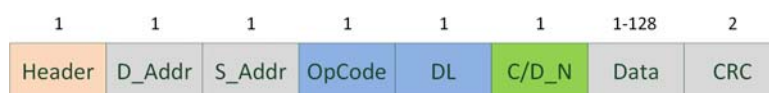


Рисунок 5 – Структура протоколу обміну даними в мобільній мережі

Джерело: розроблено автором

Інтелект мережі (рою) визначається програмним забезпеченням контролера вузла мобільної мережі. Всі контролери вузлів мережі рівнозначні, проте поведінка об'єкта рою в мережі визначається фізичною й логічною топологією мережі, яка може динамічно змінюватися. Завдання контролера вузла мобільної мережі і об'єкта рою розділені. Контролер вузла мобільної мережі виконує завдання підтримки працездатності мережі та забезпечення роботи об'єктів рою, в той час, як об'єкт рою виконує поставлене завдання в рамках загальної місії.

Висновки. Представлена архітектура контролера вузла мобільної мережі покладена в основу системи управління роєм об'єктів. Застосування декількох трансиверів дозволило розподілити трафік даних, трафік конфігурації і трафік управління по різних каналах, що дало можливість здійснювати інформаційний обмін одночасно.

Мінімізований стек протоколів. Повністю розділена функціональність вузла мережі і об'єкта мережі (рою). Топологія мобільної мережі не детермінована, аморфна і

змінюється при переміщенні об'єктів мережі в просторі. При цьому втрачаються одні зв'язки і виникають інші. Таблиці маршрутизації постійно оновлюються.

Мережа по команді або відповідно до закладеного алгоритму здатна вибудовувати потрібну топологію і організувати необхідні зв'язки з метою виконання завдання роєм об'єктів, а також для побудови ланцюжка ретрансляції пакетів для віддалених об'єктів мережі.

Таким чином, реалізація мобільної мережі при її невисокій вартості і невеликій складності дозволяє вирішити певне коло завдань. Виконавцем може бути як окремих об'єкт, пов'язаний з оператором роєм ретрансляторів, так і рій об'єктів.

З метою підвищення ефективності формування таблиць маршрутизації та мінімізації структур кластерів в мобільній мережі доцільне застосування алгоритмів оптимізації на основі теорії множин.

Список літератури

1. Brian Verenkoff Understanding and Optimizing 802.11n. Buffalo Technology. July 2011. 8 p. URL: https://www.lmi.net/wp-content/uploads/Optimizing_802.11n.pdf (дата обращения: 30.09.2020).
2. Wi-Fi Alliance® introduces Wi-Fi 6. URL: <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-alliance-introduces-wi-fi-6> (дата обращения: 30.09.2020).
3. IEEE 802.15.4-2020 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks. Standards Committee : C/LM - LAN/MAN Standards Committee. 2020.05.06. URL: https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2020.html (дата обращения: 30.09.2020).
4. IEEE 802.15.2-2003 - IEEE Recommended Practice for Information technology - Local and metropolitan area networks. Standards Committee : C/LM - LAN/MAN Standards Committee. 2003.06.12. URL: https://standards.ieee.org/standard/802_15_2-2003.html (дата обращения: 30.09.2020).
5. IEEE 802.15.4-2020 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks. Standards Committee : C/LM - LAN/MAN Standards Committee. 2020.05.06. URL: https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2020.html (дата обращения: 30.09.2020).
6. P802.15.4z/D06, Jan. 2020 - IEEE Draft Standard for Low-Rate Wireless Networks Amendment: Enhanced High Rate Pulse (HRP) and Low Rate Pulse (LRP) Ultra Wide-Band (UWB) Physical Layers (PHYs) and Associated Ranging Techniques. Jan. 2020. URL: <http://libris.kb.se/bib/fr02gv53cvb60ktf> (дата обращения: 30.09.2020).
7. Understanding Z-Wave Networks, Nodes & Devices. Vesternet Ltd. 28.01.2020. URL: <https://www.vesternet.com/pages/understanding-z-wave-networks-nodes-devices> (дата обращения: 30.09.2020).
8. Recommendation G.9959. URL: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.9959-201202-I/en> (дата обращения: 30.09.2020).
9. WiMAX Forum. URL: <http://wimaxforum.org> (дата обращения: 30.09.2020).
10. IEEE Std 802.16™-2009. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems. 29 May 2009. URL: <https://legal.vvv.enseirb-matmeca.fr/download/amichel/%5BStandard%20LDPC%5D%20802.16-2009.pdf> (дата обращения: 30.09.2020).
11. Perdix Immediate Release Department of Defense Announces Successful Micro-Drone Demonstration. Jan. 9, 2017. URL: <https://www.defense.gov/Newsroom/Releases/Release/Article/1044811/departement-of-defense-announces-successful-micro-drone-demonstration> (дата обращения: 30.09.2020).
12. Otto, Robert P. Small Unmanned Aircraft Systems (SUAS) Flight Plan: 2016-2036. Bridging the Gap Between Tactical and Strategic. Headquarters United States Air Force, AIR FORCE DEPUTY CHIEF OF STAFF WASHINGTON DC WASHINGTON DC United States, 2016.04.30. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1013675> (дата обращения: 30.09.2020).
13. ISO 6709:2008(en). Standard representation of geographic point location by coordinates. 2008. URL: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:6709:ed-2:v1:en> (дата обращения: 30.09.2020).
14. L3G4200D MEMS motion sensor: ultra-stable three-axis digital output gyroscope. STMicroelectronics group of companies. December 2010. 42 p. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/a3g4250d.pdf> (дата обращения: 30.09.2020).
15. 3-Axis, ± 2 g/ ± 4 g/ ± 8 g/ ± 16 g Digital Accelerometer ADXL345-EP. Analog Devices. URL: www.analog.com (дата обращения: 30.09.2020).

Referencis

1. Brian Verenkoff Understanding and Optimizing 802.11n. (July 2011) *Buffalo Technology* : website. *lmi.net*. Retrieved from https://www.lmi.net/wp-content/uploads/Optimizing_802.11n.pdf [in English].
2. Wi-Fi Alliance® introduces Wi-Fi 6 (n.d.) : website. *wi-fi.org*. Retrieved from <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-alliance-introduces-wi-fi-6> [in English].
3. IEEE 802.15.4-2020 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks (2020.05.06). *Standards Committee : C/LM - LAN/MAN Standards Committee* : website. *standards.ieee.org*. Retrieved from https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2020.html [in English].
4. IEEE 802.15.2-2003 - IEEE Recommended Practice for Information technology - Local and metropolitan area networks (2003.06.12). *Standards Committee : C/LM - LAN/MAN Standards Committee* : website. *standards.ieee.org*. Retrieved from https://standards.ieee.org/standard/802_15_2-2003.html [in English].
5. IEEE 802.15.4-2020 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks (2020.05.06). *Standards Committee : C/LM - LAN/MAN Standards Committee* : website. *standards.ieee.org*. Retrieved from https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2020.html [in English].
6. P802.15.4z/D06, Jan. 2020 - IEEE Draft Standard for Low-Rate Wireless Networks Amendment: Enhanced High Rate Pulse (HRP) and Low Rate Pulse (LRP) Ultra Wide-Band (UWB) Physical Layers (PHYs) and Associated Ranging Techniques (Jan. 2020) : website. *libris.kb.se*. Retrieved from <http://libris.kb.se/bib/fr02gv53cvb60ktf> [in English].
7. Understanding Z-Wave Networks, Nodes & Devices (28.01.2020). *Vesternet Ltd.* : website. *vesternet.com*. Retrieved from <https://www.vesternet.com/pages/understanding-z-wave-networks-nodes-devices> [in English].
8. Recommendation G.9959 (n.d.) : website. *itu.int*. Retrieved from <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.9959-201202-I/en> [in English].
9. WiMAX Forum (n.d.) : website. *wimaxforum.org*. Retrieved from <http://wimaxforum.org> [in English].
10. IEEE Std 802.16™-2009. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems (29 May 2009) : website. *legal.vvv.enseirb-matmeca.fr*. Retrieved from <https://legal.vvv.enseirb-matmeca.fr/download/amichel/%5BStandard%20LDPC%5D%20802.16-2009.pdf> [in English].
11. Perdix Immediate Release Department of Defense Announces Successful Micro-Drone Demonstration (Jan. 9, 2017) : website. *defense.gov*. Retrieved from <https://www.defense.gov/Newsroom/Releases/Release/Article/1044811/department-of-defense-announces-successful-micro-drone-demonstration> [in English].
12. Otto, Robert P. Small Unmanned Aircraft Systems (SUAS) Flight Plan: 2016-2036 (2016.04.30). *Bridging the Gap Between Tactical and Strategic. Headquarters United States Air Force, AIR FORCE DEPUTY CHIEF OF STAFF WASHINGTON DC WASHINGTON DC United States* : website. *apps.dtic.mil*. Retrieved from <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1013675> [in English].
13. ISO 6709:2008(en). Standard representation of geographic point location by coordinates (2008) : website. *iso.org*. Retrieved from <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:6709:ed-2:v1:en> [in English].
14. L3G4200D MEMS motion sensor:ultra-stable three-axis digital output gyroscope (December 2010). *STMicroelectronics group of companies* : website. *st.com*. Retrieved from <https://www.st.com/resource/en/datasheet/a3g4250d.pdf> [in English].
15. 3-Axis, ± 2 g/ ± 4 g/ ± 8 g/ ± 16 g Digital Accelerometer ADXL345-EP. (n.d.) *Analog Devices* : website. *analog.com*. Retrieved from www.analog.com [in English].

Volodymyr Smirnov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Natalia Smirnova**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Adaptive Mobile Network With Amorphous Topology Node Controller Architecture

The purpose of the article is to develop an adaptive mobile network node architecture with an amorphous topology. The article describes the host controller architecture. The concept of a mobile network is described. The mobile network is adaptive, self-organizing, and able to operate autonomously. The presented mobile network node controller architecture is the object swarm control system basis. A stack of mobile network protocols is presented, consisting of a control protocol, a data exchange protocol and a configuration protocol. The nodes of the network controllers interaction is carried out using several transceivers.

The use of multiple transceivers made it possible to distribute data traffic, configuration traffic, and management traffic over different channels, which made it possible to carry out information exchange at the same time. The protocol stack is minimized. The functionality of the host and the network object (swarm) is completely separated. The topology of the mobile network is not deterministic, amorphous and changes when the

network objects move in space. In this case, some connections are lost and others arise. The routing tables are constantly updated.

The network in accordance with the laid down algorithm, is able to build the necessary topology and organize the necessary connections in order to complete the task with a swarm of objects. The network is capable of building packet retransmission chains for remote network objects. Thus, the implementation of a mobile network at its low cost allows solving a certain range of problems. The performer can be either a separate object associated with the operator through a swarm of repeaters, or a swarm of objects.

In order to increase the efficiency of the formation of routing tables and minimize the cluster structures in a mobile network, it is advisable to use optimization algorithms based on set theory. The mobile network is designed to control a swarm of objects, which can be UAVs, robotic objects and control systems for various technological processes.

mobile network, architecture, protocol, controller, swarm, UAV, cluster

Одержано (Received) 14.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 28.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

КІБЕРБЕЗПЕКА

УДК 614.8.01+004

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).22-31](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).22-31)

К.М. Марченко, доц., канд. техн. наук, **О.В. Оришака**, доц., канд. техн. наук,
А.К. Марченко

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: k_marchenko@i.ua

Проблеми інформаційної безпеки людини в умовах епідемії

У статті розглянуті інформаційні причини захворювань, особливості впливу засобів масової інформації на свідомість людини під час епідемій. Розглянуто особливості інформаційних атак та зараження інформаційними вірусами. Дано рекомендації по індивідуальному захисту та підтриманню інформаційного здоров'я людини.

інформаційна безпека, інформаційна система, інформаційне забруднення, епідемія, засоби масової інформації, інформаційна атака

К.М. Марченко, доц., канд. техн. наук, **О.В. Оришака**, доц., канд. техн. наук,
А.К. Марченко

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Проблемы информационной безопасности человека в условиях эпидемии

В статье рассмотрены информационные причины заболеваний, особенности влияния средств массовой информации на сознание человека во время эпидемий. Рассмотрены особенности информационных атак и заражения информационными вирусами. Даны рекомендации по индивидуальной защите и поддержанию информационного здоровья человека.

Информационная безопасность, информационная система, информационное загрязнение, эпидемия, средства массовой информации, информационная атака

Постановка проблеми. Основними причинами епідемій, що відбулися в різні часи, були надмірна щільність населення, міграції, недотримання санітарно-гігієнічних норм і низький рівень культури населення [1].

З появою і розвитком інформаційного суспільства спостерігається експоненціальне зростання обсягів виробленої інформації і, отже, інформаційних забруднень [2]. Під інформаційними забрудненнями маються на увазі надлишкова, хаотична, непотрібна, своєчасно не віддалена інформація, перекручена інформація та дезінформація, реклама, спам, підвищений трафік людей і транспорту, шум, людські емоції та ін. Чим вище щільність населення, тим, відповідно, вище щільність інформації, інтенсивність інформаційних потоків, інформаційна забрудненість. Скупчень людей також супроводжує нагромадження інформації та інформаційних забруднень.

Хвороби набувають все більш інформаційну природу, їх причинами все частіше стає інформація. Інформаційні віруси – інформація, яка несе з собою деструктивні програми, програми, направляючі, змінюючі поведінку людини або соціальних груп, дані, що викликають негативну емоційну реакцію, таку як страх, пригніченість, агресію і т.п.

Інформаційна гігієна знаходить першорядну важливість. У споживачів інформації на даний момент відсутнє поняття техніки безпеки (сукупності засобів, методів, норм і правил) при взаємодії з інформацією, тільки зароджується поняття норм інформаційної гігієни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Впливу інформації на стан психічного здоров'я людини і проблем інформаційної безпеки людини і суспільства присвячені роботи Г.В. Грачова, П.Д. Фролова, С.В. Лихачова, Я.М. Жаркова, Є.Д. Скулиш, С.А. Зелінського та інших дослідників.

Огляд існуючих досліджень показав, що інформаційний обмін в суспільстві в період епідемії має особливості, які недостатньо вивчені.

Постановка завдання. Таким чином, актуальною задачею є дослідження закономірностей впливу інформації на стан людини, зокрема, в періоди епідемій і розробка заходів безпеки при взаємодії з інформацією.

Виклад основного матеріалу. Ментальне здоров'я, за визначенням ВООЗ (2001), – психічне благополуччя людини, яке дозволяє йому реалізувати власний потенціал, допомагає протистояти стресу, продуктивно працювати і вносити свій вклад в розвиток суспільства. Інформація має першорядний вплив на ментальне здоров'я людей як її творців, носіїв і споживачів.

Ступінь впливу інформації на людей в період епідемій зростає, оскільки люди шукають об'єктивні дані про ситуації, що склалася, частіше звертаються до наявних в їх розпорядженні джерел інформації. Головними джерелами інформації для рядового споживача є засоби масової інформації (ЗМІ), глобальні комп'ютерні мережі, усна (спілкування в реальному часі) і письмова (листування по електронній пошті, в соціальних інформаційних мережах) інформація.

Аналіз інформації, який поставляється ЗМІ, показує, що ЗМІ деструктивно орієнтовані. Це є одночасно і наслідком, і причиною вкоріненого в соціумі негативного мислення, низької ментальної культури. Історично склалася традиція залучення уваги до видання і його розкупованості, тобто в корисливих цілях, події подавати особливим чином, а саме – драматизувати. Ми чуємо, читаємо в новинах про незначні одиничні інциденти, конфлікти, аварії, але при цьому замовчується про мир і благополуччя переважної частини населення на більшій частині територій і країн. При цьому редакції ЗМІ не спробаються приводити об'єктивні дані, які можна було б перевірити.

Епідемії, пандемії зачіпають такі життєво важливі цінності людини, як здоров'я, життя, наявність засобів до існування, що викликає психічну напруженість, нестійкість, страх як окремих людей, так і суспільства в цілому. Епідемії супроводжують паніка, психоз, істерія. Причинами таких негативних соціальних явищ, з одного боку, є відсутність об'єктивної інформації про ситуацію, інформації заспокійливої, обнадійливої, що підтримує психічну рівновагу як окремих громадян, так і соціуму в цілому, з іншого боку – нагнітання напруги, однобока, негативна подача дійсності, драматизація подій, виборча, неправдива статистика. Так, на сторінках новин повідомляють про 80000 чоловік, що заразилися вірусом, але при цьому замовчують о 7791008000 (на 16.04.2020 р) здорових.

Інформаційний тиск, який чиниться на кінцевого споживача, можна побічно охарактеризувати кількістю повідомлень на одну тему по відношенню до обсягу вибірки новин.

Якщо розділити інформацію на підвищуючу психічне напруження споживача інформації, на знижуючу напругу, і на нейтральну, то величину інформаційного тиску можна виразити залежністю

$$I_{\circ} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{\circ} k_n}{n}, \quad (1)$$

де n – об'єм вибірки (кількість повідомлень);

k_d – коефіцієнт інформаційного тиску, який приймає значення:
 0.5 - 0.7 – повідомлення, що знімає психічну напруженість споживача;
 0.7 - 0.9 – повідомлення, що покращує емоційний фон споживача;
 0.9 - 1.1 – нейтральне повідомлення, що не зачіпає інтереси споживача;
 1.1 - 1.5 – повідомлення, що зачіпає зону комфорту споживача (емоції споживача – занепокоєння, тривога);
 1.5 - 2.0 – повідомлення, що зачіпає суттєві цінності споживача (емоції споживача – роздратування, нервозність, страх, пригніченість);
 2.0 - 3.0 – повідомлення, що зачіпає головні життєві цінності споживача (емоції споживача – переляк, жах, паніка, істерія);
 k_n – коефіцієнт смуги новин: 1-а смуга $k_n = 1.5$, 2-а смуга $k_n = 1.0$, 3-тя смуга $k_n = 0.5$.

Споживач в більшості випадків переглядає перші шпальти новин.

При значеннях $I_d > 1$ має місце негативна реакція, зростання психічної напруги споживача, при $I_d < 1$ – інформація носить позитивний характер впливу.

Введемо в пошуковій системі google пошукову фразу "останні новини" і відкриємо перший результат пошуку – сторінку новинних повідомлень, що належить сайту ukr.net (26.04.2020, 14:00). Сукупність повідомлень, видима споживачу, приведена в табл.1. Вибірку з 30 повідомлень умовно розділимо на три смуги по 10 повідомлень у кожній.

Таблиця 1 – Вплив новин в ЗМІ на споживача на прикладі сайту www.ukr.net (станом на 26.04.2020, 14:00)

№ п.п.	Заголовок (короткий зміст) повідомлення	Час публікації	Коефіцієнт інформаційного тиску
1	2	3	4
	Головне		
1	На Закарпатті буревій позривав дахи з лікарні й шкіл 39 новин	13:45	1.2
2	У Берліні понад 1000 людей вийшли на протест проти карантину: є затримані – фото 14 новин	13:33	1.3
3	Годовщина трагедии: 34 года назад мир узнал слово "Чернобыль" 43 новини	13:14	1.15
4	"Ложная и злонамеренная информация". В КНДР отрицают смерть Ким Чен Ына 61 новина	13:12	1.1
5	Уряд Ємену не визнав автономію на півдні країни, про яку раніше заявили сепаратисти, підтримувані ОАЕ 6 новин	12:22	1.1
6	В Израиле ослабили карантинные меры: Работают магазины, парикмахерские и салоны красоты (112.ua)	12:11	0,8
7	Україна докладає максимум зусиль, щоб зробити Чорнобильську зону безпечною – МЗС (Українська правда)	12:00	1.2
8	Испания з 2 травня послабить карантин 6 новин	11:54	0.85
9	Вирус COVID-19 умирает от влажности и высокой температуры, – WP (Буквы)	11:41	0.8
10	В Броварах подорвали отделение банка 8 новин	11:04	1.25
11	По всій Україні оголосили жовтий рівень небезпеки через штормовий вітер (Zik)	10:44	1.4

Продовження таблиці 1

12	На Львівщині на залізничному вокзалі згорів автомобіль Міністерства оборони: є жертви (Четверта студія)	10:29	1.25
13	В Україні число випадків COVID-19 зросло на 492: карта по областях 41 новина	10:13	2.2
14	Прем'єр Британії Джонсон повертається на роботу після лікування від коронавірусу 9 новин	10:02	1.5
15	В мире от коронавируса COVID-19 умерли более 200 тысяч людей 12 новин	10:01	3.0
16	Трамп має намір змінити міністра охорони здоров'я – ЗМІ 6 новин	09:35	1.05
17	Количество инфицированных коронавирусом в мире приближается к 3 млн 12 новин	09:29	3.0
18	Бойовики 16 разів відкривали вогонь по позиціях Об'єднаних сил – ООС 31 новина	09:24	1.7
19	Из Турции на пароме эвакуировали 90 украинцев 9 новин	09:13	1.2
20	У Маріуполі різке зростання хворих на коронавірусу: 22 випадки за добу 14 новин	08:50	2.5
21	За рубежом от коронавируса излечились 44 украинца, - МИД (112.ua)	06:26	2.0
22	Коронавірус: США, Бразилія та РФ виявили найбільше хворих за добу (Українська правда)	04:37	2.5
23	Афганські військові ліквідували 17 бойовиків Талібану (Укрінформ)	01:09	1.4
24	Правительство США выделило 9,5 млрд. долл. для поддержки авиационной отрасли (112.ua)	00:54	1.0
25	На Одещині сімейний лікар заразив коронавірусом 32 своїх колег 18 новин	25 квітня	3.0
26	У київському метро пояснили, за яких умов відновлять роботу 19 новин	25 квітня	1.5
27	Космічна програма Ірану не є ні мирною, ні цивільною – Помпео (Укрінформ)	25 квітня	1.4
28	Проведення випускних залежить від того, коли закінчиться карантин – голова МОН 14 новин	25 квітня	1.5
29	Епідемія в Італії: кількість хворих зменшується 5-й день поспіль (Європейська правда)	25 квітня	0.8
30	В зоне отчуждения пострадало 11,5 тыс. га заповедника 2 новини	25 квітня	1.3

Джерело: розроблене автором

Як бачимо з першого рядка, на думку редакції, ці події є головними в світі. Розрахувавши інтенсивність інформаційного тиску на споживача інформації за формулою (1), отримаємо $ID = 1.44$, тобто має місце негативний вплив з боку новинного ресурсу на споживача за допомогою підібраної певним чином інформації. Як видно з таблиці 1, кількість прямих або непрямих повідомлень про коронавіруси становить 15 з 30, що свідчить про направлений, концентрований тиск на споживача інформації. Керуючись цими повідомленнями, споживач повинен зробити висновки, що, по-перше, в світі все гаразд, по-друге, половина всіх подій в житті населення планети відбувається за участю коронавірусу. У наведеній сукупності повідомлень абсолютно відсутня інформація про благополуччя, здоров'я, успіху хоч в який-небудь

сфері людської життєдіяльності.

Лікарі стверджують: до 85% хвороб мають психологічні причини, що стає ще більш актуальним в період епідемії. У той же час неможливо заперечувати, що інформація має першорядний вплив на психічний стан людини, отже, на стан його здоров'я.

Епідемія виникає, коли збудник захворювання поширюється в сприйнятливій популяції [4]. Спотворена, "однобока", драматизована картина ситуації, що сіє страх і паніку, прямо або побічно сприяє підвищенню такої сприйнятливості. У статті [5] розглянуті психологічні механізми, що підвищують ймовірність захворювання. Зокрема, вказується, що паніка знижує критичність мислення людини, імунітет, викликає ефект ноцебо.

За допомогою друкованих, електронних ЗМІ, рекламних вуличних щитів, радіо в магазинах і на зупинках транспорту повідомляються докладні ознаки, особливості стану, симптоматика захворювання, складається інформаційна матриця хвороби. Далі ця матриця поширюється ЗМІ серед населення, впроваджується в свідомість споживачів інформації. До хвороби залучається підвищена увага, в результаті чого енергія адресатів наповнює матрицю, хвороба реалізується. Людина, регулярно отримує цю інформацію, починає зв'язувати з описаним станом, а для того, щоб порівняти свій стан з описаним шаблоном, відтворює цей шаблон, зживається з ним, створює і живить образ хворого, ініціює в собі стан хвороби. "Паніка починає відчувати ті симптоми, про які чує в телевізійних новинах або читає. Зафіксовані навіть випадки смертей від придуманих хвороб" [5].

Кожна людина володіє власною унікальною інформаційною системою, яка зберігає інформацію в асоціативній базі даних, в безлічі бібліотек, обробляє інформацію, що надходить, уточнює наявну, будує моделі навколишньої дійсності і світу. Людина, як істота соціальна, включений в інформаційні системи / мережі певних соціальних груп і в інформаційну систему / глобальну мережу соціуму в цілому.

Одержану людиною інформацію можна розділити на первинну – природну, яку він приймає безпосередньо від об'єктів за допомогою власних органів почуттів, і вторинну – штучну, яка надається іншими людьми. Саме вторинна інформація має на увазі, коли йдеться про виробництво інформації та про інформаційні ресурси.

Вторинна інформація завжди пов'язана з інтерпретацією даних суб'єктами, тому не може бути повністю достовірною. Виробник інформації свідомо чи підсвідомо пропускає інформацію через свою систему цінностей, свої пріоритети і інтереси, вкладає в інформацію своє сприйняття, ставлення і емоції. Більш того, виробник може створювати свідомо частково або повністю викривлену, неправдиву інформацію в корисливих цілях для того, щоб направити споживача інформації за вигідним для себе шляхом. Способом маніпулювання поведінкою споживача може також бути приховування інформації, затребуваною споживачем. Масштаби маніпуляцій варіюються від продажів товарів і послуг до геополітичних інформаційних воєн.

У разі спрямованого маніпулятивного впливу на споживача інформація готується з метою проникнути в свідомість. Інформація готується так, щоб зачепити за цінності, викликати емоції, реакцію, викликати інтерес, заволодіти увагою, а далі – змінити поведінку адресатів, мотивуючи їх до певних дій або зміни ставлення до когось або чогось.

Таким чином, шкідлива інформація, яка впроваджується в свідомість, є інформаційним вірусом, троянської програмою, що має на меті як зміну програм, що працюють в інформаційній системі адресата, так і інформаційної системи в цілому. Тобто має місце інформаційна атака зі спробами відкритого або прихованого перепрограмування.

Ідея такого впливу базується на властивості свідомості безперервно

самовиражається, безперервно творити дійсність його носія. Від вмісту свідомості залежить те, що буде ним проявлено. Щоб домогтися корисливих цілей, потрібно направити дію свідомості людини в потрібне для здійснення планів маніпулятора русло, вкласти в свідомість відповідні думки, програми поведінки, переконання. Щоб домогтися політичних цілей, потрібно направити дію свідомості соціальних, етнічних груп, народів в потрібний напрямок, вклавши в нього нову ідею, використовуючи наявну систему соціальних цінностей. Таким чином, незахищене свідомість є як порталом для впровадження штучної інформації, так і ключовим інструментом для реалізації цілей і планів маніпулятора.

В системі цінностей людини життя і здоров'я, а також життя і здоров'я близьких практично завжди займають лідируючі позиції, тому ця зона впливу є найбільш реактивною і вразливою для інформаційних атак.

Мета інформаційних атак досягається в два етапи: заволодіти увагою адресата, далі змінити поведінку адресата відповідно до інтересів атакуючої сторони.

Закон руху енергії говорить: "Куди спрямована увага людини, туди рухається його енергія". Підтвердження цього ми бачимо повсюдно в повсякденному житті. Фізична енергія робочого направляється на деталь, яку він обробляє. Розумова енергія вченого спрямована на об'єкт дослідження. Грошова енергія споживачів прямує на рекламований товар. Людина, яка приділяє собі увагу, і людина, позбавлена уваги, виглядають помітно по-різному. Так само по-різному виглядають сад, увагу якого приділяє садівник, і занедбаний сад. По-різному поведуться діти, яким батьки приділяють увагу, і позбавлені батьківської уваги. Тому боротьба за енергію – це, перш за все, боротьба за увагу.

Заволодівши увагою, атакуючий користується отриманою ініціативою. Подавана далі інформація повинна бути яскравою, чіткою, переконливою. Чим сильніше викликані інформацією емоції, тим більше шансів троянської інформації проникнути в підсвідомість, бути збереженою на "жорсткий диск" інформаційної системи адресата. Інформація, що знаходиться в підсвідомості адресата, більш корисна для атакуючої сторони. Вона менш схильна до верифікації носієм, працює в автоматичному режимі, являє собою довготривалий актив для інформаційного агресора. Це пояснює ті величезні кошти, які корпорації вкладають в рекламу.

Як комп'ютерні віруси впливають на роботу програмного забезпечення комп'ютерів, так і інформаційні віруси впливають на роботу програм людської психіки, що використовується для навмисного перепрограмування поведінки людини шляхом навіювання, зомбування.

Безграмотна і неконтрольована, хаотична подача інформації, а тим більше спрямована на маніпулювання, завдає істотної шкоди її споживачам. ЗМІ концентрують увагу людей на хвороби, а не на здоров'я, на злочини, а не на правовій захищеності і благополуччя громадян. Незважаючи на наявну законодавчу базу, яка повинна забезпечувати достовірність і об'єктивність інформації, що публікується, на практиці очевидна повна безконтрольність і безвідповідальність ЗМІ за якість наданої інформації. Редактори знімають з себе відповідальність за опубліковану інформацію, поміщаючи в кінці матеріалу приписку: "Думка редакції може відрізнитися від думки автора статті". Таким чином, відповідальність за достовірність інформації, і якість прийнятої інформації лягає на кінцевого споживача.

Розглянемо комплексну систему індивідуального захисту особи, яка приймає інформацію.

Людина несе відповідальність за своє життя, здоров'я і за зміст своєї інформаційної системи. Зміст інформаційної системи людини впливає як на стан здоров'я, так і на якість життя.

Як адміністратору власної інформаційної системи, людині необхідно

встановлювати фільтри з правилами розрізнення даних і програм, обмежувати доступ на вхідні дані і доступ до свого програмного забезпечення.

Першорядне значення має критерій корисності інформації. Під корисною інформацією мається на увазі та, яка служить зміцненню здоров'я і психічної рівноваги, розширює коло можливостей людини, допомагає вирішити нагальні проблеми, набутти впевненості, покращує емоційний фон. Вся деструктивна і даремна інформація повинна бути відхилена щоб уникнути диверсії, збитку і подальших витрат ресурсів на її утилізацію.

Для успішної фільтрації вхідного інформаційного потоку адміністраторові необхідно:

- 1) створити первинну базу даних інформаційних загроз;
- 2) розробити чіткі правила і критерії пропускання даних в свою інформаційну систему;
- 3) виробити навик включення усвідомленості і пильності в момент контакту з даними;
- 4) оволодіти навичками розрізнення загроз – зіставлення даних з базою загроз;
- 5) при кваліфікованості даних як важливих включити процес їх верифікації.

Для верифікації даних слід звертатися до достовірних джерел інформації, таким як демографічні лічильники, досвідчені дані, альтернативні ресурси і дані, власні спостереження за навколишньою дійсністю і встановлені очевидні факти. Достовірною є інформація, яку можна перевірити [6]. Для цього вона повинна супроводжуватися фактографічними атрибутами, такими як відомості про місце, час події, іменами задіяних осіб і свідків, конкретними (вимірюваними) даними.

З метою запобігання інформаційного зараження і атак слід створити і підтримувати на заданій унікальній частоті захищений канал зв'язку інформаційного обміну. Це означає, що людина сама задає набір вимог до якості споживаної інформації, а також параметри і правила інформаційного обміну, формуючи, таким чином, свою унікальну частоту прийому-передачі даних, яка недоступна для проникнення інформаційних вірусів. Подальшим його завданням як особи, яка несе відповідальність за власну інформаційну систему, є запобігання провокацій підключення інших, несанкціонованих інформаційних каналів, а при усвідомленому їх використанні виробляти посилену фільтрацію даних.

Для оптимізації своєї інформаційної системи адміністратору потрібно вивчити внутрішні інформаційні процеси і програми поведінки, встановити зв'язок між ними. Свідомість людини можна порівняти з оперативною пам'яттю комп'ютера, в яку завантажуються системні та актуальні процеси і дані. Підсвідомість можна зіставити з постійним запам'ятовуючим пристроєм, з якого дані і програми завантажуються в міру необхідності. Інтелект можна зіставити з процесором, який аналізує дані, що надходять і з допомогою системних програм формує звіт про те, що відбувається.

Слід також прийняти до уваги той факт, що багато програм, що працюють у фоновому режимі, на даний момент не усвідомлені і не вивчені. Тим часом вони перехоплюють ініціативу в прийнятті рішень, що часто призводить до деструктивної поведінки людини. Для запобігання довільній роботі програм адміністратору також слід вести неупереджене спостереження за внутрішніми інформаційними процесами.

Таким чином, для підвищення якості функціонування, розвитку і очищення своєї інформаційної системи, адміністратор повинен здійснювати плановий аудит і фонове спостереження за роботою і якістю внутрішніх програм, які обумовлюють поведінку і якість прийнятих рішень, з метою виявлення шкідливого програмного забезпечення (ПО). Ухвалення такого ПО усвідомлено чи через недбальство можна розцінювати як самодіверсію. Адміністратору необхідно постійно і періодично запускати у власній свідомості комплекс процесів і функцій, властивих антивірусних програм. На рівні

людської свідомості такий аудит може складатися з набору питань-відповідей: "Чому?", "Навіщо?", "В якому я зараз стані?", "З чим це пов'язано?", "Звідки це взялося?", "Яку роль це відіграє в прийнятті рішень?", "чи потрібна мені ця програма або це переконання?".

Наступна функція адміністратора полягає в перепрограмуванні власної інформаційної системи, тобто виведення з дії та анулювання застарілих програм, шкідливого ПО, а також створенні та впровадженні нових програм, що забезпечують більш ефективні методи прийняття рішень і моделі поведінки, стабільний розвиток і успішність.

Окремим питанням захисту інформаційної системи є посилення стійкості власних програм, особливо життєво важливих до інформаційних атак. Всім відомі такі поняття, як "моральні підвалини", "внутрішній стрижень". В наші дні також з'явилося поняття інформаційного імунітету. В умовах епідемії, коли до біологічних вірусів активно додаються віруси інформаційні, особливо важливим стає підтримувати віру в силу свого організму, внутрішні резерви, механізми самовідновлення, фортеця імунітету. Для цього слід підтримувати спрямованість уваги на позитивні процеси і події в світі, здорові прояви життя, на своє гарне самопочуття, на свою силу і витривалість, зживаючи з образом, матрицею здорової людини, створюючи власний простір здоров'я, в який не дозволений вхід ніяким хвороботворним образам, ніяким стороннім деструктивним повідомленням і вказівкам, ніякому розхитуванню і придушенню.

Висновки. На основі запропонованого підходу, можна дати наступні рекомендації споживачеві інформації:

- 1) Займати позицію адміністратора (господаря) своєї інформаційної системи, нести відповідальність за її стан;
- 2) Інформацію, що надходить фільтрувати, виробляти верифікацію даних перед їх використанням;
- 3) Дотримуватися принципу конструктивності інформації. Інформація повинна приносити користь, допомагати у вирішенні завдань, розширювати можливості людини;
- 4) Уникати надмірної інформації, інформаційного перевантаження, коли якість фільтрації і ступінь захищеності знижується;
- 5) Проводити постійне фонове сканування і регулярне чищення своєї інформаційної системи, виявляючи надмірну, неправдиву інформацію і деструктивні програми поведінки;
- 6) Створювати нові ефективні програми взаємодії з оточенням і прийняття рішень, програми, які ведуть до успіху;
- 7) Орієнтуватися на інформацію з коефіцієнтом інформаційного тиску $k_d < 1$, тобто на інформацію, що сприяє рішенню проблем та яка знімає напруженість;
- 8) Використовувати для інформаційного обміну канал з індивідуальною унікальною частотою;
- 9) Направляти увагу на прояви здоров'я в собі і навколишньому світі, наповнювати свою інформаційну систему відомостей про успішних, здорових людей, розвивати в собі інформаційну матрицю здорової людини.

Список литературы

1. Сорокина Т.С. История медицины. Москва: Академия, 2008. 560 с.
2. Википедия: официальный сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационное_загрязнение (дата обращения: 25.04.2020)
3. Дружилов С.А. «Загрязненность» информационной среды и проблемы психологического здоровья личности. *Современные наукоемкие технологии*. 2013. № 4. С. 89-92.

4. Обеспечение безопасности при эпидемии. URL: <https://infopedia.su/19xa083.html> (дата звернення: 25.04.2020)
5. Кудрявцева К. Коронавирус: эпидемия паники — как защитить себя от "эффекта ноцебо". URL: <https://delo.ua/lifestyle/koronavirus-epidemija-paniki-kak-zaschitit-sebja-366087/> (дата обращения: 25.04.2020)
6. Якушина Е.В. Медиаобразование. Как проверить достоверность информации в Интернете? URL: <http://mic.org.ru/index.php/new/215-mediaobrazovanie-kak-proverit-dostovernost-informatsii-v-internete> (дата обращения: 25.04.2020)
7. Марченко К.М. Інформаційна безпека життєдіяльності людини. *Наукові записки*. 2019. Вип. 26. С. 178-183.
8. Марченко К.Н. Составляющие информационно-психологической безопасности человека. *Наукові записки*, 2018. Вип. 23. С. 181-191.

Referencis

1. Sorokina, T.S. (2008). *Istorija mediciny [History of medicine]*. Moskow: Akademiya [in Russian].
2. Vikipedija: oficial'nyj sajt. *ru.wikipedia.org*. Retrieved from https://ru.wikipedia.org/wiki/Informacionnoe_zagrjaznenie [in Russian].
3. Druzhilov, S.A. (2018). «Zagrjaznennost'» informacionnoj sredy i problemy psihologicheskogo zdorov'ja lichnosti [«Polluted» the Information Environment and the Problem of Psychological Health of Personality]. *Sovremennye naukoemkie tehnologii – Modern high technologies*, 4, 89-92 [in Russian].
4. Obespechenie bezopasnosti pri jepidemii. *infopedia.su*. Retrieved from <https://infopedia.su/19xa083.html> [in Russian].
5. Kudrjavceva K. Koronavirus: jepidemija paniki — kak zashhitit' sebja ot "jeffekta nocebo". *delo.ua*. Retrieved from <https://delo.ua/lifestyle/koronavirus-epidemija-paniki-kak-zaschitit-sebja-366087/> [in Russian].
6. Jakushina E.V. Mediaobrazovanie. Kak proverit' dostovernost' informacii v Internete? *mic.org.ru*. Retrieved from <http://mic.org.ru/index.php/new/215-mediaobrazovanie-kak-proverit-dostovernost-informatsii-v-internete> [in Russian].
7. Marchenko, K.M. (2019). Informatsijna bezpeka zhyttiediial'nosti liudyny [Information security of human life]. *Naukovi zapysky – Scientific notes. Vol. 26*, 178-183 [in Ukrainian].
8. Marchenko, K.N. (2018). Sostavljajushhie informacionno-psihologicheskoy bezopasnosti cheloveka [Components of information and psychological security of a person]. *Naukovi zapiski – Scientific notes, Vol. 23*, 181-191 [in Russian].

Konstantyn Marchenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleh Oryshaka**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Anzhelyka Marchenko**

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Information Security Challenges in the Context of the Epidemic

The article reviewed the informational causes of diseases and the peculiarities of the influence of the mass media on human consciousness during epidemics. The aim of the research is to study the patterns of the impact of information on the human condition during epidemics and to develop safety measures when interacting with information.

The impact of information on people during epidemics is increasing. The media are the main sources of information for the general consumer. Analysis of the media supplied shows that the media is destructive. The pressure on the end-user can be indirectly described by the number of messages per topic relative to the size of the news sample. Everyone has their own unique information system, In case of manipulative manipulation of the consumer, the information is prepared in order to penetrate the mind. Malicious information introduced into the mind is a Trojan virus, a Trojan program designed to change the programs that operate in the information system of the addressee. An unprotected mind is both a portal for the introduction of artificial information and a key tool for the realization of the manipulator's goals and plans. Information viruses affect the workings of human psychic programs, which are used to deliberately reprogram human behavior through suggestion, zombie. The content of the human information system affects both health and quality of life. As the administrator of your own information system, a person needs to install network filters with rules for distinguishing between data and programs, restrict access to incoming data and access to their software.

Based on the proposed approach, the following recommendations can be made to the consumer of the information: to assume the role of administrator of their information system, to be responsible for its state of affairs; filter incoming information for usability, verify data before use; respect the principle of constructive information. Information should be useful, help to solve problems, empower people and defuse tensions; avoid redundancy, information overload when the quality of filtration and security is reduced; carry out continuous background scanning and regular cleansing of its information system, identifying redundant, false information

and destructive behaviour programmes; use a channel with an individual unique frequency for information exchange.

information security, information system, information pollution, epidemic, media, information attack

Одержано (Received) 15.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 21.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

УДК 621.432

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).32-42](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).32-42)

М.М. Студент, проф., д-р техн. наук, ст. наук. співр., **М.Я. Головчук**, асп., мол. наук. співр., **Г.В. Чумало**, канд. техн. наук, ст. наук. співр., **В.М. Гвоздецький**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.

Фізико-механічний інститут НАН України, м. Львів, Україна

e-mail: student.phmi@gmail.com, golovchuk@gmail.com, chumalo@nas.gov.ua, gvosdetcki@gmail.com

С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

markob0@ukr.net;

Г.В.Похмурська, проф., д-р техн. наук

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

e-mail: zvdv@ukr.net

Вплив діаметра електродних порошкових дротів на механічні характеристики електродугових покриттів

В роботі проведено впливу діаметра електродних порошкових дротів на механічні характеристики електродугових покриттів. Покриття отримували на оригінальному обладнанні, застосовуючи для напилювання модельні порошкові драти базових систем легування Fe–Cr–C та Fe–Cr–W діаметром 1,6 та 2,4 мм. Досліджено вплив діаметра порошкових дротів на структуру, електродугових покриттів різного діаметра. Встановлено залежність поруватості, мікротвердості, адгезії до сталеві основи, абразивної зносостійкості електродугових покриттів, напилених з порошкових дротів з різною кількістю шихти, від товщини ламелей у структурі покриттів. Визначено вплив товщини ламелей у структурі покриттів, напилених з порошкових дротів з різною кількістю шихти (залежно від їх діаметра 1,6 та 2,4 мм), на їх абразивну зносостійкість. Встановлено, що товщина ламелей у покриттях усіх проаналізованих систем легування зростала зі збільшенням об'єму розплавленого металу. Показано, що кількість оксидної фази у структурі покриттів зростає вдвічі зі збільшенням дистанції розпилювання порошкових дротів від 80 до 120 мм. Більше оксидної фази (на 40...100%) виявили у покриттях, сформованих із ПД діаметром 2,4 мм з вищим коефіцієнтом заповнення його оболонки шихтою порівняно із покриттями, сформованими із порошкових дротів діаметром 1,6 мм з нижчим заповненням. Встановлено, що поруватість, та мікротвердість покриттів із розроблених порошкових дротів зростає із збільшенням товщини ламелей в їх структурі та, відповідно, діаметру. Встановлено, що із збільшенням товщини ламелей у структурі покриттів з порошкових дротів 250X21ВФГС та порошкових дротів 50ХН2Р5ГС їх адгезія до сталеві основи дещо зменшилася, що зумовлено виникненням в покриттях напружень розтягу, які спричиняють появу мікротріщин або мережі тріщин у їх структурі. Водночас адгезія покриттів із порошкових дротів 50Х6МГ2С до сталі зросла, що зв'язали з більшим вмістом вуглецю у крупних ламелях та сприятливими умовами для формування в них високовуглецевого мартенситу, який має найменший коефіцієнт термічного розширення та спричиняє найменші залишкові напруження розтягу у покриттях. Встановлено, що абразивна та газоабразивна зносостійкість покриттів із ПД 250X21ВФГС знизилася, а із ПД 50ХН2Р5ГС підвищилася внаслідок збільшення товщини ламелей у їх структурі за використання порошкових дротів більшого діаметра.

покриття, порошкові драти, мікротвердість, абразивна зносостійкість, поруватість, напруження

М.М. Студент, проф., д-р техн. наук, ст. науч. сотр., **М.Я. Головчук**, асп., мл. научн. сотр., **Г.В. Чумало**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., **В.М. Гвоздецький**, канд. техн. наук ст. науч. сотр.

Фізико-механічний інститут НАН України, г. Львов, Україна

С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Г.В.Похмурська, проф., д-р техн. наук

Національний університет «Львівська політехніка», г. Львов, Україна

Влияние диаметра электродных порошковых проволок на механические характеристики электродуговых покрытий

В работе проведено исследование влияния диаметра электродных порошковых проволок на механические характеристики электродуговых покрытий. Покрытия получали на оригинальном оборудовании, применяя для напильвания модельные порошковые провода базовых систем легирования Fe–Cr–C и Fe–Cr–W диаметром 1,6 и 2,4 мм. Исследовано влияние диаметра порошковых проволок разного диаметра на структуру электродуговых покрытий. Установлена зависимость пористости, микротвердости, адгезии к стальной основе, абразивной износостойкости электродуговых покрытий, напыленных из порошковых проводов с разным количеством шихты, от толщины ламелей в структуре покрытий. Определено влияние толщины ламелей в структуре покрытий, напыленных из порошковых проводов с разным количеством шихты (в зависимости от их диаметра 1,6 и 2,4 мм), на их абразивную износостойкость. Установлено, что толщина ламелей в покрытиях всех проанализированных систем легирования росла с увеличением объема расплавленного металла. Показано, что количество оксидной фазы в структуре покрытий растет вдвое с увеличением дистанции распыливания порошковых проволок от 80 до 120 мм. Больше оксидной фазы (на 40-100%) обнаружили в покрытиях, сформированных из порошковых проволок диаметром 2,4 мм с высшим коэффициентом заполнения его оболочки шихтой сравнительно с покрытиями, сформированными из порошковых проводов диаметром 1,6 мм с низким заполнением. Установлено, что пористость и микротвердость покрытий из разработанных порошковых проволок растет с увеличением толщины ламелей в их структуре и, соответственно, диаметру. Установлено, что с увеличением толщины ламелей в структуре покрытий из порошковых проволок 250X21ВФГС и порошковых проводов 50ХН2Р5ГС их адгезия к стальной основе несколько уменьшилась, что предопределено возникновением в покрытиях растягивающих напряжений, которые влекут появление микротрещин или сети трещин в их структуре. В то же время адгезия покрытий из порошковых проводов 50Х6МГ2С к стали выросла, что связали с большим содержанием углерода в крупных ламелях и благоприятными условиями для формирования в них высокоуглеродистого мартенсита, который имеет наименьший коэффициент термического расширения и влечет наименьшие остаточные напряжения в покрытиях. Установлено, что абразивная и газоабразивная износостойкость покрытий из ПД 250X21ВФГС снизилась, а из ПД50ХН2Р5ГС повысилась в результате увеличения толщины ламелей в их структуре за использование порошковых проводов большего диаметра.

покрытия, порошковые проволоки, микротвердость, абразивная износостойкость, пористость, напряжения

Постановка проблеми. Електродугове напилення покриттів широко використовується у промисловості, для захисту від корозії, відновлення розмірів деталей машин а також від абразивного та газоабразивного зношування, як за кімнатних так і за підвищених температур [1-3]. Для напилення зносостійких покриттів переважно використовують як електродні матеріали - порошкові дроти (ПД) діаметром 1,6...1,8 мм. Такі ПД не завжди можуть забезпечити високий коефіцієнт заповнення шихтою, а значить і не можуть забезпечити необхідний вміст легувальних елементів у покриттях. В той же час покриття із ПД, що експлуатуються в умовах абразивного зношування особливо в корозійних середовищах потребують у своєму складі не менше 12 мас.% хрому. Використання ПД більших діаметрів дозволяє суттєво збільшити їх коефіцієнт заповнення шихтою, а значить суттєво збільшити вміст легувальних елементів у структурі покриттів. Однак досліджень, які б показували вплив діаметра ПД та продуктивності напилювання покриттів на структуру та абразивну зносостійкість, у світовій літературі немає. Це стримує розвиток методу електродугового напилювання покриттів та не дає змоги створювати нові ПД із підвищеним вмістом легувальних елементів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений огляд літературних джерел показав, що ПД, які використовуються як витратні електродні матеріали для

електродугового напилення покриттів, дають змогу отримувати покриття із високими експлуатаційними характеристиками [4-6]. Електродугові покриття із ПД застосовують для відновлення геометричних розмірів деталей машин, для захисту від абразивного зношування як за кімнатних так і за підвищених температур а також для захисту від корозійно-абразивного зношування у технологічних середовищах [7]. Порошкові дроти для ЕДП виготовляють в сталевій, нікелевій та алюмінієвій оболонках, як правило, діаметром 1,6 - 1,8 мм особливо у США та Європейському Союзі, хоча в деяких випадках використовуються порошкові дроти більшого діаметру [8]. Так в роботі [7] застосовано ПД діаметром 3 мм в комбінації з суцільнотягнутим дротом діаметром 2 мм. Однак вплив діаметра ПД на фізико - механічні характеристики покриттів практично не висвітлено у літературних джерелах.

Постановка завдання. Для ефективного застосування ПД необхідно виявити взаємозв'язок діаметра порошкових дротів з процесами формування структури, фазового складу покриттів та їх фізико-механічними характеристиками. Наявність цієї інформації дозволить розробляти нові порошкові дроти для електродугового напилення зносостійких покриттів із підвищеним вмістом легувальних елементів для експлуатації в робочих корозивних середовищах.

Виклад основного матеріалу. Електродугові покриття отримували на оригінальному обладнанні, розробленому та виготовленому у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України (рис.1). Для напилювання використовували модельні ПД базових систем легування Fe–Cr–C та Fe–Cr–В діаметром 1,6 та 2,4 мм (табл. 1, рис. 2).

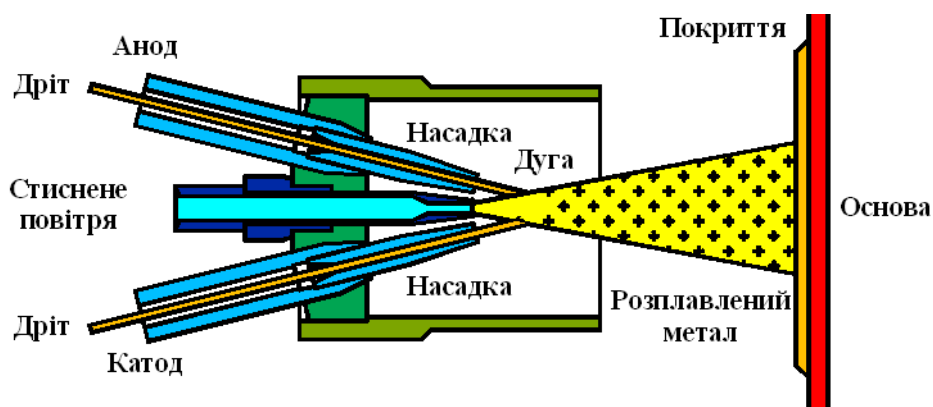


Рисунок 1 – Типова схема формування електродугових покриттів

Для отримання однакового хімічного складу порошкових дротів до шихти ПД більшого діаметру додатково додавали порошок заліза.

Металографічні дослідження на електронних сканівних мікроскопах “LEO-840” (з приставкою для мікроелементного аналізу) та ZEISS EVO-40XVP (із системою рентгенівського мікроаналізу INCA Energy). Адгезію покриттів до сталевій основі (сталь 20) визначали штифтовим методом. Відкрити поруватість покриттів визначали шляхом просочуванням покриттів гасом із наступним зважуванням зразків.

Фазовий склад покриттів досліджували на дифрактометрі ДРОН-3.0 у $\text{CuK}\alpha$ – випромінюванні з фокусуванням трубки за схемою Бреґга-Брентано.

Таблиця 1 – Хімічний склад використаних модельних порошкових дротів

Марка ПД	Ø ПД, мм	Вміст елементів, мас. %									
		Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	B	V	Mo	W
50XH2ГР5С	1,6	90,6	0,55	0,19	1,09	0,20	1,38	5,95	-	-	-
	2,4	91,1	0,45	0,30	1,20	0,22	1,75	4,96	-	-	-
250Х21ВФГС	1,6	74,4	2,80	0,30	0,39	21,1	-	-	0,60	-	0,40
	2,4	74,00	2,51	0,62	0,38	21,4	-	-	0,52	-	0,55
50Х6Г2МС	1,6	91,7	0,41	0,40	1,56	5,4	-	-	-	0,50	-
	2,4	90,6	0,47	0,40	1,40	6,6	-	-	-	0,51	-

Джерело: [5]

Абразивне зношування покриттів досліджували за умов жорстко закріпленого абразиву з використанням абразивного корундового диска марки СМ-2 із розміром зерна 20 мкм діаметром та шириною 150 та 8 мм, частота обертання якого становила $2,7 \text{ с}^{-1}$ (58 м/хв), а навантаження в зоні контакту - $P = (14,7 \pm 0,25) \text{ Н}$. Газоабразивне зношування покриттів досліджували за температури $200 \text{ }^\circ\text{C}$ упродовж 50 год. Абразивну зносостійкість оцінювали за втратою маси зразків після випроб за швидкості руху абразиву 36 м/сек. За абразив використали кварцовий пісок зернистістю до 200 мкм.

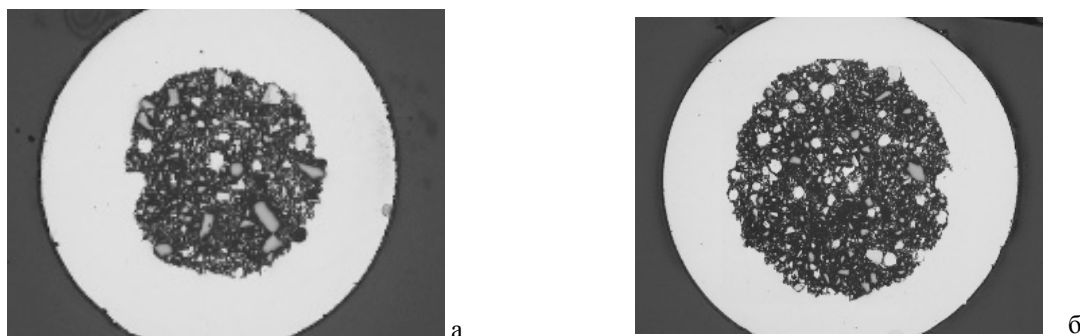


Рисунок 2 – Поперечний переріз порошкових дротів діаметром 1,6 (а) та 2,4 (б) мм.

Джерело: розробка авторів

Вплив діаметра ПД на структуру, електродугових покриттів із модельних ПД різного діаметра, хімічний склад яких наведений у табл. 1.

Під час електродугового напилювання покриттів між торцями дротів виникає дуга, в якій дроти розплавлялися, а їх розплав диспергувався повітряним струменем на краплини, які, вдаряючись об напилювану поверхню, деформувалися у формі «блюдечок» (ламелей) і шар за шаром формували покриття. Для аналізу фракційного та хімічного складу краплин їх вловлювали у снігову мішень. Металографічним та спектральним аналізом виявили, що серед краплин зустрічаються повністю оксидні краплини, краплини із зовнішнім шаром із оксидів та краплини без оксидів взагалі.

Встановили, що із збільшенням діаметра ПД та струму дуги об'єм розплавленого металу на торцях ПД збільшувався і тому повітряний струмінь диспергував його на краплини більшого діаметру (рис. 3). Як наслідок у покриттях всіх систем легування товщина ламелей (як структурна ознака покриттів) зростала (рис. 4).

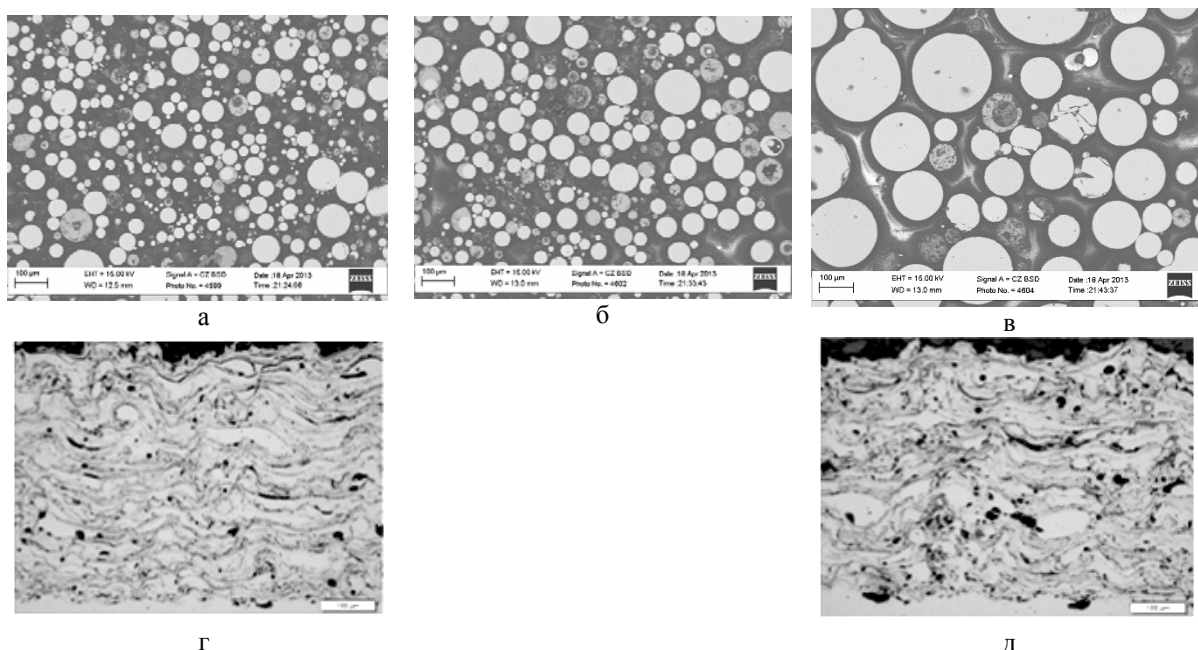


Рисунок 3 – Морфологія краплин, та структура покриттів отриманих розпиленням порошкових дротів у снігову мішень за струму дуги, який визначає продуктивність напилювання, 125 (а, г) 150 (б) та 180 (в, д).

Джерело: розробка авторів

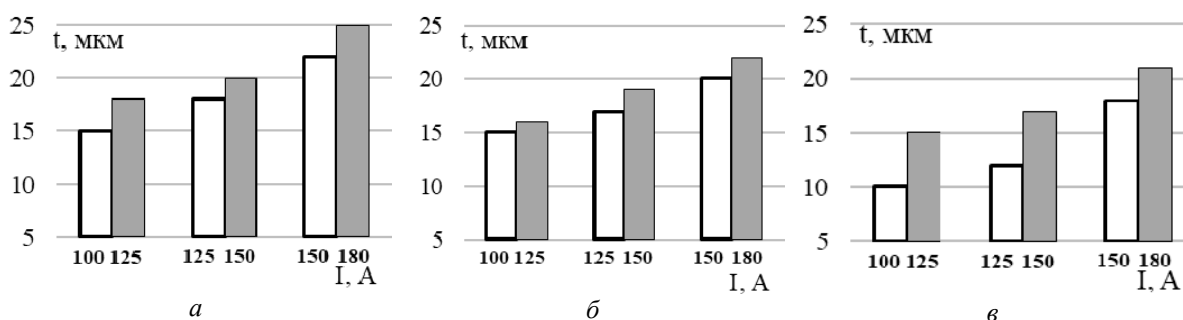


Рисунок 4 – Залежність товщини ламелей t у покриттях з ПД 50Х6Г2МС (а), ПД 250Х21ВФГС (б) та ПД 50ХН2Р5ГС (в) залежно від продуктивності напилювання покриттів (за величиною струму), отриманих з ПД діаметром 1,6 (світлі стовпчики) та 2,4 (темні стовпчики) мм

Джерело: розробка авторів

Оскільки процес напилювання покриттів проводили з використанням повітряного струменя, то виявилось, що у багатьох випадках ламелі покриттів відокремлені одна від одної тонкими прошарками оксидних фаз (рис. 5). Показали, що із збільшенням дистанції напилювання від 80 до 120 мм (що рівноцінно зростанню часу перебування крапель у повітряному струмені) вміст оксидної фази у покриттях зростає удвічі. У покриттях сформованих із ПД діаметром 2,4 мм виявили на 40...100 % більше оксидної фази, ніж у покриттях сформованих з ПД діаметром 1,6 мм. Це зумовлено більшим об'ємом шихти у ПД більшого діаметру, порожнини між порошинками якої заповнені повітрям, яке інтенсивно окиснює краплини розплаву всередині ПД і на їх торцях під час напилювання покриттів.

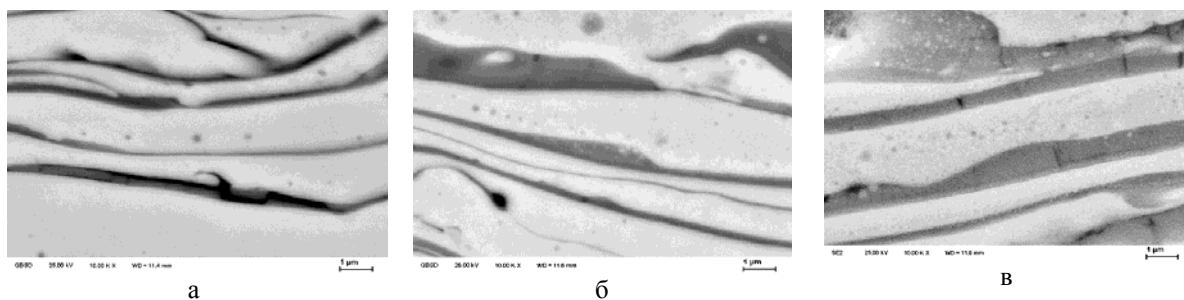


Рисунок 5 – Оксидні прошарки між ламелями у структурі покриттів, напилених порошковим дротом з дистанції 80 (а), 100 (б), 120 (в) мм

Джерело: розробка авторів

Фазовим аналізом встановили, що матричною фазою структури покриття із ПД 50X6Г2МС був мартенсит із невеликою кількістю оксиду заліза Fe_3O_4 (табл. 2). Тоді як матричною фазою покриття із ПД 250X21ВФГС був залишковий аустеніт з невеликою кількістю мартенситу та оксидів хрому та заліза ($Cr_2O_3 + Fe_3O_4$). Швидка кристалізація краплин на сталевій основі сприяла утворенню у структурі покриття великої кількості залишкового аустеніту. Матричною фазою покриття із ПД 50XН2Р5ГС був мартенсит, в якому виявили нанорозмірні включення складнолегованого бориду $FeCrB$ та невелику кількість оксиду заліза Fe_3O_4 . У цьому випадку швидка кристалізація краплин привела до утворення великої кількості центрів кристалізації боридів, які за браком часу встигали вирости лише до нанорозмірів.

Таблиця 2 – Фазовий склад елементів структури покриттів із досліджуваних ПД

Марка ПД	α -Fe, мас.%	γ -Fe, мас.%	Оксиди, мас.%	FeCrB мас.%
50X6Г2МС	90 мартенситу	-	Fe_3O_4	-
250X21ВФГС	28 мартенситу	60 залишкового аустеніту	$Cr_2O_3+Fe_3O_4$	-
50XН2Р5ГС	47 мартенситу	-	Fe_3O_4	40

Джерело: розробка авторів

Вплив товщини ламелей у структурі покриттів, напилених ПД з різною кількістю шихти (залежно від їх діаметра 1,6 та 2,4 мм), на їх поруватість, мікротвердість, адгезію до сталевій основі, абразивну зносостійкість.

Поруватість покриттів всіх систем легування зростала із збільшенням товщини ламелей у структурі напилених покриттів і, відповідно, діаметра ПД (рис. 6). Така закономірність зумовлена зростанням діаметра краплин, які формували покриття. Із збільшенням діаметра краплин при ударі об поверхню напилювання відбувалося інтенсивне їх розбризкування, що зумовило виникнення мікропорожнин між ламелями у структурі покриттів.

Встановили, що мікротвердість покриттів із ПД 50X6Г2МС та ПД 50XН2Р5ГС зростала із збільшенням товщини ламелей у структурі покриттів, що особливо яскраво проявилось за використання для напилювання ПД більшого діаметра (рис. 7а, б). Це пояснили випаровуванням та вигоранням легувальних елементів із краплин, особливо вуглецю під час їх розпилювання. Із збільшенням діаметра краплин кількість вуглецю, що вигорів з краплин зменшувалася. А вищий вміст вуглецю у мартенситній матричній фазі покриттів відповідав за підвищення їх мікротвердості.

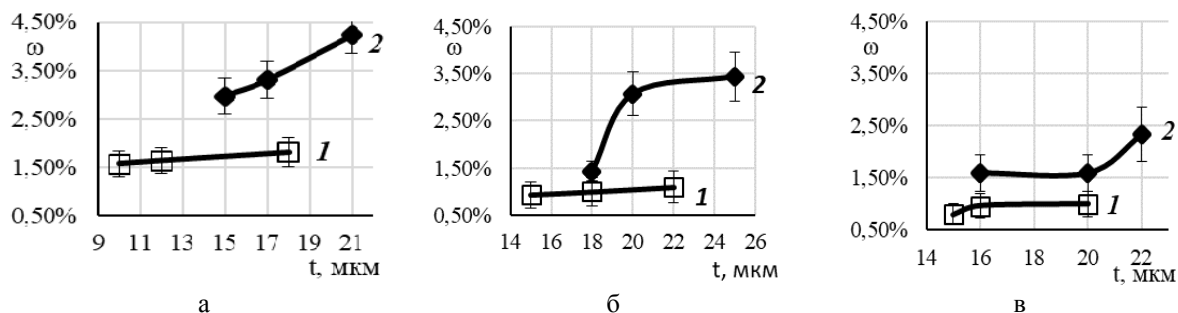


Рисунок 6 – Вплив товщини ламелей t у структурі покриттів із ПД 50ХН2Р5ГС (а), ПД 50Х6Г2МС (б) та ПД 250Х21ВФГС (в) діаметром 1,6 (1) та 2,4 (2) мм на поруватість покриттів ω

Джерело: розробка авторів

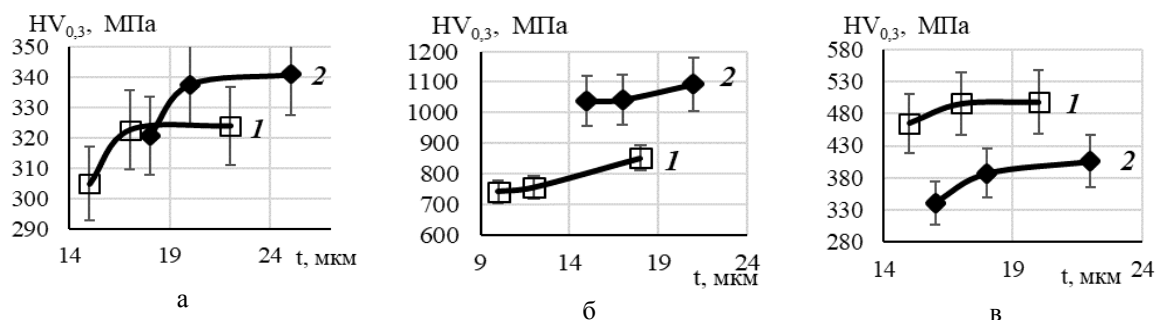


Рисунок 7 – Вплив товщини ламелей t у структурі покриттів із ПД 50Х6Г2МС (а), ПД 50ХН2Р5ГС (б) та ПД 250Х21ВФГС (в) діаметром 1,6 (1) та 2,4 (2) мм на їх мікротвердість $HV_{0,3}$

Джерело: розробка авторів

Разом з тим в покриттях із ПД 250Х21ВФГС виявили протилежну тенденцію впливу товщини ламелей на мікротвердість за використання дроту більшого діаметру (рис. 7в). Це зумовлено фазовим складом цих покриттів, а саме значною кількістю залишкового аустеніту в них, якому властива нижча мікротвердість, ніж високовуглецевому мартенситу. З дрібних краплин, що формувалися під час розпилювання ПД меншого діаметру, вуглецю вигоряло значно більше, а значить і вміст аустеніту у ламелях покриття був нижчим, а мартенситу - вищим.

Адгезія покриттів із ПД 50ХН2Р5ГС та ПД 250Х21ВФГС дещо зменшувалася із зростанням товщини ламелей у структурі покриттів, спричиненої особливо за використання ПД більшого діаметра (рис. 8а, б). Це зумовлено виникненням у напилених покриттях напружень розтягу. Внаслідок їх впливу в покриттях виникали мікротріщини або навіть формувалася їх мережа, що суттєво знижувало їх адгезію до сталеві основи. Для покриття із ПД 50Х6Г2МС виявили обернену закономірність (рис. 7в). Із збільшенням товщини ламелей у структурі покриття та діаметра ПД його адгезія до сталеві основи зростала. Це пояснили більшою тепловою енергією краплин, меншим вигорянням вуглецю із них та формуванням покриттів із матричною фазою високовуглецевого мартенситу. Чим більше вуглецю у мартенситі, тим менший коефіцієнт термічного розширення покриття, що зумовлює менший рівень залишкових напружень розтягу в ньому.

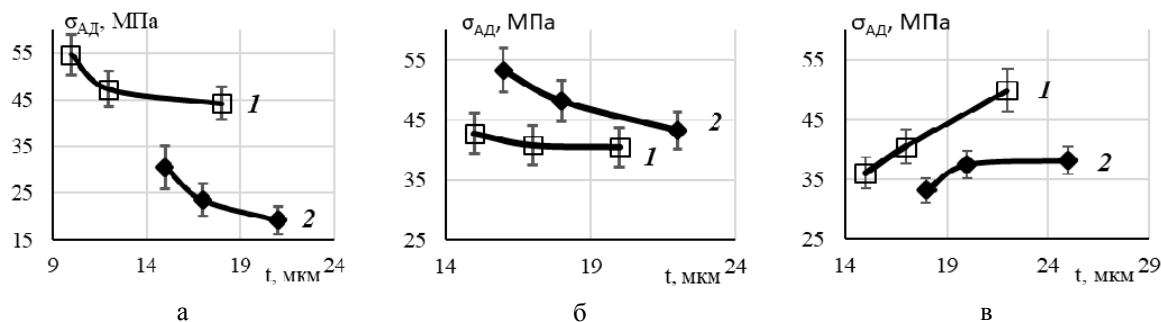


Рисунок 8 – Вплив товщини ламелей t у структурі покриттів із ПД 50ХН2Р5ГС (а), ПД 250Х21ВФГС (б) та ПД 50Х6Г2МС (в) діаметром 1,6 (1) та 2,4 (2) мм на їх адгезію $\sigma_{ад}$ до сталеві основи

Джерело: розробка авторів

Вплив товщини ламелей у структурі покриттів, напилених ПД з різною кількістю шихти (залежно від їх діаметра 1,6 та 2,4 мм), на їх абразивну зносостійкість.

Із збільшенням товщини ламелей у структурі покриттів, напилених ПД 250Х21ВФГС (особливо більшого діаметра), їх абразивна зносостійкість зменшується (рис. 9а). Такий результат пояснили більшою кількістю залишкового аустеніту у покритті (табл. 2), який має меншу мікротвердість ніж мартенсит. Із менших за діаметром краплин вигоряє більше вуглецю ніж із більших краплин. Тому в покритті, напиленого ПД діаметром 1,6 мм вуглецю менше, ніж у покритті з ПД діаметром 2,4 мм, а значить і менше залишкового аустеніту.

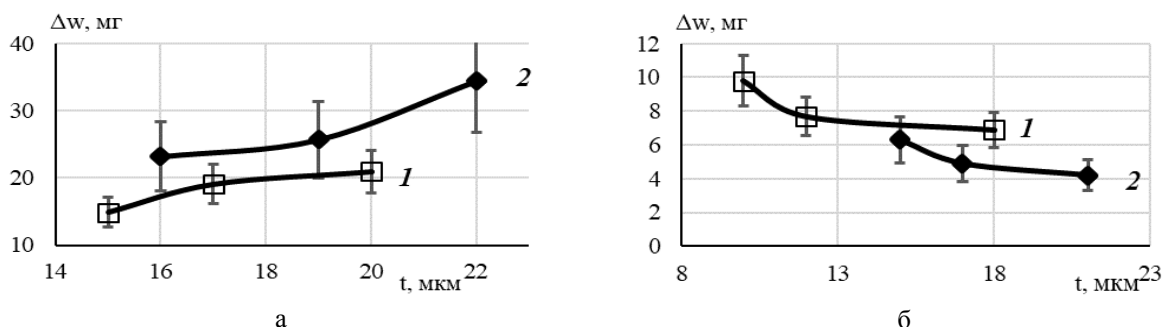


Рисунок 9 – Вплив товщини ламелей t у структурі покриттів із 250Х21ВФГС (а) та ПД 50ХН2Р5ГС (б) діаметром 1,6 (1) та 2,4 (2) мм на їх абразивну зносостійкість за втратою маси зразків Δw . (дати в мг)

Джерело: розробка авторів

Із збільшенням товщини ламелей у покриттях, напилених ПД 50ХН2Р5ГС (особливо більшого діаметра) їх абразивна зносостійкість ($1 / \Delta w$) зростала. Це зумовлено збільшенням твердості таких покриттів та меншим рівнем залишкових напружень розтягу. У таких покриттях напруження розтягу релаксують завдяки утворенню мікротріщин, які, однак, не знижують абразивної зносостійкості.

Характер зміни газоабразивної зносостійкості покриттів із цих ПД аналогічний до отриманого для абразивної зносостійкості. Газоабразивна зносостійкість покриттів з ПД 250Х21ВФГС зменшувалася із збільшенням товщини ламелей та діаметра ПД (рис. 10а), тоді як покриттів із ПД 50ХН2ГР5С – вона зростала і для покриттів із ПД більшого діаметра була вищою (рис. 10б).

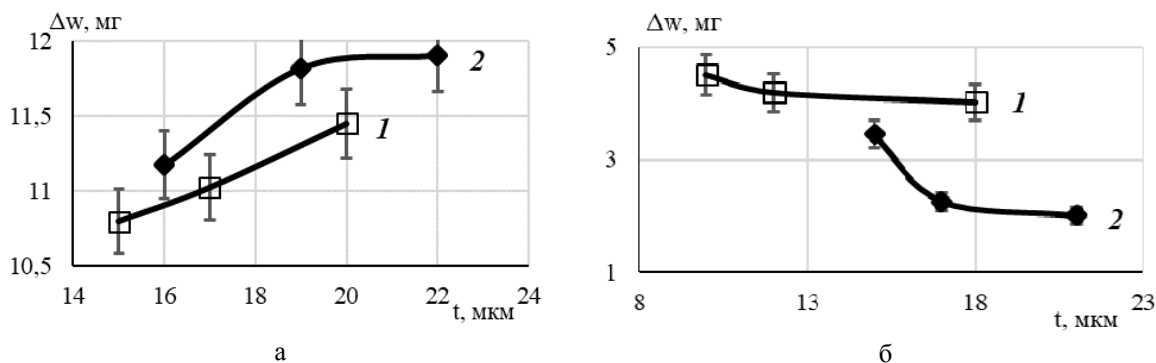


Рисунок 10 – Вплив товщини ламелей t у структурі покриттів із ПД 250X21ВФГС (а) та ПД 50ХН2Р5ГС (б) діаметром 1,6 (1) та 2,4 (2) мм на їх газоабразивну зносостійкість за втратою маси зразків Δw . (дати в мг)

Джерело: розробка авторів

Висновки. Встановлено, що товщина ламелей у покриттях усіх проаналізованих систем легування зростала зі збільшенням об'єму розплавленого металу на торцях ПД з відповідним формуванням краплин більшого діаметру під час його диспергування повітряним струменем, що реалізовувалось завдяки використанню ПД більшого діаметра з відповідно вищим коефіцієнтом заповнення його оболонки шихтою та підвищеного струму дуги.

Показано, що кількість оксидної фази у структурі покриттів зростає вдвічі зі збільшенням дистанції розпилювання ПД від 80 до 120 мм. Більше оксидної фази (на 40...100%) виявили у покриттях, сформованих із ПД діаметром 2,4 мм з вищим коефіцієнтом заповнення його оболонки шихтою порівняно із покриттями, сформованими із ПД діаметром 1,6 мм з нижчим заповненням. Це зумовлено більшим об'ємом шихти у ПД більшого діаметру, порожнини між порошинками в якій заповнені повітрям, яке інтенсивно окиснює краплини розплаву всередині ПД і на їх торцях під час напилювання покриттів.

Встановлено, що поруватість, та мікротвердість покриттів із розроблених ПД зростає із збільшенням товщини ламелей в їх структурі та, відповідно, діаметру ПД. Збільшення мікротвердості зумовлено меншим випаровуванням та вигоранням елементів легування з краплин, що формують покриття, а збільшення поруватості спричинено інтенсивним розбризкуванням краплин при ударі об напилювану поверхню, що сприяє виникненню мікропорожнин між ламелями покриття.

Встановлено, що із збільшенням товщини ламелей у структурі покриттів з ПД 250X21ВФГС та ПД 50ХН2Р5ГС їх адгезія до сталеві основи дещо зменшилася, що зумовлено виникненням в покриттях напружень розтягу, які спричиняють появу мікротріщин або мережі тріщин у їх структурі. Водночас адгезія покриттів із ПД 50X6МГ2С до сталі зросла, що зв'язали з більшим вмістом вуглецю у крупних ламелях та сприятливими умовами для формування в них високовуглецевого мартенситу, який має найменший коефіцієнт термічного розширення та спричиняє найменші залишкові напруження розтягу у покриттях.

Встановлено, що абразивна та газоабразивна зносостійкість покриттів із ПД 250X21ВФГС знизилася, а із ПД 50ХН2Р5ГС підвищилася внаслідок збільшення товщини ламелей у їх структурі за використання ПД більшого діаметра.

Список літератури

1. Effect of high-temperature corrosion on the gas-abrasive resistance of electric-arc coatings / M. M. Student, H. V. Pokhmurs'ka, V. V. Hvozdet's'kyi, M. Ya. Holovchuk, M. S. Romaniv. *Materials Science*. 2009. Vol.44, №4. P. 481-489.

2. Influence of the composition of charge of powder wires on the structure and properties of electric-arc coatings / H. V. Pokhmurs'ka, M. Ya. Holovchuk, Yu. V. Dz'oba, V. M. Hvozdet's'kyi, L. V. Dzyubyk. *Materials Science*. 2018. Vol.53, №6. P. 868-874.
3. М. М. Студент, М. Я. Головчук, В. М. Гвоздецький. Вплив хімічного складу порошкових дротів на структуру та зносостійкість покриттів різного хімічного складу. *Проблеми трибології*. 2017. №3. С. 56-61.
4. Korobov Yury. Arc-Sprayed Fe-Based Coatings from Cored Wires for Wear and Corrosion Protection in Power Engineering Coatings. 2018. Vol. 8(2). P.71.
5. Структура и свойства электродуговых покрытий на основе феробора, полученных из порошковых проволок / А. Л. Борисова, И. В. Миц, Т. В. Кайда [и др.]. *Автоматическая сварка*. 1991. 9. С. 66 – 68.
6. Dallaire S., Levert H. Synthesis and deposition of TiB₂ containing materials by arc spraying. *Surface and Coatings Technology*. 1992. 50, 2, P. 241 – 248.
7. Багатофункціональні электродугові покриття / М.М. Студент та ін.; Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАНУ, Видавництво “Простір-М”, 350. С. 2018.
8. Microstructural Characterization and Wear Properties of Fe-Based Amorphous-Crystalline Coating Deposited by Twin Wire Arc Spraying / Ana Arizmendi-Morquecho, Araceli Campa-Castilla, C. Leyva-Porras, Josué Almicar Aguilar Martinez, Gregorio Vargas Gutiérrez, Karla Judith Moreno Bello, L. López López. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2014, Vol. 2014. |Article ID 836739 <https://doi.org/10.1155/2014/836739>
9. Черновол М.І., Мажейка О.Й., Маркович С.І., Студент М.М. Трибологічні характеристики композиційних покриттів, отриманих электродуговим напиленням порошкового та суцільнотягнутого дроту. *Проблеми трибології*. 2006. № 4. С. 88-96.

Referencis

1. Student, M.M., Pokhmurs'ka, H.V., Hvozdet's'kyi, V.V., Holovchuk, M. Ya. & Romaniv, M.S. (2009). Effect of high-temperature corrosion on the gas-abrasive resistance of electric-arc coatings. *Materials Science*. Vol.44, 4, 481-489 [in English].
2. Pokhmurs'ka, H.V., Holovchuk, M.Ya., Dz'oba, Yu. V., Hvozdet's'kyi, V.M. & Dzyubyk L.V. (2018). Influence of the composition of charge of powder wires on the structure and properties of electric-arc coatings. *Materials Science*, Vol.53, 6, 868-874 [in English].
3. Student, M.M., Holovchuk, M.Ya. & Hvozdet's'kyj, V.M. (2017). Vplyv khimichnoho skladu poroshkovykh drotiv na strukturu ta znosostyjkist' pokryttiv riznoho khimichnoho skladu [Influence of chemical composition of flux-cored wires on the structure and wear resistance of coatings of different chemical composition]. *Problemy trybolohii – Problems of tribology*, 3, 56-61 [in Ukrainian].
4. Korobov Yury (2018). Arc-Sprayed Fe-Based Coatings from Cored Wires for Wear and Corrosion Protection in Power Engineering Coatings, 8(2), 71 [in English].
5. Borisova, A.L. et al. (1991). Struktura i svojstva jelektrodugovykh pokryttij na osnove ferobora, poluchennyh iz poroshkovykh provolok [Structure and properties of ferroboration-based electric arc coatings obtained from flux-cored wires]. *Avtomaticheskaja svarka – Automatic welding*, 9, 66 – 68 [in Russian].
6. Dallaire, S. & Levert, H. (1992). Synthesis and deposition of TiB₂ containing materials by arc spraying. *Surface and Coatings Technology*, 50, 2, 241 – 248 [in English].
7. Student, M.M., Pokhmurs'ka, H.V., Hvozdet's'kyj, V.M., Stupnyts'kyj, T.R., Posuvajlo, V.M. & Markovych, S.I. (2018). *Bahatofunktsional'ni elektroduhovi pokryttia [Multifunctional electric arc coatings]*. Vydavnytstvo “Prostir-M” [in Ukrainian].
8. Ana Arizmendi-Morquecho, Araceli Campa-Castilla, C. Leyva-Porras, Josué Almicar Aguilar Martinez, Gregorio Vargas Gutiérrez, Karla Judith Moreno Bello, L. López López (2014). Microstructural Characterization and Wear Properties of Fe-Based Amorphous-Crystalline Coating Deposited by Twin Wire Arc Spraying. *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2014. |Article ID 836739 <https://doi.org/10.1155/2014/836739> [in English].
9. Chernovol, M.I., Mazhejka, O.J., Markovych, S.I. & Student, M.M. (2006). Trybolohichni kharakterystyky kompozytsijnykh pokryttiv, otrymanykh elektroduhovym napylenням poroshkovoho ta sutsil'notiahnutoho drotu [Tribological characteristics of composite coatings obtained by electric arc sputtering of flux-cored and solid wire]. *Problemy trybolohii – Problems of tribology*, 4, 88-96 [in Ukrainian].

Mykhajlo Student, Prof., DSc., Senior Researcher, **Myroslav Golovchuk**, post-graduate, Junior Research **Halyna Chumalo**, PhD tech. sci., Senior Researcher, **Volodymyr Hvozdet'skii**, PhD tech. sci., Senior Researcher
Karpenko Physico-Mechanical Institute of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Sergiy Markovych, Assos. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine

Hanna Pohkmurska, Prof., DSc.

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Influence of Diameter of Electrode Powder-like Wires is on Mechanical Descriptions of Elektrodogovikh Coverages

The influence of the diameter of the electrode flux-cored wires on the mechanical characteristics of the electric arc coatings is carried out in the work. Electric arc coatings were obtained on the original equipment, developed and manufactured at the Institute of Physics and Mechanics. GV Karpenko NAS of Ukraine. For spraying, model flux-cored wires of basic doping systems Fe – Cr – C and Fe – Cr – B with a diameter of 1.6 and 2.4 mm were used. The influence of the diameter of flux - cored wires on the structure, electric arc coatings from model flux - cored wires of different diameters is investigated. The dependence of porosity, microhardness, adhesion to the steel base, abrasive wear resistance of electric arc coatings sprayed from flux-cored wires with different amounts of charge on the thickness of the lamellae in the coating structure has been established. The influence of the thickness of the lamellae in the structure of coatings sprayed from flux-cored wires with different amounts of charge (depending on their diameter 1.6 and 2.4 mm) on their abrasive wear resistance was determined. It was found that the thickness of the lamellae in the coatings of all analyzed alloying systems increased with increasing volume of molten metal at the ends of flux-cored wires with the corresponding formation of droplets of larger diameter during its dispersion by air jet. shell charge and high arc current.

It is shown that the amount of oxide phase in the structure of coatings doubles with increasing spray distance of flux-cored wires from 80 to 120 mm. More oxide phase (40... 100%) was found in coatings formed of flux-cored wires with a diameter of 2.4 mm with a higher filling factor of its shell charge compared to coatings formed of flux-cored wires with a diameter of 1.6 mm with lower filling. This is due to the larger volume of the charge in the powder wires of larger diameter, the cavities between the powders in which are filled with air, which intensively oxidizes the melt droplets inside the powder wires and at their ends during spraying.

It is established that the porosity and microhardness of coatings from the developed flux-cored wires increase with the increase of the thickness of the lamellae in their structure and, accordingly, the diameter of the flux-cored wires. The increase in micro hardness is due to less evaporation and burnout of alloying elements from the droplets forming the coating, and the increase in porosity is caused by intensive spraying of droplets when hitting the sprayed surface, which contributes to micro cavities between the lamellae of the coating.

It was found that with increasing the thickness of the lamellae in the structure of coatings of flux-cored wires 250H21VFGS and flux-cored wires 50HN2R5GS their adhesion to the steel base decreased slightly due to the occurrence of tensile stresses in coatings, which cause micro cracks or cracks. At the same time, the adhesion of 50X6MG2C flux-cored wire coatings to steel increased due to the higher carbon content of large lamellae and favorable conditions for the formation of high-carbon martensite, which has the lowest coefficient of thermal expansion and causes the lowest residual tensile stresses.

It was found that the abrasive and gas-abrasive wear resistance of coatings from flux-cored wires 250X21BΦГC decreased, and from flux-cored wires 50XH2P5ГC increased due to the increase in the thickness of the lamellae in their structure using a larger diameter.

coating, flux-cored wires, microhardness, abrasion resistance, porosity, stress

Одержано (Received) 28.09.2020

Прорецензовано (Reviewed) 17.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.791.92

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).43-47](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).43-47)**В.В. Чигарьов**, проф., д-р техн. наук*Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, Україна**e-mail: chigarew07@gmail.com***Ю.В. Логвінов**, доц., канд. техн. наук*Маріупольський інститут ПРАТ «Межрегіональна академія управління персоналом», м. Маріуполь, Україна**e-mail: 07log07@gmail.com***О.Г. Білик**, доц., д-р техн. наук*Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, Україна**e-mail: alexbelick@gmail.com*

Зниження утворення оксидів при наплавленні зносостійких сплавів

В статті розглянуті питання зниження вмісту шкідливих речовин при наплавленні легованих зносостійких сплавів. Проведені дослідження по визначенню можливості зниження утворення оксидів при наплавленні високолегованих зносостійких сплавів типу сормайт з використанням замкнутої фільтровентиляційної системи (ЗФВС), що забезпечує мінімальні втрати легуючих елементів при формуванні наплавленого шару.

електродні матеріали, наплавлення, легуючі елементи, зварювальні аерозолі, окислювальні процеси, замкнута фільтровентиляційна система, наплавлений метал

В.В. Чигарёв, проф., д-р техн. наук*Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина***Ю.В. Логвинов**, доц., канд. техн. наук*Мариупольский институт ЧАО «Межрегиональная академия управления персоналом» г. Мариуполь, Украина***А.Г. Белик**, доц., д-р техн. наук*Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина*

Снижение образования оксидов при наплавке износостойких сплавов

В статье рассмотрены вопросы снижения содержания вредных веществ при наплавке легированных износостойких сплавов. Проведены исследования по определению возможности снижения образования оксидов при наплавке высоколегированных износостойких сплавов типа сормайт с использованием замкнутой фильтровентиляционной системы (ЗФВС), что обеспечивает минимальные потери легирующих элементов при формировании наплавленного слоя.

электродные материалы, наплавка, легирующие элементы, сварочные аерозолі, окислительные процессы, замкнутая фильтровентиляционная система, наплавленный металл

Постановка проблеми. Зниження вмісту оксидів при наплавленні легованих зносостійких сплавів є актуальним завданням для забезпечення якості наплавленого металу та його властивостей. Оцінка оптимальних рішень щодо вишукування можливих технологічних процесів, що знижують утворення оксидів, вимагає проведення досліджень при наплавленні зносостійких сплавів порошковими стрічками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] представлені основні положення щодо раціонального легування металу і формування зносостійкої фази. В роботі [2] викладаються основні положення з легування наплавленого металу, призначеного для роботи в різних умовах ударного, абразивного зношування, а також вплив легуючих елементів на утворення карбідної фази та матриці – основних складових сплаву.

Постановка завдання. Метою статті є розробка технологічного процесу наплавлення зносостійких сплавів з забезпеченням зниження утворення оксидів і втрат легуючих елементів в наплавленому металі.

Виклад основного матеріалу. Для наплавлення застосовують різні наплавні матеріали, які відрізняються зварювально-технологічними властивостями, складом і легуючими елементами, та забезпечують отримання необхідного складу і властивостей в наплавленому шарі. В результаті плавлення електродного металу та протікання металургійних процесів в зоні горіння дуги та зварювальної ванни, відбувається виділення в атмосферу різних газів з утворенням зварювальних аерозолів (ЗА). Утворювані ЗА складаються з твердих складових зварювального аерозолу (ТСЗА) і газоподібних складових зварювального аерозолу (ГСЗА). Зварювальні аерозолі, містять шкідливі речовини у вигляді пилу і газів, різних оксидів: CO, MnO, SiO₂, Cr₂O₃, NO, N₂O₃, CO₂, шкідливо впливають на санітарно-гігієнічні умови в робочій зоні [3-4].

Кількість шкідливих виділень залежить від режимів наплавлення, виду електродного матеріалу та його складу. Для механізованого електродугового наплавлення широко використовуються порошкові стрічкові електродні матеріали.

При наплавленні з використанням порошкової стрічки вміст хімічних елементів в наплавленому металі знижується за рахунок утворення оксидів легуючих елементів в результаті їх взаємодії з киснем атмосферного повітря, що впливає на властивості наплавленого шару.

Для зменшення вмісту кисню в газоповітряній суміші, що утворюється в процесі наплавлення, застосовуються спеціальні абсорбуючі речовини в ЗФВС, які знижують перебіг окислювальних процесів з утворенням оксидів легуючих елементів. При цьому газоповітряна суміш забирається із зони горіння дуги та зварювальної ванни, проходить фільтрацію через систему спеціальних фільтрів, в яких видаляють ТСЗА і ГСЗА, після чого очищена газова суміш використовується в якості газового захисту при наплавленні [4].

Дослідження проводили з використанням порошкових стрічок, які мали різні осердя, але забезпечували однакові хімічні склади наплавленого металу.

Використовувалися порошкові стрічки, що містять в осерді механічну суміш порошкоподібних компонентів та комплексно-легований сплав. Комплексно-легований сплав (лігатура) – попередньо виплавлений в індукційній печі сплав, який містить необхідні леговані елементи. Отримання частинок необхідних розмірів виробляли шляхом гідрогрануляції, які потім вводилися до складу осердя порошкової стрічки. Зазначені порошкові стрічки забезпечували в наплавленому шарі однаковий хімічний склад однієї системи легування.

Виготовлення порошкових стрічок необхідних розмірів проводилося на верстатах, які забезпечують отримання однозамкової конструкції оболонки.

Наплавлення проводили на постійних режимах: зварювальний струм 700-750 А, напруга дуги 28-32 В, швидкість наплавлення 36 м / год. Після наплавлення визначали хімічний склад наплавленого металу на вміст вуглецю, марганцю, кремнію, нікелю. Для отримання достовірних результатів оцінки виробляли по 10 вимірювань для кожного експерименту.

У процесі наплавлення із зони горіння дуги робили відбір газового середовища з використанням ЗФВС. При роботі ЗФВС досліджувалися різні сорбенти і фільтруючі елементи. Загальні відомості про речовини, які рекомендовані в якості сорбенту, здатного абсорбувати кисень, представлений в табл. 1 [5]. Вміст легуючих елементів в наплавленому металі із використанням ЗФВС наведено в табл. 2.

Таблиця 1 – Загальні відомості про використані сорбенти

№ п/п	Найменування сорбенту	Молекули, що найбільш абсорбуються	Кінетичний діаметр Å
1.	Югавараліт	C_2H_4	3,6...3,9
2.	Цеоліт X	$(C_4H_9)_3N$	8,1
3.	Цеоліт W	SO_2	3,6
4.	Цеоліт P-W	NO	3,6
5.	Цеоліт L	$(C_4H_9)_3N, (C_4F_9)_3N_1$	8,1
6.	Фожазит	$(C_2F_5)_3 N$	8,0
7.	Стильбіт	H_2O, NH_4	2,6
8.	Морденіт широкопористий	NH_9	2,6
9.	Натроліт	$(C_4F_9)_3N$	10
10.	Жисмондин	$N_2; O_2$	3,6

Джерело: [5].

Таблиця 2 – Вміст легуючих елементів в наплавленому металі із використанням ЗФВС

Тип осердя порошкової стрічки	Вид наплавлення	Склад легуючих елементів у металі шва, %				
		C	Mn	Si	Cr	Ni
Механічна суміш компонентів	Без використання ЗФВС	2,55	1,44	2,4	20,6	2,8
	З використанням ЗФВС	2,8	1,8	2,99	21,6	2,92
Комплексно-легований лігатур	Без використання ЗФВС	2,70	1,4	2,04	20,4	2,66
	З використанням ЗФВС	2,9	2,12	3,06	24,2	3,80

Джерело: розроблено авторами

На рис.1 и 2 представлені хімічні склади наплавленого металу, отриманого при наплавленні з використанням порошкових стрічок з осердям із механічної суміші компонентів та комплексно-легованого сплаву із застосуванням ЗФВС.

Результати експериментів свідчать про зниження окислення легуючих елементів в процесі наплавлення.

При наплавленні зносостійких сплавів можливо зменшити окисні процеси, але необхідно проводити вибір сорбентів, які можуть максимально абсорбувати шкідливі виділення.

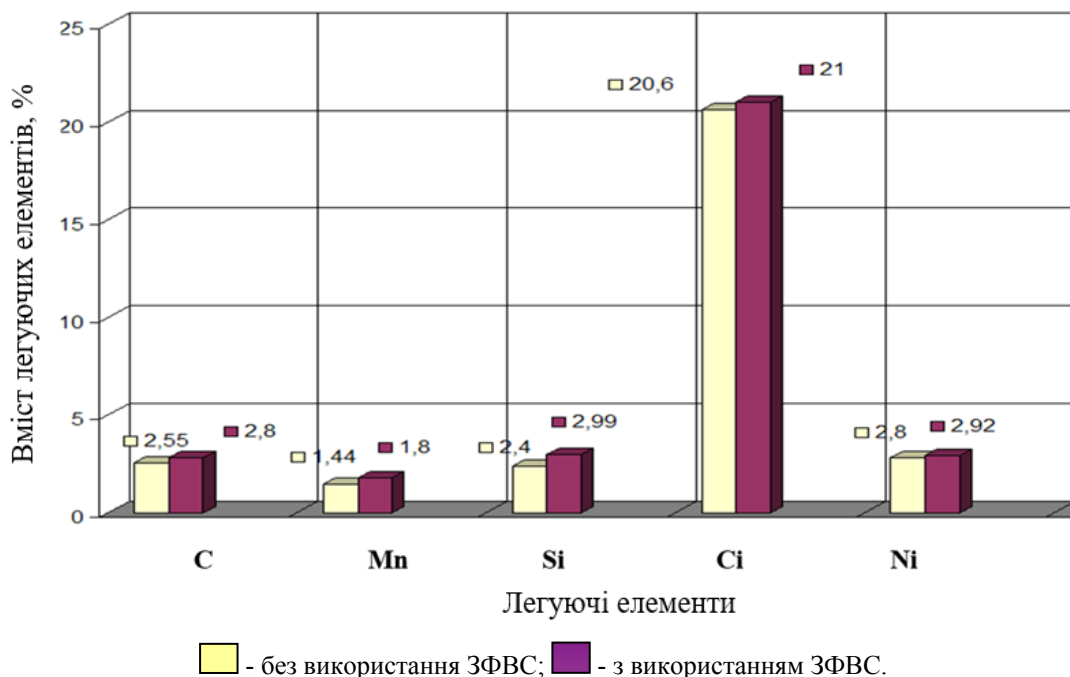


Рисунок 1 – Хімічний склад наплавленого металу при наплавленні порошковою стрічкою, що містить в складі осердя механічну суміш компонентів

Джерело: розроблено авторами

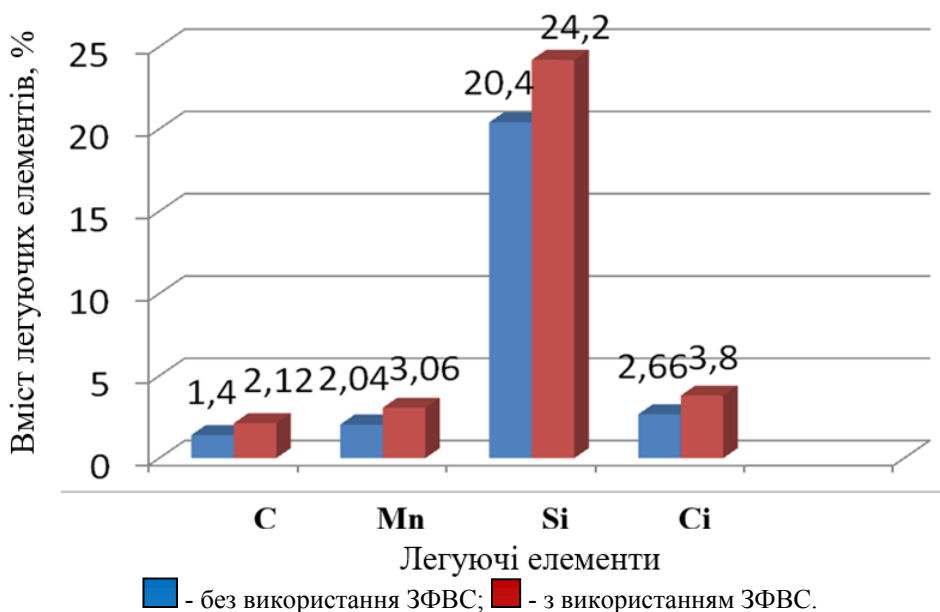


Рисунок 2 – Хімічний склад наплавленого металу при наплавленні порошковою стрічкою, що містить в складі осердя комплексно-легований сплав

Джерело: розроблено авторами

Висновки.

1. Використання ЗФВС в зоні горіння дуги знижують вміст кисню і утворення оксидів, при використанні відповідного сорбенту, що сприяє збереженню легуючих елементів в наплавленому металі.

2. Для зниження протікання окислювальних процесів при наплавленні високолегованих зносостійких сплавів типу сормайт із застосуванням ЗФВС в якості сорбенту рекомендується використовувати жісмондін.

Список літератури

1. Сафронов И.И. Основы рационального легирования сплавов. Кишинев: Штиинца, 1991. 278 с.
2. Лившиц Л.С., Гринберг Н.А., Куркумелли Э.Г. Основы легирования наплавленного металла. Москва: Машиностроение, 1969. 188 с.
3. Чигарёв В.В., Левченко О.Г. Санитарно-гигиеническая оценка наплавочных порошковых лент. *Сварочное производство*. 2004. №12. С. 35-37.
4. Логвинов Ю.В. Замкнутая фильтровентиляционная система по нейтрализации и локализации сварочного аэрозоля при наплавке. *Наука та виробництво: міжвуз. темат. зб. наук. пр. Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ»*. 2018. Вип. 19. С.32-35.
5. Брека Д. Цеолитовые молекулярные сито. Москва: Мир, 1980. Т.1. 504с.

Reference

1. Safronov, I.I. (1991). *Osnovy racional'nogo legirovanija splavov [Fundamentals of rational alloying of alloys]*. Kishinev: Shtiinca [in Russian].
2. Livshic, L.S., Grinberg N.A. & Kurkumelli, Je.G. (1969). *Osnovy legirovanija naplavlennogo metalla [Fundamentals of alloying of deposited metal]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
3. Chigarjov, V.V. & Levchenko, O.G.(2004). Sanitarno-gigienicheskaia ocenka naplavocnyh poroshkovykh lent [Sanitary-hygienic assessment of surfacing flux-cored tapes]. *Svarocnoe proizvodstvo – Welding production, 12*, 35-37 [in Russian].
4. Logvinov, Ju.V. (2018). Zamknutaja fil'troventiljacionnaja sistema po nejtralizacii i lokalizacii svarocnogo ajerozolja pri naplavke [Closed filtering system for neutralization and localization of welding aerosol during surfacing]. *Nauka ta virobnictvo: mizhvuz. temat. zb. nauk. pr. Mariupol': DVNZ «PDTU» – Science and technology: mizhvuz. Topics. Zb. Sciences. Pr. Vol. 19*, 32-35 [in Russian].
5. Breka, D. (1980). *Ceolitovye molekularnyye sito [Zeolite molecular sieve]*. (Vol.1). Moscow: Mir [in Russian].

Valeriy Chigarev, Prof., DSc.

State Higher Educational Institution 'Priazovsky State Technical University', Mariupol, Ukraine

Yuriy Logvinov, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Mariupol Institute PJSC 'Interregional Academy of Personnel Management', Mariupol, Ukraine

Alexandr Belik, Assoc. Prof., DSc.

State Higher Educational Institution 'Priazovsky State Technical University', Mariupol, Ukraine

Reduction of Oxides Formation During Surfacing of Wear-resistant Alloys

The article deals with the issues of reducing the content of harmful substances when surfacing alloyed wear-resistant alloys. Studies have been carried out to determine the possibility of reducing the formation of oxides during surfacing of high-alloy wear-resistant alloys of the sormite type using a closed filter-ventilation system, which ensures minimal losses of alloying elements during the formation of the deposited layer. The loss of alloying elements during surfacing is influenced by a number of metallurgical and technological factors, including the share of the base metal in the deposited, surfacing modes, oxidation processes during melting of the electrode material and in the melt of the weld pool when interacting with the surrounding gas environment.

To reduce the oxygen content in the gas-air mixture formed during the surfacing process, special absorbent substances are used in a closed filtering and ventilation system, which reduce the course of oxidative processes with the formation of oxides of alloying elements. At the same time, the gas-air mixture is taken from the zone of arc burning and the weld pool, filtered through a system of special filters, in which solid and gaseous components of the welding aerosol are removed, after which the purified gas mixture is used as gas protection during surfacing.

We used powder tapes containing a mechanical mixture of powder components and a complex-alloyed alloy in the core. A complex-alloyed alloy, an alloy previously melted in an induction furnace, containing the necessary alloying elements. Particles of the required sizes were obtained by hydrogranulation, which were then introduced into the core of a flux-cored tape. The indicated flux-cored strips provided the same chemical composition of one alloying system in the deposited layer. After surfacing, the chemical composition of the deposited metal was determined for the content of carbon, manganese, silicon, nickel. The use of a closed filtering and ventilation system makes it possible to reduce the formation of oxides of alloying elements, which requires the determination of specific parameters for each surfacing process.

electrode materials, surfacing, alloying elements, welding aerosols, oxidation processes, closed filter ventilation system, deposited metal

Одержано (Received) 06.10.2020

*Прорецензовано (Reviewed) 14.10.2020
Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020*

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

UDC 621.891

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).48-53](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).48-53)

Volodymyr Kropivnyi, Prof., PhD in tech. sci., **Mykola Bosyi**, Sen. Lect., **Olexandr Kuzyk**, Assoc. Prof., PhD in tech. sci., **Alena Kropivna**, Assoc. Prof., PhD in tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
e-mail: Kuzykov1985@gmail.com

Specific Distribution of Thermal Effects of Graphite Forming Reactions in High-strength Cast Iron

The dependence of thermal effects of reactions in the formation of inclusions of vermicular and globular graphite is substantiated in the article. The calculation of thermal effects according to the heat of formation of reagents in cast iron and their dependence on the temperature factor is given. The distribution of temperatures and carbon content in the eutectic shell is shown, increasing the compact inclusion of graphite due to diffusing carbon from the melt through the austenitic shell.

high-strength cast iron, globular graphite, vermicular graphite, crystallization, thermal effect of reactions

В.Н. Кропивний, проф., канд. техн. наук, **Н.В. Босый**, ст.препод., **А.В. Кузык**, доц., канд. техн. наук,
А.В. Кропивная, доц., канд. техн. наук

Центральнoукраїнський національний технічний університет г. Кропивницький, Україна

Особенности распределения тепловых эффектов реакций формирования графита высокопрочных чугунов

В статье приведен расчет тепловых эффектов с теплотой образования реагентов в чугуне и установлено их зависимость от температурного фактора. Обоснована роль теплофизических процессов в формировании включений вермикулярного и шаровидного графита, с обеспечением их роста за счет диффузии углерода из расплава через аустенитную оболочку.

высопрочный чугун, шаровидный графит, вермикулярный графит, кристаллизация, тепловой эффект реакций

Statement of the problem. High-strength cast irons continue to keep a leading position amongst structural materials in modern engineering. This group of cast irons is characterized by high strength and durability indicators at the level of carbon steels with high level of foundry properties (liquidity, segregation). All the facts show the increase of demand for the use of high-strength cast iron for the manufacture of machine parts and mechanisms. Modern technologies applied in the production of high-strength cast iron make it possible to obtain a set of enhanced properties, which are achieved by modifying the melts with spheroidizing elements and forming graphite inclusions of compact form, as well as alloying. At the same time, the issues of the mechanism of forming globular graphite are still debatable and do not allow reaching a generally accepted theoretical explanation of the phenomena.

It is known that cast iron has thermophysical characteristics, which strongly depend on the nature of the forming structure, the parameters of which depend on local crystallization conditions. Physicochemical processes occurring during crystallization of high-strength cast iron complicate the explanation of the mechanism of formation of inclusions of spherical and compact forms of graphite. The varied hypotheses of the formation of globular graphite and current possibilities of computer simulation do not lead to a generalized theoretical explanation of the phenomena that occur during graphitization. The discovery of the

mechanism of the processes of formation of globular graphite will open possibilities for controlling the structure and properties of high-strength cast iron. That allows developing effective technological processes for obtaining cast products for various purposes.

Analysis of recent research and publications. Modern research methods create new opportunities to confirm or disprove the validity of one or another hypothesis about the formation mechanism of globular and vermicular graphite in high-strength cast iron.

There is a number of works [2] in which the formation of globular graphite (after modifying the melt with magnesium-containing additives) is associated with "gas bubbles" of magnesium vapour. However, such hypotheses do not explain the formation mechanism of vermicular graphite inclusions in magnesium iron. Attempts are made to transform the bubble theory with new experimental data, for example, the discovery of new modification of carbon - fullerenes and their detection in iron-carbon alloys [3].

Studies on the formation of graphite nucleus [11-13] show that the centre of the graphite globule contains Ca, Mg, S, Si, and O, therefore, calcium and magnesium sulphides (CaS, MgS) are surrounded by an oxide layer and are considered as substrates for graphite nucleation. With the increase of magnesium in the melt, the number of magnesium-containing compounds increases and they affect the formation of the microstructure of the matrix, graphite and inter-granular boundary. Growth of graphite globules, their size and shape are determined by such factors as: the nature of the nucleus; the ability of the nucleus to adsorb impurities and gases and the rate of carbon diffusion.

The authors in the work [7] associate the formation of a globular graphite form with the purification of the melt from surfactants of sulphur, oxygen and other impurities. As a result of this cleaning, the ratio of surface tension on the interface surfaces between the melt and the base and prismatic planes of graphite inclusions changes. This theory allows explaining the difference in the formation of globular and vermicular graphite, but does not explain a number of issues. They are the correlation between the refining and spheroidizing action of chemical elements, the influence of the rate of crystallization of the melt on the formation of graphite.

A number of researchers [8, 9] associated the formation of compact forms of graphite with their growth in the process of eutectic crystallization due to the diffusion of carbon through the austenitic shell. The calculations confirmed the sufficiency of the eutectic crystallization time of the modified melt for the growth of compact inclusions due to carbon diffusion through the austenitic phase. It is noted that the conditions of heat transfer from the surfaces at the crystallization fronts on which exothermic reactions occur: crystallization of austenite and separation of graphite out of a liquid or solid carbon solution in iron, play a significant role in the processes of graphite formation during the crystallization of cast iron. The results of computer simulations indicate that these thermal effects can have a significant impact on the development of diffusion and liquidation processes.

Statement of the objective. Thus, the purpose of this work is to clarify the role of thermal effects of reactions in the process of crystallization of austenite and the formation of graphite inclusions in modified high-strength cast iron.

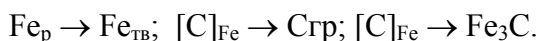
Main material. The studies were carried out on samples of high-strength cast iron, which was smelted in an induction furnace, the chemical composition of which corresponded to the BЧ 500-2 brand (DSTU 3925-99). The melt was modified in the ladle by sandwich method to $Mg_{\text{residual portion}} = 0.035\%$ by VL 63 (O) ligature with Mg = 6.3%, Ca = 1.8%, Si = 46%, Fe – the rest.

Slides preparations were carried out according to conventional methods. Metallographic analysis was performed using a MIM-7 microscope.

In the first phase of the study, the modified cast iron was poured into graphite crucibles with the capacity of 1 kg and 5 kg. After a period of time which is sufficient for the formation of crust up to 10 mm thick on the surface of the crucible, the non-crystallized liquid

residue in the centre of the crucible was poured out and subsequent rapid cooling of the crystallized crust with aqueous brine was carried out. Microstructure studies have shown that the placed inclusions of globular graphite, even directly near the inner surface of the crust are surrounded by a ferrite shell. Inclusions of vermicular graphite come to the surface of the section with the ends surrounded by ferrite only on the sides. This indicates that the ends of the inclusions of compact and vermicular graphite in some periods of the crystallization process had contact with the melt. At the same time, it is noted that hardened specimens in the end region, the inclusions of vermicular graphite have a significantly smaller thickness (up to 3 microns), compared to the thickness of the inclusions in the zones that are farther from the crystallization front. This indicates a significant role in further formation of the diffusion growth of inclusions of compact graphite through the austenitic shell. Thus, after the formation of the nucleus of globular graphite, it is completely surrounded by its austenitic shell, and when forming vermicular graphite it is only partial.

According to the method of calculation of thermal effects of reactions on the heat of the formation of reagents in cast iron, on the basis of the initial data given in [10], a thermodynamic calculation of thermal effects of reactions was carried out:



The calculations of thermal effects of the given reactions in the cast iron were carried out by the formula:

$$C_p = a + b \cdot 10^{-3} T + c \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/МОЛЬ} \cdot \text{К} \quad (1)$$

The change of enthalpy was defined ΔH_{298}^0 :

$$\text{– for the reaction } \text{Fe}_p \rightarrow \text{Fe}_{\text{TB}}: \Delta H_{298}^0 = \Delta H_{\text{Fe}_{\text{TB}}}^0 - 3\Delta H_{\text{Fe}_p}^0 = 0;$$

$$\text{– for the reaction } [\text{C}]_{\text{Fe}} \rightarrow \text{Crp}: \Delta H_{298}^0 = \Delta H_{\text{Crp}}^0 - \Delta H_{[\text{C}]_{\text{Fe}}}^0 = 0;$$

$$\text{– for the reaction } [\text{C}]_{\text{Fe}} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}: \Delta H_{298}^0 = \Delta H_{\text{Fe}_3\text{C}}^0 - \Delta H_{[\text{C}]_{\text{Fe}}}^0 = 22,61 \text{ kJ/mole}.$$

The coefficients of temperature dependency of the change of heating capacity ΔC_p in the process of reaction $\text{Fe}_p \rightarrow \text{Fe}_{\text{TB}}$ were:

$$\Delta a = 14,11 - 41,87 = -27,76; \Delta b = 29,27 - 0 = 29,27; \Delta c = 1,80 - 0 = 1,80.$$

And the change of heating capacity of ΔC_p system, as a result of the reaction $\text{Fe}_p \rightarrow \text{Fe}_{\text{TB}}$ was:

$$\Delta C_p = -27,76 + 29,27 \cdot 10^{-3} T + 1,80 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ J/mole} \cdot \text{K}.$$

The coefficients of temperature dependency of the change of heating capacity in the process of reaction $[\text{C}]_{\text{Fe}} \rightarrow \text{Crp}$ were:

$$\Delta a = 16,75 - 0 = 16,75; \Delta b = 4,27 - 0 = 4,27; \Delta c = -8,37 - 0 = -8,37.$$

Heating capacity change of ΔC_p system as a result of reaction $[\text{C}]_{\text{Fe}} \rightarrow \text{Crp}$ was defined by the ratio:

$$\Delta C_p = 16,75 + 4,27 \cdot 10^{-3} T + (-8,37) \cdot 10^5 T^{-2} \text{ J/mole} \cdot \text{K}.$$

For the reaction $[\text{C}]_{\text{Fe}} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$ the calculated coefficients of temperature dependency of the change of heating capacity were:

$$\Delta a = 82,23 - 0 = 82,23; \Delta b = 83,73 - 0 = 83,73; \Delta c = 0 - 0 = 0.$$

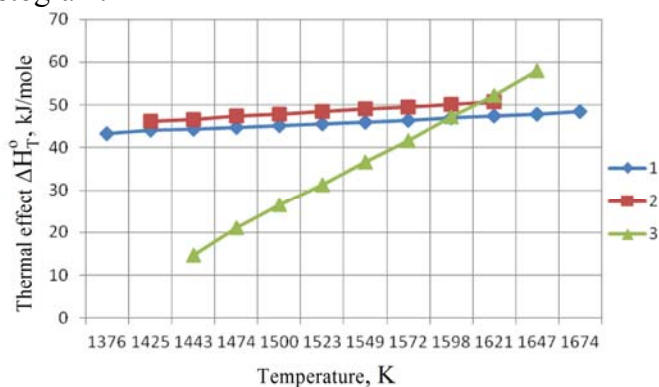
The change of heating capacity of ΔC_p system of the reaction $[\text{C}]_{\text{Fe}} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$:

$$\Delta C_p = 82,23 + 83,73 \cdot 10^{-3} T + 0 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ J/mole} \cdot \text{K}.$$

Calculated heating effect ΔH_T^0 of the reaction $\text{Fe}_p \rightarrow \text{Fe}_{\text{TB}}$ for the temperature interval 1103...1401°C was $\Delta H_{(1103^\circ\text{C})}^0 = 43,368 \text{ kJ/mole}$

Similarly, heating effects for the reaction $[\text{C}]_{\text{Fe}} \rightarrow \text{Crp}$ were defined in the temperature interval 1152...1348°C and for the reaction $[\text{C}]_{\text{Fe}} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$ in the temperature interval 1170...1374°C. The results of the assessment of heating effects of the reactions are shown in

fig. 1 in the form of histogram.



1 – reaction $\text{Fe}_p \rightarrow \text{Fe}_{\text{FB}}$; 2 – reaction $[\text{C}]_{\text{Fe}} \rightarrow \text{Crp}$; 3 – reaction $[\text{C}]_{\text{Fe}} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$

Figure 1 – Dependency of thermal effects of reactions on temperature factor

Source: developed by the author

Mole particles (content) of Fe and C in cast iron equal 96% and 4% respectively:

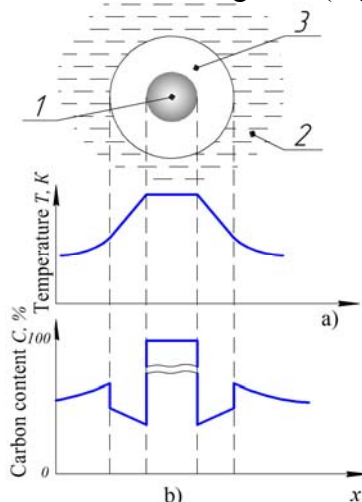
$m_{(\text{Fe})} = m(\text{cast iron}) \cdot m \text{ particle (Fe)} = 100 \cdot 0,96 = 96 \text{ g}$; $m_{(\text{C})} = m(\text{cast iron}) \cdot m \text{ particle (C)} = 100 \cdot 0,04 = 4 \text{ g}$

Molar mass of Fe and C are: $M_{(\text{Fe})} = 56 \text{ g/mole}$; $M_{(\text{C})} = 12 \text{ g/mole}$.

The quantity of Fe and C in (100 g) cast iron, that is their molar particle are:

$$n_{(\text{Fe})} = \frac{m_{\text{Fe}}}{M_{(\text{Fe})}} = \frac{96 \text{ g}}{56 \text{ g/mole}} = 1,714 \text{ mole}; \quad n_{(\text{C})} = \frac{m_{\text{C}}}{M_{(\text{C})}} = \frac{4 \text{ g}}{12 \text{ g/mole}} = 0,333 \text{ mole}.$$

The amount of heat released during the crystallization of the austenitic phase along the boundary of the melt-austenite separation is 76.69 kJ per 1 kg of melt. Accordingly, the amount of heat released on the austenite-compact graphite inclusion boundary is 15.39 kJ per 1 kg of melt. This nature of the distribution of heat release areas determines that the surrounding inclusion of compact graphite is the solid austenitic phase and it will have a substantially higher temperature than the surrounding melt (Fig. 2).



1 – graphite; 2 – melt; 3 – austenite shell

Figure 2 – Temperature distribution a) and carbon content b) in austenite shell of growing compact inclusion of graphite

Source: developed by the author

The existence of a continuous overheated austenitic shell is possible due to the reduced carbon content and, consequently, an increase in the solidus temperature. In its turn, it creates the conditions for the intense diffusion of carbon through austenite from the melt of the eutectic composition to the surface of graphite inclusions. Special thermophysical conditions of

formation of austenitic shells lead to high content of silicon and reduced manganese, which results in the formation of ferrite shells around the inclusions of compact graphite.

Conclusions.

1. The calculation of thermal effects according to the heat of the formation of reagents in cast iron was carried out and their dependence on the temperature factor was established.

2. The role of thermophysical processes in the formation of inclusions of vermicular and globular graphite with their growth due to the diffusion of carbon from the melt through the austenitic shell has been experimentally and theoretically substantiated.

Список літератури

1. Гнатуш В.А., Дорошенко В.С. Состояние и перспективы развития мирового рынка литья из чугуна с шаровидным графитом. *Литье Украины*. 2017. №2 (198). С. 24-33.
2. Савуляк В. І., Янченко О.Б. Економічні технології високоміцних графітованих сплавів заліза: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2014. 160 с.
3. Центры кристаллизации графита в серых чугунах / И. Рипоза, М. Чизамера, Т. Скаланд, М. И. Онсойен. Elkem ASA, Foundry Products, 2006. С. 24-37.
4. Корович В.А., Палавин Р.Н. Комплексная обработка расплава стали и чугуна: монографія. Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2009. 101с.
5. Кульбовский И.К. Поддубный А. Н., Богданов Р. А. Получение чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом без применения магнийсодержащих модификаторов. *Литейное производство*. 2007. № 2. С. 7-9.
6. Аулін, В. В., Кропівний В. М., Кузык О. В. З'ясування природи процесів структурних та фазових перетворень в залізovуглецевих сплавах на основі утворення молекулярної форми вуглецю. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту*. 2016. Вип. 29. С. 94-104.
7. Мильман Б.С. Осада Н.Г., Ильичева Л.В. Основные факторы образования шаровидного графита в чугуне. Основы образования литейных сплавов. Москва: Наука, 1970.
8. Комаров О.С. Формирование структуры чугуновых отливок. Мн.: Наука и техника, 1977. 224 с.
9. Toshiro Owadano, Koji Yamada, Kiyoshi Torogoe. Quantitative Metallographic Study of the Solidification of Spheroidal Graphite Cast Iron. *Trans. JIM*. Vol.18, 1977, p.871-877.
10. Сабірзянов Т.Г., Кропівний В.М. Теплотехніка ливарних процесів. Кіровоград: КНТУ, 2005. 403 с.
11. Зенкин Р.Н. Механизм кристаллизации высокопрочного чугуна. *Технические науки: известия ТулГУ*. 2013. № 6, ч. 1. С. 192–200.
12. Панов, А.Г. Влияние микроструктуры ФСМг-модификаторов на кристал-лизацию и микроструктуру высокопрочных чугунов. *Металлургия и материаловедение: труды Нижегородского гос. техн. ун-та им. Р.Е. Алексеева*. 2013. № 1 (98). С. 209–219.
13. Effect of mould inoculation on formation of chunky graphite in heavy section spheroidal graphite cast iron parts / I. Asenjo, P. Larranaga, J. Sertucha, R. Suarez, J.-M. Gomez, I. Ferrer, J. Lacaze. *International journal of cast metals research*. 2007. Vol. 6. № 6. P. 319–324.

References

1. Gnatush, V.A. & Doroshenko, V.S. (2017). Sostojanie i perspektivy razvitija mirovogo rynka lit'ja iz chuguna s sharovidnym grafitom [State and prospects of development of the global cast iron graphite casting market Casting of Ukraine]. *Lit'e Ukrainy – Casting Ukraine*, 2 (198), 24-33 [in Russian].
2. Savuliak, V.I. & Yanchenko, O.B. (2014). *Ekonomichni tekhnolohii vysokomitsnykh hrafityzovanykh splaviv zaliza* [Economic technologies of high-strength graphitized iron alloys]. Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].
3. Ripozan, I., Chizamer, M., Skaland, T. & Onsoyen, M. I. (2006). *Centry kristallizacii grafita v seryh chugunah* [Centres for crystallization of graphite in gray cast iron]. Elkem ASA, Foundry Products [in Russian].
4. Korovich, V.A. & Palavin, R. N. (2009). *Kompleksnaja obrabotka rasplava stali i chuguna* [Complex treatment of steel and cast iron melt]. Nizhny Novgorod.: Nizhny Novgorod. R.E. Alekseev State tech. university [in Russian].
5. Kulbovskiy, I.K., Poddubnyi, A.N. & Bogdanov, R.A. (2007). Poluchenie chuguna s sharovidnym i vermikuljarnym grafitom bez primenenija magnijsoderzhashhих модификаторов [Production of cast iron with globular and vermicular graphite without the use of magnesium-containing modifiers]. *Litejnoe proizvodstvo – Foundry production*, 2, 7-9 [in Russian].
6. Aulin, V.V., Kropivnyi, V.M., & Kuzyk O.V. (2016). Z'iasuvannia pryrody protsesiv strukturnykh ta fazovykh peretvoren' v zalizovuhletsevykh splavakh na osnovi utvorennia molekuliarnoї formy

- vuhletsiu [The elucidation of the nature of the processes of structural and phase transformations in iron-carbon alloys on the basis of the formation of the molecular form of carbon]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnyts'vi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyziatsiia: zb. nauk. pr. Kirovohr. nats. tekhn. un-tu.* – Collection of Scientific Works of KNTU. Engineering in agricultural production, industrial engineering, automation, Vol. 29, 94-104 [in Ukrainian].
7. Milman, B.S., Osada, N.G. & Ilyicheva L.V. (1970). *Osnovnye faktory obrazovanija sharovidnogo grafita v chugune* [Main factors of the formation of globular graphite in cast iron]. Fundamentals of the formation of cast alloys. Moscow: Scienc. [in Russian].
 8. Komarov, O.S. (1977). *Formirovanie struktury chugunnyh otlivok* [Formation of the structure of cast iron castings]. Mn.: Science and technology [in Russian].
 9. Toshiro Owadano, Koji Yamada, Kiyoshi Torogoe (1977). Quantitative Metallographic Study of the Solidification of Spheroidal Graphite Cast Iron (Trans. L.M.), Vol.18. 871-877.
 10. Sabirzyanov, T.G. & Kropivnyi, V.M. (2005). *Teplotekhnika lyvarnykh protsesiv* [Heat engineering of casting processes]. Kirovohrad: KNTU [in Ukrainian].
 11. Zenkin, R.N. (2013). *Mehanizm kristalizacii vysokoprochnogo chuguna* [The crystallization mechanism of ductile iron]. *Tekhnicheskie nauki: izvestija TulGU – Bulletin of the TulSU. Technical science. No. 6, 1, 192–200* [in Russian].
 12. Panov, A.G. (2013). *Vlijanie mikrostruktury FSMg-modifikatorov na kristal-lizaciju i mikrostrukturu vysokoprochnykh chugunov* [The influence of the microstructure of FSMg-modifiers on the crystallization and microstructure of high-strength cast irons]. *Metallurgija i materialovedenie: trudy Nizhegorodskogo gos. tehn. un-ta im. R.E. Alekseeva – Proceedings of Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev. Metallurgy and materials science. No. 1, 98, 209–219* [in Russian].
 13. I. Asenjo et al. (2007). Effect of mould inoculation on formation of chunky graphite in heavy section spheroidal graphite cast iron parts. *International journal of cast metals research, Vol. 6, 6, 319–324* [in English].

В.М. Кропивний, проф., канд. техн. наук, **М.В. Босий**, ст. викл., **О.В. Кузик**, доц., канд. техн. наук, **А.В. Кропивна**, доц., канд. техн. наук

Центральнoукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Особенности розподілу теплових ефектів реакцій формування графіту у високоміцних чавунах

Питання механізму формування кулястого графіту все ще залишаються дискусійним та не дає досягнути загальноприйнятого теоретичного пояснення протікаючих явищ. Розкриття механізму процесів формування кулястого графіту сприятиме відкриттю широких можливостей управління структурою і властивостями високоміцного чавуну. Таким чином, метою даної роботи є уточнення ролі теплових ефектів реакцій в процесі кристалізації аустеніту і формуванні включень графітну у модифікованому високоміцному чавуні.

Дослідження мікроструктури показало, що розміщені включення кулястого графіту навіть безпосередньо біля внутрішньої поверхні кірки знаходяться в оточенні феритної оболонки. Включення вермикулярного графіту виходять на поверхню розділу торцями, які оточені феритом лише по бокам. Це свідчить, що торці включень компактного та вермикулярного графіту в окремі періоди процесу кристалізації мали контакт з розплавом. Таким чином, після формування зародка кулястого графіту відбувається повне оточення його аустенітною оболонкою, а при формуванні вермикулярного графіту лише часткове. Згідно з методикою розрахунку теплових ефектів реакцій за теплою утворення реагентів в чавуні, кількість теплоти, яка виділяється при кристалізації аустенітної фази по межі поділу "розплав – аустеніт" становить 76,69 кДж на 1кг розплаву. Відповідно, кількість тепла, яке виділяється на межі "аустеніт - компактне графітне включення" складає 15,39 кДж на 1 кг розплаву. Тобто, оточуюча включення компактного графіту тверда аустенітна фаза буде мати суттєво вищу температуру ніж оточуючий її розплав. Особливі теплофізичні умови формування аустенітних оболонок приводить до підвищеного вмісту у них кремнію та пониженого марганцю, наслідком чого є формування феритних оболонок навколо включень компактного графіту.

Обґрунтовано залежність теплових ефектів реакцій у формуванні включень вермикулярного та кулястого графіту. Наведено розрахунок теплових ефектів за теплою утворення реагентів в чавуні та встановлено їх залежність від температурного фактору. Показано розподіл температур та вмісту вуглецю в евтектичній оболонці, ростучого компактного включення графіту за рахунок дифузії вуглецю з розплаву через аустенітну оболонку.

високоміцний чавун, кулястий графіт, вермикулярний графіт, кристалізація, тепловий ефект реакцій

Одержано (Received) 14.01.2020

Прорецензовано (Reviewed) 11.03.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.793

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).54-65](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).54-65)**В.В. Аулін**, проф., д-р техн. наук, **І.Ф. Василенко**, доц., канд. техн. наук,**М.В. Красота**, доц., канд. техн. наук*Центральнoукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна**e-mail: AulinVV@gmail.com; vasylenko.ivan@gmail.com; krasotamv@ukr.net*

Теоретичне обґрунтування експлуатаційних властивостей деталей автомобілів, зміцнених композиційними покриттями, методом кластерних компонентів

У статті теоретично обґрунтовано експлуатаційні властивості деталей автомобілів, зміцнених композиційними покриттями, з використанням методу кластерних компонентів. Вибираючи різні набори параметрів, а також варіюючи систему обмежень на них, можна здійснити формування комплексу експлуатаційних властивостей деталей. Для спрощення моделі впакування композиційних покриттів і матеріалів прийнято вважати наповнювачі різного складу, ізометричної форми та однакового розміру. Запропоновані їх регулярні структури, що відповідають упаковці куль однакового розміру. Показано, що такі упаковки утворюють решітки аналогічні атомним кристалічним структурам. Виявлено залежності функції властивостей композиційних покриттів від вмісту кожного з видів кластерних компонентів. Метод кластерних компонентів, описуючи зміни властивостей композиційних покриттів від співвідношення компонентів, дає можливість управляти комплексом експлуатаційних властивостей й отримати якісні покриття для підвищення довговічності деталей, систем і агрегатів автомобілів.

композиційне покриття, кластерний компонент, упаковка, експлуатаційні властивості**В.В. Аулін**, проф., д-р техн. наук, **І.Ф. Василенко**, доц., канд. техн. наук, **М.В. Красота**, доц., канд. техн. наук*Центральнoукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна*

Теоретическое обоснование эксплуатационных свойств деталей автомобилей, упрочненных композиционными покрытиями, методом кластерных компонентов

В статье теоретически обоснованы эксплуатационные свойства деталей автомобилей, упрочненных композиционными покрытиями с использованием метода кластерных компонентов. Выбирая те или иные наборы параметров, а также варьируя систему ограничений на них, можно осуществить формирование комплекса эксплуатационных свойств деталей. Для упрощения модели упаковки композиционных материалов и покрытий принято считать, что наполнители разного состава имеют изометрическую форму и одинаковый размер. Предложена регулярная структура, соответствующая упаковке сфер одинакового размера. Показано, что такие упаковки образуют решетки аналогичные атомным кристаллическим структурам. Выявлены зависимости функции свойств композиционных покрытий от содержания каждого из видов кластерных компонентов. Метод кластерных компонентов, описывая изменения свойств композиционных покрытий от соотношения компонентов, даёт возможность управлять комплексом эксплуатационных свойств и получить качественные покрытия для повышения долговечности деталей систем и агрегатов автомобилей.

композиционное покрытие, кластерный компонент, упаковка, эксплуатационные свойства

Постановка проблеми. Ряд ресурсовизначальних деталей систем і агрегатів автомобілів в процесі експлуатації підлягають інтенсивному зношуванню та процесам втоми, а тому не витримують планованого ресурсу роботи. Важливим резервом підвищення надійності та ефективності використання такої техніки є зміцнення робочих поверхонь її деталей композиційними матеріалами та покриттями. Зазначений спосіб зміцнення дає можливість, управляючи структурою композиційних матеріалів і

покриттів, сформувати необхідний комплекс експлуатаційних властивостей деталей, щоб забезпечити належний рівень надійності й підвищити довговічність. Разом з тим це потребує теоретичного обґрунтування, щоб встановити відповідність між структурою, складом, розподілом хімічних елементів нанесеного на деталі композиційного покриття та їх експлуатаційними властивостями, такими як зносостійкість, утомна міцність та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В умовах інтенсивного абразивного зношування поверхневих шарів деталей машин ефективно працюють композиційні матеріали, що складаються з пластичної матриці та твердого тугоплавкого наповнювача, твердість якого має бути вищою за твердість абразивних зерен. Зносостійкість гетерогенних композиційних матеріалів та покриттів досліджено в роботі [1]. Нанесення композиційних покриттів та формування необхідного комплексу властивостей здійснювали, використовуючи лазерні технології [2, 3] та проводили модифікацію [4, 5] сформованих композиційних покриттів безперервною та дискретною лазерними обробками [6, 7]. Показано, що лазерні технології формування композиційних покриттів викликають ряд аномальних ефектів: масоперенос, тепло- та електропровідність, локальна самоорганізація, істотна нерівномірність матеріалу [8, 9, 10].

Визначено, що експлуатаційні властивості деталей сільськогосподарської та автотранспортної техніки залежать передусім від розташування складових (матриця, наповнювач) композиційних матеріалів і покриттів, їх характеристик і властивостей [11, 12].

Показано, що характеристики і властивості композиційних матеріалів і покриттів залежать як від технології їх формування, так і режимів використання [13-17].

Покращити характеристики та властивості композиційних матеріалів і покритої їх реалізації доцільно використовувати методи моделювання і теоретичного обґрунтування.

Вплив об'ємного вмісту наповнювача на експлуатаційні властивості зміцнених композиційними матеріалами і покриттями деталей досліджено в роботі [18]. Фізичні обґрунтування, фізико-хімічні основи створення і моделювання властивостей композиційних покриттів і матеріалів триботехнічного призначення наведені в роботах [19, 21]. Технологія формування композиційних покриттів з використанням порошкових дротів і дослідження комплексу їх властивостей відображено в роботах [22-23].

Перспективи теоретичних досліджень полів температур і напружень композиційних покриттів і матеріалів при експлуатації розглянуто в роботах [24-27]. Визначено, що вирішальним фактором формування властивостей композиційного матеріалу, якщо виходити з його внутрішніх взаємозв'язків, є структура. На відміну від структури твердого тіла (компакта), структура композиційних матеріалів (КМ) і композиційних покриттів (КП) багаторівнева. Макроскопічна структура КП являє собою упаковку об'єктів макроскопічних розмірів – частинок, які можуть відрізнятися кількісними (геометричний розмір, форма) та якісними (складом, розподілом хімічних елементів) характеристиками.

Врахувати всі рівні структури КП і КМ в межах змістовної моделі вельми складно. Вагомим кроком до створення теорії формування та прогнозування властивостей КП є врахування структури як на макроскопічному, так і на субмакроскопічному рівнях. При цьому доцільно використати напівемпіричний метод, що базується на стереометричних моделях порошкового матеріалу. В цьому напрямку на увагу заслуговує метод кластерних компонентів (МКК) [28].

МКК – це спроба побудови кількісної теорії формування сукупності властивостей КП і КМ як багатокомпонентних фізико-хімічних систем зі складною структурою. В основі методу лежить припущення про те, що у складній фізико-хімічній системі можна виділити такі конфігураційні утворення, які несуть інформацію про властивості всієї системи і мають чітку фізичну природу та обмежену кількість.

Постановка завдання. Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування використання методу кластерних компонентів для визначення і формування комплексу необхідних експлуатаційних властивостей, що забезпечують надійну та ефективну роботу деталей систем і агрегатів автомобілів.

Виклад основного матеріалу. Композиційне покриття на робочих поверхнях деталей та композиційний матеріал розглядаємо як систему. Згідно з МКК будь-яку експлуатаційну властивість КП представимо у вигляді функції відсоткового вмісту кожного з видів та характеристик параметрів кластерних компонентів (КК):

$$f = f(\alpha_1, \dots, \alpha_n; f_1, f_2, \dots, f_s), \quad (1)$$

де α_i – відносний вміст КК, що визначає стан КП та КМ як системи;

f_1, f_2, \dots, f_s – характеристики КК;

n – кількість видів КК, $s \geq n$.

Параметри, що характеризують КП і КМ залежать від $k-1$ -компонентного вектора складу:

$$\bar{c} = (c_1 \dots c_{k-1}); \quad \sum_{i=1}^k c_i = 1, \quad (2)$$

де c_i – відносний вміст i -го компонента.

Аналогічно до формально-статистичного підходу в МКК при визначенні властивостей КП і КМ також обмежуються адитивними моделями

$$f(c) = \sum_{i=1}^n \alpha_i(c) f_i. \quad (3)$$

При цьому у якості базису вибирають спеціальні набори КК, які пов'язані з інваріантним способом уявлення складної системи, стан якої визначається набором параметрів t_0, t_1, \dots, t_l . За базисні орти взято набір векторів, у яких всі координати, крім однієї дорівнюють нулю. Вибираючи різні сукупності параметрів, а також варіюючи системою обмежень на них (якщо це можливо), можна по різному представити КП та КМ на мові КК. Зазначене являє змістовну частину задачі вибору КК.

Якщо наявний набір частинок наповнювача КП та КМ різного складу ізометричної форми і однакового розміру, то в якості моделі упакування цих частинок може бути використана регулярна структура, що відповідає різного типу упакуванням куль наповнювача та матриці однакового розміру. Ці упакування можливо уявити як утворення ґраток, аналогічних атомним кристалічним структурам. Відстань між найближчими вузлами структури є радіусом першої координаційної сфери, наступний – радіусом другої сфери тощо. Аналогічно до структури металів, можна виділити найпростіші типи упакувань частинок у КП і КМ: проста кубічна (ПК), об'ємно-центрована кубічна (ОЦК), гранецентрована кубічна (ГЦК) та гексагональна щільно упакована структура (ГЩУ). Виходячи з цього, весь об'єм КП та КМ можна уявити заповненим просторово-симетричними елементами, центри яких відповідають вузлам зазначених просторових ґраток. При цьому приймаємо, що кожна частинка осердя порошкового дроту являє собою сферу певного радіусу і сформоване КП є певним набором конгруентних сфер.

Набір КК однозначно подається у вигляді матриці, кількість стовпців якої відповідає кількості сортів частинок у моделі, а кількість рядків дорівнює кількості вузлів фігури, вибраної за базисну. Ґратка являє собою суперпозицію базисних фігур, заповнених певним чином частинками системи. Заповнення ґратки носить імовірнісний

характер, а вузли її мають однакову статистичну вагу. Загальна імовірність заповнення i -го вузла m -вузельної фігури складає $1/m$.

Для опису бінарної системи з m -вузельною базисною фігурою слід ввести $m-1$ параметр типу η . Це можливо зробити таким чином. Припускають, що імовірність знаходження частинки A у i -му вузлі дорівнює:

$$P_A^i = \sum_{j=1}^{m-1} b_{ij} \eta_j + c/m, \quad (4)$$

де c , $1-c$ – відповідні відносні концентрація частинок A і B , b_{ij} – елементи довільної невиворотної матриці ($\det b \neq 0$).

$$b = \begin{pmatrix} b_{11} \dots b_{1n-1} & 1/m \\ \dots & \dots \\ b_{n1} \dots b_{nm-1} & 1/m \end{pmatrix}. \quad (5)$$

У випадку рівності нулю усіх η_j ($j=1, \dots, m-1$) (4), має вигляд:

$$P_A^{(i)} = c/m \quad (6)$$

Вибір базисної конфігурації обумовлено геометрією ґратки, що описує систему КП (КМ), а також порядком обраного наближення. Кількість КК при матричному уявленні дорівнює k^m , тобто для бінарної системи з щільною упаковкою маємо шістнадцять КК.

Визначення КК як конфігурацій однотипних фігур ґратки дозволяє коректно обчислювати концентрації КК у повній відповідності з конфігураційними наближеннями статистичної теорії впорядкування.

Наведена інтерпретація має наочне представлення і простий фізичний зміст у разі змішування порошків A і B частинками, що мають однаковий розмір при формуванні КП (КМ). У кожній з підсистем існують тільки “чисті” КК складу AA і BB , а при об’єднанні підсистем в одну виникають утворення проміжного складу типу AB . Конфігураційна ентропія системи КП (КМ) при цьому зростає й оцінюється логарифмом кількості способів розподілу. Утворення КК проміжного складу описується квазіхімічною реакцією між вихідними КК.

У найпростішому варіанті методу, коли в якості КК вибрані пари AA , AB й BB (вузли 1 та 2 еквівалентні), квазіхімічна реакція однозначна й записується, виходячи з закону збереження речовини: $A_2 + B_2 = 2AB$, а повний набір цих реакцій – з π -теорему.

Матрицю зв’язку доповнюють рядками, відповідними розкладу матриці M_j за базисами, які відповідають внутрішнім параметрам, типу η_i , коли $i=1, 2, 3$:

$$M_j = \sum_{i=0}^l \delta_{ij} M_i, \quad (7)$$

де δ_{ij} – символ Кронекера:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$$

Утворюють також матрицю

$$C = -QP^{-1} | E_r, \quad (8)$$

де P^{-1} – матриця обернена до матриці P , E_r – одинична матриця порядку r , $|$ – операція правої конкатенації (приписування праворуч) матриць. Зазначимо, що кожний рядок матриці C дає коефіцієнт квазіхімічних реакцій між КК.

Якщо всі обмеження на елементи матриці композита є лише умовами еквівалентності вузлів базисної фігури, то набір квазіхімічних реакцій має особливо простий вигляд.

Для бінарних КП (КМ) складу $A_c B_{1-c}$, що задається матрицею M розміру $m \times r$, у якості P вибираємо мінор з рядків матриць КК складу B , A , а також матриць M_i ($i=1, \dots, m-1$) відповідно параметрам типу η_j

Тоді рядки матриці C мають вигляд:

$$\begin{aligned} &(-(1-c_i) \dots - c_i | \dots 1 \dots), \\ &-(1-c_i)B - c_i A + A_{c_i} B_{1-c_i} + \sum_1^{l-1} \gamma_i M_i = 0, \end{aligned} \quad (9)$$

або подаються у звичайному вигляді квазіхімічних реакцій:

$$c_i A + (1-c_i)B = A_{c_i} B_{1-c_i}. \quad (10)$$

Використовуючи квазіхімічний формалізм МКК, а також закон діючих мас до квазіхімічних реакцій між КК, у парному наближенні для ОЦК-гратки з характерним радіусом $l=1$, маємо:

$$\left. \begin{aligned} K \alpha_A \alpha_B &= \alpha_{A_{1/2} B_{1/2}}^2 \\ \alpha_A + \frac{1}{2} \alpha_{AB} &= c \\ \frac{1}{2} \alpha_{A_{1/2} B_{1/2}} + \alpha_B &= 1 - c \end{aligned} \right\}, \quad (11)$$

де α_A, α_B – відносні частки КК складу A та B ;

$\alpha_{AB}, \alpha_{A_{1/2} B_{1/2}}$ – відносні частки КК еквіоб'ємного складу A і B ;

c – відносна концентрація частинок складу A .

Вид функцій $\alpha_i(c)$ залежить від енергетичних констант квазіхімічних реакцій. У випадку двох КК $\alpha_A=c, \alpha_B=1-c$, а функція експлуатаційної властивості буде лінійною:

$$f = c f_A + (1-c) f_B. \quad (12)$$

При великій кількості КК вираз (12) зручно подати у вигляді:

$$f = c f_A + (1-c) f_B + \Delta f(c), \quad (13)$$

де f_A, f_B – властивості КК тільки частинок A або B , $\Delta f(c)$ – нелінійна частина f :

$$\Delta f(c) = \sum_{i=1}^n \alpha_i(c) \Delta f_i \quad (14)$$

α_i – вага КК складу $A_{p_i} B_{1-p_i}$.

Зазначимо, що підсумовування проводиться по усім КК проміжних складів, тоді маємо:

$$\Delta f_i = f_i - p_i f_A - (1-p_i) f_B \quad (15)$$

Вираз (15) характеризує нелінійну частину внеску у властивість f .

Базисній фігурі з двох вузлів відповідають три КК складу $B, A_{1/2} B_{1/2}, A$. При цьому система рівнянь (11) має розв'язок:

$$\alpha = \frac{4c(1-c)}{1 + \sqrt{1 - 4c(1-c) \left(1 - \frac{4}{K}\right)}} \quad (16)$$

Дослідження свідчать, що функція (16) є опуклою по змінній c . Максимальне значення α , а отже і відповідні властивості “чистих” КК, досягаються в точці $c=1/2$. Досліджуючи залежність (16) при наступних значеннях K : $K_1=1/8, K_2=1/6, K_3=1/2$,

можна стверджувати, що в околі точок $c=0$ і $c=1$ внесок у властивості КП дають лише КК двох найближчих складів: чистого КК В(А) і КК складу A_{p_i}, B_{1-p_i} .

У найпростішому парному наближенні бінарну систему $A_c B_{1-c}$ можна уявити набором трьох КК, а отже параметрами моделі є $f_A, f_B, f_{A_{1/2}B_{1/2}}$ і K . Величини f_A, f_B можуть бути легко одержані експериментально. Тоді модель експлуатаційної властивості КП буде характеризуватися тільки параметрами Δf і K . Спосіб визначення цих параметрів запропоновано в роботі [9].

При відомих значеннях похідної експериментальної функції на кінцях інтервалу $f'(0), f'(1)$ матимемо

$$\Delta f = \frac{1}{2}(f_B - f_A + f'(0)); \quad (17)$$

$$\Delta f = \frac{1}{2}(f_A - f_B + f'(1)). \quad (18)$$

Ступінь узгодження величин (17) і (18) є критерієм коректності опису функції експлуатаційної властивості $f(c)$ на вибраному базисі, а для визначення величини K необхідно знати значення функції у точці, що відповідає складу КК $f(1/2)$, тобто:

$$K = 4 \frac{\Delta f(1/2)}{\Delta f - \Delta f(1/2)}, \quad (19)$$

де $\Delta f(1/2)$ визначається за виразом (14) ($n=1, c=1/2$).

Отримане значення Δf дозволяє обчислити властивість f для КК $A_{1/2}B_{1/2}$. Величину K , оцінену по одній властивості, можна використати при описі інших властивостей цієї ж системи або проводити їх прогнозування.

Для аналізу такої властивості КП (КМ) як пористість, проблема подібності виникає для систем з тотожною стереометрією частинок. При даній упаковці частинок величина пористості є функцією їх геометрії:

$$P = \sum \alpha_i P_i, \quad (20)$$

де P_i – частка порожнього простору, що приходить на i -й КК. Якщо конгруентні частинки всіх сортів порошку є дійсно ідеально сферичними, то для їх щільної упаковки $P_i=0,26$ і пористість складає 26%. Відмітимо, що реальна пористість КП на багато менша за рахунок деформації частинок при термомеханічному впливі під час формування КП і синтезі КМ. На мові МКК це може бути враховано зміною вкладів f_i в пористість від КК різного складу.

Наведений підхід залишається прийнятним до тих пір, поки розміри порожнин упаковки багато менші середнього розміру самих частинок. Якщо ця умова порушується, то аналогічно до розгляду точкових дефектів у регулярній кристалічній ґратці твердого тіла порожнини повинні розглядатися як окремий компонент моделі, з їх вмістом в КП (КМ).

Таким чином, модель МКК, описуючи зміни властивостей КП від відносної частки компонентів, дозволяє інтерпретувати залежність пористість–властивість, коли пористість матеріалу визначається за виразом (20).

Розглянутий підхід до моделювання залежності експлуатаційних властивостей КП (КМ) від їх складу базується на уявленні КП (КМ) як набору КК з постійними внесками у ту чи іншу експлуатаційну властивість деталей систем і агрегатів автомобіля. Разом з тим при зовнішньому впливі в структурі КП (КМ) можуть відбуватись зміни, які істотно впливатимуть на властивості КК. Врахувати ці зміни найпростіше можливо рекомендувати наступним чином. Властивість кожного КК залишається сталою, а зміна властивостей композиту відбувається загалом за рахунок

зміни ваги КК. У більшості випадків поруч зі зміною ваги КК також змінюються їхня внутрішня структура і властивості.

Якщо початково КП (КМ) можна охарактеризувати n типами КК, то в результаті зовнішнього впливу при формуванні КП (КМ) кожний з них може дати різну вагу внесків у експлуатаційну властивість f . Модель цієї експлуатаційної властивості набуває вигляду:

$$f = \sum_{i=1}^n \alpha_{io} f_{io} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} f_{ij}, \quad (21)$$

де перша сума відповідає властивостям вихідних КК, а друга – усіх КК зі зміненими властивостями.

Якщо зовнішній вплив полягає у прикладенні навантаження P , то для частки кожного КК з новою властивістю f_{ij} справедливе співвідношення:

$$\alpha_{ij} = d_{ij} (1 - \exp(-\beta_{ij} \alpha)), \quad (22)$$

де α – параметр, що характеризує інтенсивність зовнішнього впливу, β_{ij} – параметр, що характеризує ступінь жорсткості i -го КК по відношенню до нового типу ij . Фактичний перехід у новий стан кожного КК є активізаційним процесом, а величину $\beta_{ij} \alpha$ можливо вважати енергією активації цього переходу. Величина d_{ij} є параметр розподілу нових КК при нескінченно великому впливі ($\alpha \rightarrow \infty$, $\alpha_{ij} \rightarrow d_{ij}$). У процесах контактного наварювання КП роль параметру α природно можливо приписати тиску P як технологічному параметру.

Висновки.

1. Запропоновано композиційні покриття та композиційні матеріали розглядати як системи, що характеризуються визначеним комплексом експлуатаційних властивостей у залежності від вмісту наповнювача та регулярності структури.

2. Згідно з теорією кластерних компонентів вміст i -го компоненту C_i визначає параметри та властивості композиційних покриттів та матеріалів. Метод кластерних компонентів дає можливість комплекс експлуатаційних властивостей представити як адитивну модель його складових. Упакування компонентів в композиційних покриттях і матеріалах уявляється атомними кристалічними структурами: простою кубічною, об'ємно-центрованою кубічною, гранецентрованою кубічною та гексагональною щільно упакованою.

3. Розглянуто реалізацію методу кластерних компонентів на прикладі бінарної системи компонентів А і В. Вибрано базисну конфігурацію у відповідності до наближень статистичної теорії впорядкування. Дано наочну інтерпретацію та фізичний зміст суміші порошків, складових композиційних покриттів і матеріалів, частинок А і В. Розглянуто конфігураційну ентропію та утворення кластерних компонентів проміжного складу АВ поряд з базовими АА і ВВ. Виходячи з π -теореми, окреслено повний набір квазіхімічних реакцій.

4. Для бінарних композиційних покриттів і матеріалів $A_c B_{1-c}$ побудовано матриці розміру і відносного вмісту компонентів, використано квазіхімічний формалізм методу кластерних компонентів та закон діючих мас для об'ємно-центрованої кубічної ґратки. Це враховано при побудові функціональних моделей експлуатаційних властивостей. Проведено їх уточнення за критерієм коректності.

Список літератури

1. Аулін В.В. Зносостійкість гетерогенних композиційних матеріалів та покриттів в умовах абразивного зношування. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2006. Вип.39. С.38-43.

2. Аулін В.В. Абразивна зносостійкість лазерно-модифікованих композиційних покриттів. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КДТУ*. 2003. Вип. 12. С.219-223.
3. Аулін В.В., Бобрицький В.М., Батехін В.Б. Використання концентрованих потоків енергії при формуванні локальних зміцнених зон та композиційних покриттів на деталях машин. *Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XII междунар. научн.-техн. конф. в г. Севастополе 12-17 сентября 2005*. В 5 томах. Донецьк: ДонНТУ. 2005. Том 1. С. 30-33.
4. Аулін В.В., Бобрицький В.М., Златопольський Ф.Й. Вплив на зносостійкість композиційних матеріалів процесів, що протікають на межі їх складових. *Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 4-й международной научн.-техн. конф., 24-26 мая 2005, г. Ялта*. К.: АТМ України, 2005. С.289-291.
5. Аулін В.В. Створення композиційних дисперсно-зміцнених покриттів на деталях СГТ з використанням лазерного випромінювання. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2003. Вип. 33. С.310-316.
6. Черновол М.И., Аулин В.В., Соловых Е.К. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники композиционными материалами с применением лазерного излучения. *Сварка. Контроль. Реновация – 2003. Труды третьей международной научн.-техн. конф. (г. Уфа, 27-31 октября 2003 г.)*. Уфа: Гилем, 2003. С.308 – 313.
7. Черновол М.И., Аулин В.В. Упрочнение деталей машин композиционными покрытиями. *AFES2005 Proceeding. The sixth international scientific forum aims for future of engineering science. – march 23-30*. 2005. Hong-Kong. P. 86-91.
8. Аулін В.В., Бобрицький В.М., Златопольський Ф.Й. Вплив на зносостійкість композиційних матеріалів процесів, що протікають на межі їх складових. *Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 4-й международной научн.-техн. конф., 24-26 мая 2005, г. Ялта*. К.: АТМ України, 2005. С.289-291.
9. Аулін В.В. Вплив характеристик компонентів контактуючих композиційних матеріалів і покриттів на параметри та властивості зони тертя. *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. Хмельницький: ХНУ. 2006. №4 (42). С. 110-112.
10. Аулін В.В. Триботехнічні властивості деяких композиційних покриттів. *Вісник ХДТУСГ. Підвищення надійності відновлених деталей машин*. Вип. 14. Харків, 2003. С.170-174.
11. Канович М.З., Трофимов Н.Н. Сопротивление композиционных материалов: монография. М.:Мир, 2003. 504 с.
12. Савуляк В.І. Наукові засади формування на сплавах заліза композиційних металокарбідних шарів зі стабільними структурами та підвищеними триботехнічними характеристиками: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.02.01. НАН України. Ін-т проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича. К., 2004. 39 с.
13. Аулін В.В., Солових Є.К., Бобрицький В.М., Жулай О.Ю. Моделювання процесів формування структурозалежних властивостей при проектуванні композиційних матеріалів і покриттів. *Сб. трудов XIII Международной научн.-техн. конф. 11-16 сентября 2006 г. в Севастополе*. В 5 томах.. Донецьк: ДонНТУ, 2006. Том 5. С. 231-239.
14. Аулін В.В., Бісюк В.А. Програмно-технічні засоби автоматизованої системи керування технологічним процесом зміцнення деталей композиційними матеріалами. *Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІРТК 2010). Третя міжнародна наук.-практ. конф. 24-26 травня 2010 року, Київ, Україна*. К.: НАУ, 2010. С.143-145.
15. Пат. 47581 Україна, МПК(2009) H05B 6/06. Спосіб автоматизації керування температурою наплавлення композиційного покриття / Аулін В.В., Черновол М.І., Бісюк В.А. та ін.; заявник і патентоотримувач КНТУ. №u200909294; заявл. 10.09.2009; опубл. 10.02.2010; Бюл.№ 3.
16. Пат. № 8907 Україна, МПК 7G01G11/00 (2005). Спосіб багатокomпонентного дозування сипкого матеріалу / Аулін В.В., Бісюк В.А., Віхрова Л.Г., Бобрицький В.М.; заявник і патентоотримувач КНТУ. №u200502779; заявл.28.03.05;опубл.15.08.2005; Бюл.№8.
17. Черновол М.И., Аулин В.В., Бісюк В.А. Залежність якості від керованих параметрів індукційного наплавлення зміцнюючих композиційних покриттів. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2012). Тези п'ятої міжнар. наук.-практ. конф. 15-16 травня 2012 року, Київ, Україна*. К.: НАУ, 2012. С. 216-218.
18. Аулін В.В. Визначення об'ємного вмісту наповнювача в антифрикційному композиційному покритті. *Машинознавство*, 2004. №7 (85). С. 49-53.
19. Аулін В.В. Деякі питання фізики створення та математичного моделювання властивостей композиційних покриттів триботехнічного призначення. *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. Хмельницький: ХНУ. 2006. №2. С. 88-100.

20. Аулін В.В., Зіновик М.А., Дубовик В.О. Фізико-хімічні основи створення композиційних матеріалів триботехнічного призначення із структурою шпінелі. *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. 2007. №2 (44). С.63-66.
21. Аулін Віктор Васильович. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки. Дисертація д-ра техн. наук: 05.02.04, Хмельниц. нац. ун-т. Хмельницький, 2015. 447 с.
22. Василенко І.Ф. Дослідження властивостей композиційних покриттів, нанесених контактним наварюванням порошкових дротів. *Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. пр. Кіровогр. нац. техн. ун-ту*. 2014. Вип. 27. С. 60-67.
23. Василенко І.Ф. Вибір матеріалів порошкових дротів для нанесення композиційних покриттів. *Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2015. Вип. 28. С. 154-159.
24. Аулін В.В., Бобрицький В.М. Комп'ютерне моделювання полів температур та напружень в композиційних матеріалах та покриттях при їх формуванні, терті та зношуванні. *Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування., автоматизація: зб. наук. пр. Кіровогр. нац. техн. ун-ту*. 2014. Вип. 27. С.235-245.
25. Аулін В.В. Поле напружень в композиційному матеріалі та композиційному покритті в умовах тертя ковзання. *Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки*. Луганськ: ЛНАУ. 2006. №.65(88). С.13-20.
26. Аулін В.В. Стан питання теорії зносу композиційних матеріалів і покриттів. *Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Техн. сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосп. машинобуд.* 2005. Вип. 40. С.82-87.
27. Черновол М.І., Аулін В.В. Фізичні основи створення композиційних матеріалів і покриттів триботехнічного призначення. *Вісник інженерної академії України*. №2-3. 2006. С. 80-87.
28. Сороков С. Кластерний підхід до розрахунку фізичних характеристик композитних матеріалів. Львів: Ін-т фізики конденс. систем НАНУ, 2003. 23 с.

References

1. Aulin, V.V. (2006). Znosostiikist heterohennykh kompozytsiinykh materialiv ta pokryttiv v umovakh abrazyvnoho znoshuvannya. [Wear resistance of heterogeneous composite materials and coatings under conditions of abrasive wear]. *Praci Tavrijskoyi derzhavnoyi agrotehničnoyi akademiyi – Works of the Tavriya State Agrotechnical Academy*, 39, 38-43 [in Ukrainian].
2. Aulin, V.V. (2003). Abrazyvna znosostiikist lazerno-modyfikovanykh kompozytsiinykh pokryt [Abrasive wear resistance of laser-modified composite coatings]. *Zbirnyk naukovykh prats KDTU. Tehnika v silskogospodarskomu virobničtvi, galuzeve mashinobuduvannya, avtomatizaciya – Collection of scientific works of KSTU. Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation*, 12, 219-223 [in Ukrainian].
3. Aulin, V.V., Bobrickij, V.M., & Batyehin, V.B. (2005). Viktorystannya koncentrovanih potokiv energiyi pri formuvanni lokalnih zmichenih zon ta kompozicijnih pokryttiv na detalyah mashin [The use of concentrated energy flows in the formation of local reinforced zones and composite coatings on machine parts]. *Mashinostroenie i tehnosfera XXI veka. Sb. trudov XII mezhdunar. nauchn.-tehn. konf. v g. Sevastopole 12-17 sentyabrya 2005 – Mechanical engineering and technosphere of the XXI century. Sat. Proceedings of the XII International. scientific and technical conf. in Sevastopol, September 12-17, 2005*, 1, 30-31. Donetsk: DonSTU [in Ukrainian].
4. Aulin, V.V., Bobrickij, V.M., & Zlatopolskij, F.J. (2005). Vpliv na znosostijkist kompozicijnih materialiv procesiv, shcho protikayut na mezhi yih skladovih [Influence on wear resistance of composite materials of the processes proceeding on the border of their components]. *Inzheneriya poverhnosti i renovaciya izdelij. Materialy 4-j mezhdunarodnoj nauchn.-tehn. konf., 24-26 maya 2005, g. Yalta – Surface engineering and product renovation. Materials of the 4th international scientific and technical. Conf., May 24-26, 2005, Yalta (pp. 289-291)*. K.: ATM of Ukraine [in Ukrainian].
5. Aulin, V.V. (2003). Stvorennia kompozytsiinykh dyspersno-zmitsnennykh pokryttiv na detaliakh SHT z vykorystanniam lazernoho vyprominiuvannya [Creation of composite disperse-strengthened coatings on details of agricultural machinery using laser radiation] *Konstruyuvannya, virobničtvo ta ekspluataciya silskogospodarskih mashin – Design, manufacture and operation of agricultural machinery*, 33, 310-316 [in Ukrainian].
6. Chernovol, M.I., Aulin, V.V., & Solovyh, E.K. (2003). Vosstanovlenie detalej sel'skochozyajstvennoj tehniki kompozicionnymi materialami s primeneniem lazernogo izlucheniya [Restoration of parts of agricultural machinery with composite materials using laser radiation]. *Svarka. Kontrol. Renovaciya – 2003. Trudy tretej mezhdunarodnoj nauchn.-tehn. konf. (g. Ufa, 27-31 oktyabrya 2003 g.) – Welding. Control. Renovation - 2003. Proceedings of the third international scientific and technical. conf. (Ufa, October 27-31, 2003)* 308-313 [in Russian].

7. Chernovol, M.I., & Aulin, V.V. (2005) Uprochnenie detalej mashin kompozicionnymi pokrytiami [Reinforcement of machine parts with composite coatings]. *AFES2005 Proceeding. The sixth international scientific forum aims for future of engineering science. – march 23-30. 2005*, 86-91 Hong-Kong [in Russian].
8. Aulin, V.V., Bobrickij, V.M., & Zlatopolskij, F.J. (2005). Vpliv na znosostijkist kompozicijnih materialiv procesiv, sheho protikayut na mezhi yih skladovih [Influence on wear resistance of composite materials of the processes proceeding on the border of their components]. *Inzheneriya poverhnosti i renovaciya izdelij. Materialy 4-j mezhdunarodnoj nauchn.-tehn. konf., 24-26 maya 2005, g. Yalta – . Surface engineering and product renovation. Materials of the 4th international scientific and technical. Conf., May 24-26, 2005, Yalta (pp. 289-291)*. K.: ATM of Ukraine [in Ukrainian].
9. Aulin, V.V. (2006). Vplyv kharakterystyk komponentiv kontaktuiuchykh kompozytsiinykh materialiv i pokryttiv na parametry ta vlastyvoli zony tertia [Influence of characteristics of components of contacting composite materials and coatings on parameters and properties of friction zone]. *Problemi tribologiyi (Problems of tribology)*, 4 (42), 110-112 [in Ukrainian].
10. Aulin, V.V. (2003). Trybotekhnichni vlastyvoli deiakykh kompozytsiinykh pokryttiv [Tribotechnical properties of some composite coatings]. *Visnyk HDGUSG. Pidvishennya nadijnosti vidnovlenih detalej mashin – Bulletin of HSTUAC. Improving the reliability of restored machine parts*, 14, 170-174 [in Ukrainian].
11. Kanovich, M.Z., & Trofimov, N.N.(2003). Soprotivlenie kompozicionnyh materialov: monografiya [Resistance of Composite Materials: Monograph]. M.: Mir [in Russian]
12. Savulyak, V.I. (2004). Naukovi zasady formuvannya na splavakh zaliza kompozytsiinykh metalokarbidnykh shariv zi stabilnymy strukturamy ta pidvyshchenymy trybotekhnichnymy kharakterystykamy [Scientific bases of formation on iron alloys of composite metal-carbide layers with stable structures and the raised tribotechnical characteristics]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. K. [in Ukrainian].
13. Aulin, V.V., Solovih, Ye.K., Bobrickij, V.M., & Zhulaj, O.Yu. (2006). Modelyuvannya procesiv formuvannya strukturozaleznyh vlastivostej pri proektuvanni kompozicijnih materialiv i pokryttiv [Modeling of processes of formation of structure-dependent properties at designing of composite materials and coverings]. *Sbornik trudov XIII Mezhdunarodnoj nauchn.-tehn. konf. 11-16 sentyabrya 2006 g. v Sevastopole – Collection of works of the XIII International scientific and technical conf. September 11-16, 2006 in Sevastopol, Vol. 5, 231-239*. Donetsk: DonSTU [in Ukrainian].
14. Aulin, V.V., & Bisyuk, V.A. (2010). Prohramno-tekhnichni zasoby avtomatyzovanoi systemy keruvannya tekhnolohichnym protsesom zmitsnennia detalei kompozytsiinykh materialamy [Software and hardware of the automated control system of technological process of strengthening of details by composite materials]. *Integrovani intelektualni roboto-tehnichni komplekxy (IIRTK 2010). Tretya mizhnarodna nauk.-prakt. konf. 24-26 travnya 2010 roku, Kiyiv, Ukrayina – Integrated intelligent robotic systems (IIPTK 2010). The third international scientific-practical. conf. May 24-26, 2010, Kyiv, Ukraine, 143-145* [in Ukrainian].
15. Aulin, V.V., Chernovol, M.I., & Bisyuk, V.A. et al. (2010). Pat. 47581 Ukrayina. Sposib avtomatizaciyi keruvannya temperaturoyu naplavlennya kompozicijnogo pokryttia [Patent 47581 Ukraine, Method of automation of temperature control of surfacing of composite coating]. №u200909294; 10.02.2010; Statement №3 [in Ukrainian].
16. Aulin, V.V., Bisyuk, V.A., Vihrova, L.G., & Bobrickij, V.M. (2005). Pat. № 8907 Ukrayina. Sposib bagatokomponentnogo dozuvannya sipkogo materialu [Patent № 8907 Ukraine. Method of multicomponent dosing of bulk material] №u200502779; 15.08.2005; Statement №8 [in Ukrainian].
17. Chernovol, M.I., Aulin, V.V., & Bisyuk, V.A. (2012). Zalezhnist yakosti vid kerovanykh parametriv indukcyjnego naplavlennya zmichnyuyuchikh kompozicijnykh pokryttiv [Dependence of quality on controlled parameters of induction surfacing of reinforcing composite coating]. *Integrovani intelektualni robototekhnichni kompleksi (IIRTK-2012). Tezi p'yatoyi mizhnar. nauk.-prakt. konf. 15-16 travnya 2012 roku, Kiyiv, Ukrayina – Integrated intelligent robotic complexes (IIPTK-2012). Abstracts of the Fifth International. scientific-practical conf. May 15-16, 2012, Kyiv, Ukraine, 216-218* [in Ukrainian].
18. Aulin, V.V. (2004). Vyznachennya ob'yemnogo vmistu napovnyuvacha v antyfrkykcijnomu kompozycijnomu pokrytti [Determination of the bulk content of the filler in the antifriction composite coating]. *Mashinoznavstvo – Mechanical Engineering*, 7 (85), 49-53 [in Ukrainian].
19. Aulin, V.V. (2006). Deyaki pitannya fizyky stvorennya ta matematychnogo modelyuvannya vlastivostej kompozycijnykh pokryttiv trybotekhnichnogo pryznachennya [Some questions of physics of creation and mathematical modeling of properties of composite coverings of tribotechnical appointment]. *Problemi tribologiyi (Problems of tribology) – Problems of tribology*, 4 (42), 88-100 [in Ukrainian].
20. Aulin, V.V., Zynovyk, M.A., & Dubovyk, V.O. (2007). Fyzyko-himichni osnovy stvorennya kompozycijnykh materialiv trybotekhnichnogo pryznachennya iz strukturoyu shpineli [Physico-chemical

- bases of creation of composite materials of tribotechnical appointment with structure of spinel]. *Problemi tribologiyi (Problems of tribology) – Problems of tribology*, 2 (44), 63-66 [in Ukrainian].
21. Aulin, V.V. (2015). Trybofizichni osnovy pidvyshchennya znosostijkosti detalej ta robochukh organiv silskogospodarskoyi tekhniki [Tribophysical bases of increase of wear resistance of details and working bodies of agricultural machinery]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Hmelnickij. [in Ukrainian].
 22. Vasylenko, I.F. (2014). Doslidzhennya vlastyvostei kompozytsiinykh pokryttiv, naneseniyh kontaktnym navariuvanniam poroshkovykh drotiv [Investigation of the properties of composite coatings applied by contact welding of cored wires]. *Zbirnyk naukovykh prats KNTU. Tekhnika v s/h vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Collection of scientific works of KSTU. Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation*, 27, 60-67 [in Ukrainian].
 23. Vasylenko, I.F. (2015). Vybir materialiv poroshkovykh drotiv dlia nanesennia kompozytsiinykh pokryttiv [Selection of cored wire materials for composite coatings]. *Zbirnyk naukovykh prats KNTU. Tekhnika v s/h vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Collection of scientific works of KNTU. Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation*, 28, 154-159 [in Ukrainian].
 24. Aulin, V.V., & Bobrytskyi, V.M. (2014). Kompiuterne modeliuвання poliv temperatur ta napruzhen v kompozytsiinykh materialakh ta pokryttiakh pry yikh formuvanni, terti ta znoshuvanni [Computer modeling of temperature and stress fields in composite materials and coatings during their formation, friction and wear]. *Zbirnyk naukovykh prats KNTU. Tekhnika v s/h vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Collection of scientific works of KNTU. Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation*, 27, 235-245 [in Ukrainian].
 25. Aulin, V.V. (2006). Pole napruzhen v kompozytsiinomu materiali ta kompozytsiinomu pokrytti v umovakh tertia kovzannia [Stress field in composite material and composite coating under sliding friction conditions]. *Zb. nauk. prats LNAU – Collection of scientific works of LSAU*, 65(88), 13-20 [in Ukrainian].
 26. Aulin, V.V. (2005) Stan pytannia teorii znosu kompozytsiinykh materialiv i pokryttiv [The state of the theory of wear of composite materials and coatings]. *Visnyk KhNTUSH im. Petra Vasylenka, Tekhnichniy servis APK, tekhnika ta tekhnolohii u silskohospodarskomu mashynobuduvanni – Bulletin of KhSTUAC. Technical service of agro-industrial complex, technics and technologies in agricultural mechanical engineering*, 40, 82-87 [in Ukrainian].
 27. Chernovol, M.I., & Aulin, V.V. (2006) Fizychni osnovy stvorennia kompozytsiinykh materialiv i pokryttiv trybotekhnichnoho pryznachennia. Фізичні основи створення композиційних матеріалів і покриттів триботехнічного призначення [Physical bases of creation of composite materials and coverings of tribotechnical appointment]. *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy – Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, 2-3, 80-87 [in Ukrainian].
 28. Sorokov, S. (2003). *Klasternyi pidkhid do rozrakhunku fizychnykh kharakterystyk kompozytnykh materialiv [Cluster approach to the calculation of physical characteristics of composite materials]*. Lviv: Institute of Condensed Matter Physics of SASU [in Ukrainian].

Viktor Aulin, Prof., DSc., **Ivan Vasylenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mykhailo Krasota**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Theoretical Substantiation of the Operational Properties of Automobile Parts Reinforced with Composite Coatings by the Method of Cluster Components

A number of parts of car systems and units in the process of operation are subject to intensive wear and fatigue processes, and therefore do not withstand the planned service life. An important reserve for increasing the reliability and efficiency of such equipment is the strengthening of the working surfaces of its parts with composite materials and coatings. This method of strengthening makes it possible, controlling the structure of composite materials and coatings, to form the necessary set of performance properties of parts to ensure the appropriate level of reliability and increase durability. However, this requires theoretical justification to establish a correspondence between the structure, composition, distribution of chemical elements applied to the parts of the composite coating and their performance properties, such as wear resistance, fatigue strength, etc.

The purpose of this work is a theoretical justification for the use of the method of cluster components to determine and form a set of necessary performance properties that ensure reliable and efficient operation of parts of systems and units of cars.

The article theoretically substantiates the operational properties of automobile parts hardened with composite coatings using the method of cluster components. By choosing certain sets of parameters, as well as varying the system of restrictions on them, it is possible to form a complex of operational properties of parts. To simplify the packing model for composite materials and coatings, it is assumed that fillers of different compositions have an isometric shape and the same size. A regular structure is proposed, corresponding to the packing of spheres of the same size. It is shown that such packings form lattices similar to atomic crystal structures. The dependences of the function of the properties of composite coatings on the content of each of the types of cluster components are revealed. The method of cluster components, describing changes in the

properties of composite coatings from the ratio of components, makes it possible to control a set of operational properties and obtain high-quality coatings to increase the durability of parts of systems and vehicle units.

As a result of the conducted researches it is offered to consider composite coverings and composite materials as the systems characterized by a certain complex of operational properties depending on filler content and regularity of structure. According to the theory of cluster components, the content of the component determines the parameters and properties of composite coatings and materials. The method of cluster components makes it possible to present a set of operational properties as an additive model of its components. The packaging of components in composite coatings and materials is represented by atomic crystal structures: simple cubic, volume-centered cubic, face-centered cubic and hexagonal densely packed.

The implementation of the method of cluster components on the example of a binary system of components A and B is considered. The basic configuration in accordance with the approximations of the statistical ordering theory is chosen. The visual interpretation and physical content of a mixture of powders, components of composite coatings and materials, particles A and B are given. The configurational entropy and formation of cluster components of the intermediate composition AB along with the basic AA and BB are considered. Based on the π -theorem, a complete set of quasi-chemical reactions is outlined. For binary composite coatings and materials ACB1-C the matrices of size and relative content of components are constructed, the quasi-chemical formalism of the method of cluster components and the law of active masses for volume-centered cubic lattice are used. This is taken into account when building functional models of operational properties. Their specification on the criterion of correctness is carried out.

composite coating, cluster component, packing, performance properties

Одержано (Received) 16.06.2020

Прорецензовано (Reviewed) 23.06.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.74

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).65-72](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).65-72)

В.М. Ломакін, доц., канд. техн. наук, **Л.А. Молокост**, викл.

Центральнoукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: vik284333@gmail.com

Ударостійкий чавун для молольних тіл

Проведено дослідження динамічної міцності (ударостійкості) молольних тіл, відлитих з низькохромистого чавуну в багатомісному кокіль, в залежності від вмісту хрому в сплаві. Встановлено підвищення ударостійкості виливків куль при збільшенні масової частки хрому в чавуні в межах до 1%. При цьому найбільше зростання динамічної міцності спостерігається при збільшенні масової частки хрому від 0,3% до 0,5%. При подальшому зростанні вмісту хрому ударостійкість білого низьколегованого чавуну підвищується менш помітно і при вмісту хрому 0,7-0,8% досягає максимуму.

чавун, розплав, куля, кокіль, легування, хром, ударостійкість

В.Н. Ломакин, доц., канд. техн. наук, **Л.А. Молокост**, викл.

Центральнoукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Украина

Ударостойкий чугу́н для мелющих тел

Проведено исследование динамической прочности (ударостойкости) мелющих тел, отлитых из низкохромистого чугуна в многоместном кокиле, в зависимости от содержания хрома в сплаве. Установлено повышение ударостойкости отливок шаров при увеличении массовой доли хрома в чугуне в пределах до 1%. При этом наибольший рост динамической прочности наблюдается при увеличении массовой доли хрома от 0,3% до 0,5%. При дальнейшем росте содержания хрома ударостойкость белого низколегированного чугуна повышается менее заметно, и при наличии хрома 0,7-0,8% достигает максимума.

чугун, расплав, шар, кокиль, легирование, хром, ударостойкость

Постановка проблеми. Проблема забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей молольних тіл, таких як твердість, абразивна зносостійкість і динамічна міцність досі не вирішена. Вся складність такого завдання полягає в тому, що такі властивості залежать від великої кількості факторів, серед яких: хімічний склад, металографічна структура, мікротвердість складових структури, кількість і розподіл карбідів ледебуриту. Тому при вирішенні завдання отримання необхідних властивостей молольних тіл слід враховувати всю різноманітність чинників, що докорінно впливають на технологію виготовлення таких виробів [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відносно механічного стирання є підстави вважати, що між умовами роботи молольних тіл різних діаметрів суттєвої різниці немає. Знос матеріалу молольного тіла визначається тертям з різанням його поверхні, а також ступенем абразивності матеріалу, що розмелюється. Довговічність кулі залежить не тільки від опору стиранню і ударостійкості, але і лімітується також границею втоми матеріалу [2, 3].

Опір вилівка стиранню зазвичай може бути підвищений наявністю в металевій матриці металу карбідів цементитного (Me_3C) або інших типів (Me_7C_3 , $Me_{23}C_6$). З цією метою в практиці виробництва таких виробів застосовується легування чавуну карбідоутворюючими елементами, зокрема марганцем або хромом. Марганець в умовах сьогодення є більш дешевим. Проте хром здатен ефективніше покращити зносостійкість завдяки утворенню в металі карбідів $(Fe,Cr)_3C$ і $(Fe,Cr)_7C_3$. Саме тому в якості матеріалу для молольних куль все частіше пропонується низькохромистий чавун [4, 5, 6, 7].

Абразивна зносостійкість молольних тіл може бути визначена в звичайному лабораторному млину, оскільки фізична природа явища при переході з великого на малий масштаб принципово не змінюється. Оцінка динамічної міцності (ударостійкості) молольних тіл при зношуванні в лабораторному млину не може бути визначена. При такому дослідженні не можуть бути відтворені умови, пов'язані з ударною втомою матеріалу.

Молольні тіла зі звичайних білих чавунів не відповідають вимогам по ударостійкості. Підвищення цієї важливої експлуатаційної властивості досягається легуванням чавунів і проведенням термообробки литих виробів. У роботах [8, 9] вказується, що при комплексному легуванні чавуну можна підвищити динамічну міцність молольних тіл і без проведення термічної обробки.

Останніми дослідженнями [9] показано, що кремній здатен підвищити динамічну міцність (ударостійкість і втомну міцність) куль, зменшити схильність чавуну до усадки і розмір зерна. Такі дані були отримані при дослідженні експлуатаційних властивостей куль з легованого марганцем чавуну. Проте ця рекомендація знаходиться в певному протиріччі з загальновизнаними вимогами до зносостійких матеріалів для молольних тіл. За літературними даними кремній знижує абразивну зносостійкість чавунних виливків, і в зв'язку з цим рекомендується обмежувати вміст такого елемента в металі до 1%. Крім того, в роботі [10] вказується, - щоб уникнути крихкості куль, особливо великих розмірів, потрібно мати зовнішній вибілений шар товщиною до 20-25 мм, а внутрішню частину необхідно зберегти з сірого чавуну, тобто кращим є вибілений чавун.

В даній роботі усі вищеперераховані положення були перевірені по відношенню до експлуатаційних характеристик молольних тіл сферичної форми, відлитих із низькохромистого чавуну.

Поставка завдання. Задача дослідження полягала у визначенні раціонального, економічно обґрунтованого, хімічного складу хромистого чавуну для молольних куль для забезпечення високої ударостійкості таких виробів.

Виклад основного матеріалу. В якості вихідного служив чавун наступного складу: вуглець – 3,0%, кремній – 1,6%, марганець – 0,4%, сірка – 0,05%, фосфор – 0,06%.

Для дослідження були відлиті кілька партій куль діаметром 60 мм з різним вмістом хрому в чавуні, від 0 до 1%. Чавун виплавляли в індукційній печі середньої частоти, типу ІЧТ, з основною футеровкою на чистому чушковому чавуні і сталевому низьковуглецевому брукті. Температура випуску чавуну становила 1500 °С. Рідкий чавун піддавали легуванню середньовуглецевим ферохромом. Кулі відливали в багатомісних кокілях.

Збільшення вмісту хрому в чавуні в межах до 1% призводить до зростання об'ємної твердості і абразивної зносостійкості. Але, з точки зору динамічної міцності (ударостійкості) молольних тіл в цьому питанні немає ясності.

Дослідження динамічної міцності, як відомо, проводиться шляхом випробування куль на ударостійкість, тобто здатність куль не руйнуватися при ударно-напруженому стані при навантаженні, близькому до руйнівного.

Іншим різновидом дослідження динамічної міцності є випробування молольних тіл на міцність від втоми при ударному навантаженні. Метою такого дослідження є визначення порівняльної довговічності кулі при ударній роботі в млину.

Проведення випробувань куль на динамічну міцність викликало труднощі, оскільки для досліджуваних сплавів невідома величина граничних, близьких до руйнуючих, динамічних зусиль. Крім того, ударостійкість молольних тіл не регламентується держстандартом, і на різних ливарних підприємствах, що виробляють литі молольні вироби, для визначення втомної стійкості і ударостійкості куль застосовуються різні пристосування. При цьому використовується різна частота і величина динамічних зусиль.

В даній роботі динамічну міцність молольних тіл досліджували на спеціальному механізованому копрі (рис. 1).

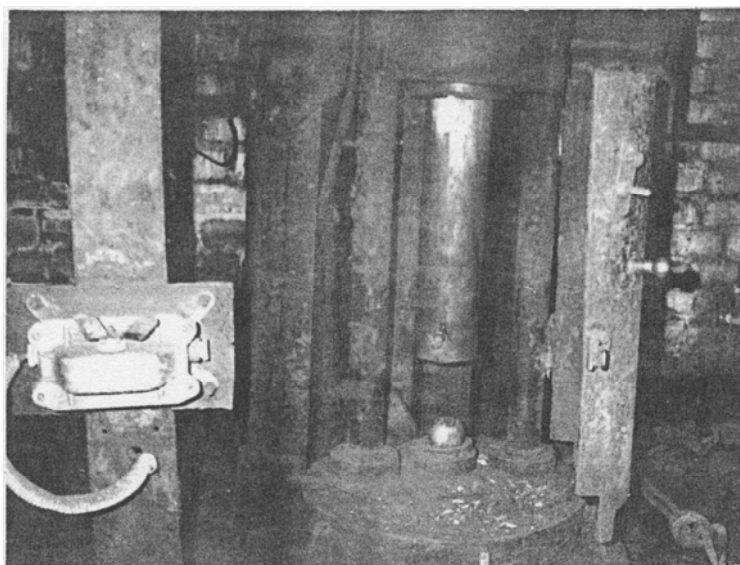


Рисунок 1 – Механізований копер

Джерело: розроблено авторами

При випробуваннях на ударостійкість молольна куля отримувала удар бойка масою 50 кг, що падав з висоти 0,5 м. Частота прикладання динамічних навантажень становила 10 ударів за хвилину. Ударостійкість визначали по середній кількості ударів, витриманих молольним тілом до руйнування.

Металографічні дослідження структури отриманих виливків проводили з використанням мікроскопа. Вивчення кількості і форми виділень графіту проводилося на нетравлених шліфах. При цьому встановлено, що при вмісту хрому більше 0,3% виділення структурно вільного графіту відсутні по всьому перетину виливка (рис. 2).



Рисунок 2 – Мікроструктура білого чавуну (0,7-0,8% Сг)×500

Джерело: розроблено авторами

Вивчення травлених шліфів показало, що мікроструктура усіх досліджених виливків являє собою мікроструктуру доевтектичного білого чавуну, що складається з продуктів розпаду надлишкового аустеніту і ледебуритної евтектики. У перетині виливка можна виділити три зони: поверхневу, перехідну і центральну. Поверхнева зона має мілкодисперсну перлитно-цементитну структуру. При збільшенні вмісту хрому дисперсність структури підвищується. При переході від поверхневої до центральній зоні виливка структура стає більш грубою, змінюється кількісне співвідношення між структурними складовими, збільшується частка ділянок розпаду надлишкового аустеніту. У центральній зоні спостерігається мікропористість, що пов'язано з особливостями кристалізації куль.

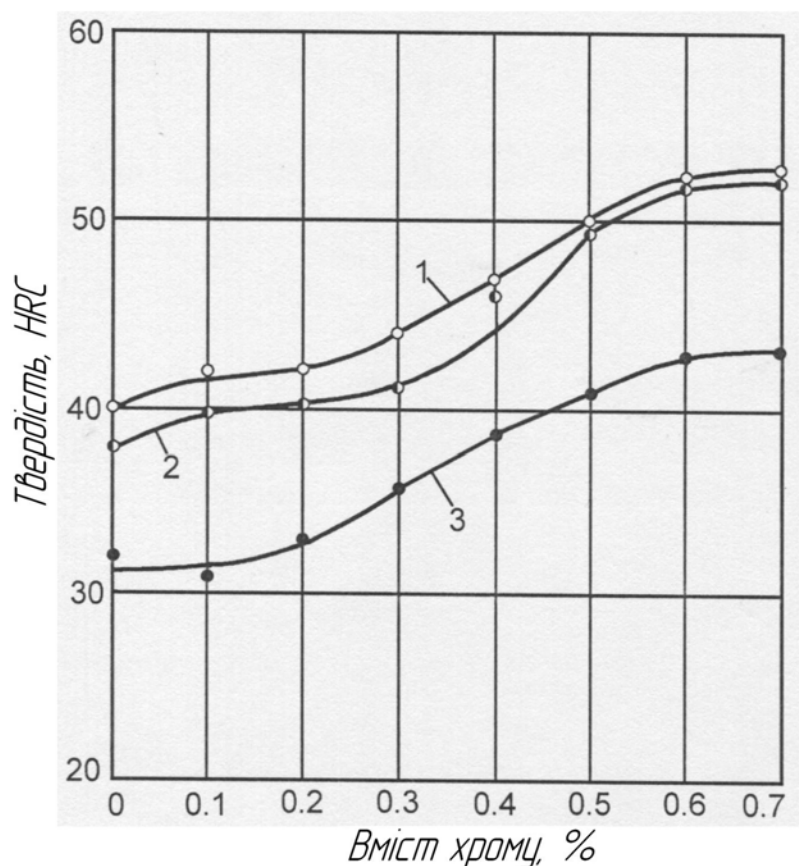
У табл. 1 приведені результати дослідження твердості чавуну у різних перетинах виливка.

Таблиця 1 – Властивості виливків молоткових куль Ø60 мм

Вміст хрому, %	Твердість HRC в різних перетинах виливка			Ударостійкість, уд
	поверхня	середній шар	центр	
Вихідний сплав	40	38	32	42
0,1	42	40	31	72
0,2	42	40	33	144
0,3	44	41	36	281
0,4	47	46	39	546
0,5	50	50	41	722
0,6	52	52	43	768
0,7	53	52	43	774

Джерело: розроблено авторами

За результатами проведеного дослідження побудовані залежності твердості чавуну від вмісту в ньому хрому для центральної, середньої (перехідної) і поверхневої частин сферичного виливка (рис. 3).



1 - поверхнева зона виливка; 2 - середня частина виливка (1/2 радіуса кулі);
3 - центральна частина виливка

Рисунок 3 – Зміна твердості по перетину кулі

Джерело: розроблено авторами

Згідно з рис. 3 твердість поверхневої зони виливка і прилеглої до неї основної маси металу з підвищенням вмісту хрому в чавуні зростає (криві 1 і 2). Максимальна твердість білого легованого чавуну досягається при вмісту хрому 0,7-0,8% (<2% Si). При цьому перепад твердості від поверхні (~ 52 HRC) до центру кулі (~ 42 HRC) становить величину, порядку 10 одиниць.

Як видно з рис. 4 ударостійкість виливків куль (динамічна міцність) підвищується зі збільшенням масової частки хрому в чавуні в межах до 1%. При цьому найбільше зростання динамічної міцності спостерігається при збільшенні масової частки хрому від 0,3% до 0,5%. При подальшому зростанні вмісту хрому, ударостійкість білого низьколегованого чавуну підвищується менш помітно, і при наявності хрому 0,7-0,8% досягає максимуму.

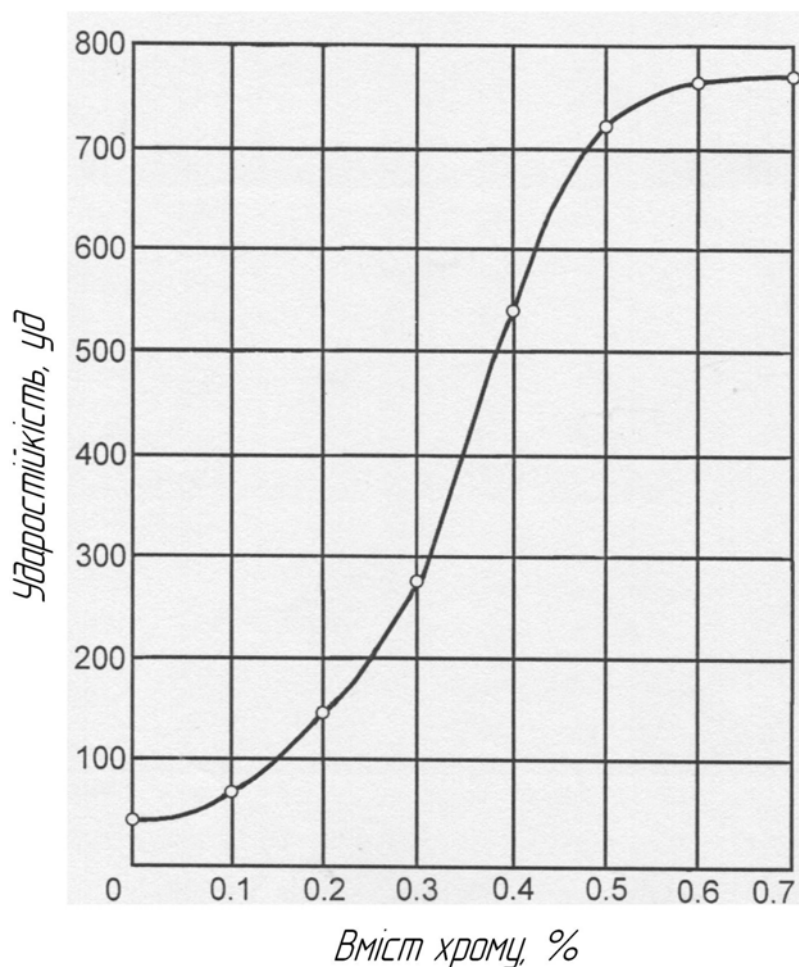


Рисунок 4 – Ударостійкість куль із низькохромистого чавуну

Джерело: розроблено авторами

Висновки. Встановлена залежність ударостійкості молоткових тіл і вже відомі з наукової літератури експериментальні дані по абразивній зносостійкості білого чавуну дозволили зробити висновок: при розмелюванні твердих гірничих порід, з великим вмістом твердого кварцу, застосування низькохромистого чавуну в якості матеріалу для молоткових тіл є найбільш ефективним, як в плані досягнення високої ударостійкості, так і для забезпечення економічності експлуатаційних характеристик.

Список літератури

1. Самойлов В. Н., Коновалов Ю. Н., Тистечок В. Д. Состояние и перспективы развития литья чугуновых мелющих тел в условиях КГ ГМК "Криворожсталь". *Металл и литье Украины*. 1999. Вып. 9, 10. С. 13-16.
2. Щербакова В. М., Удовиков В. И., Бутко Н. И., Соболев А. Н., Киковка Е. И. Износостойкий чугун для оливок мелющих цилиндров. *Литейное производство*. 1981. Вып. 4. С. 24.
3. Поддубный А. Н., Сакало В. И., Жарков В. Я., Кульбовский И. К., Игнатенко Ю. В., Михайлов Н. Н. Влияние строения литых шаров из белого чугуна на его прочность. *Литейное производство*. 1994. Вып. 8. С. 10-12.
4. Лучкин В. С., Пирогова Э. К., Леско А. Г. Влияние углерода и марганца на износостойкость хромистых чугунов. *Литейное производство*. 1988. Вып. 4. С. 23.
5. Кириевский Б. А., Изюмова Т. К. Хромистые чугуны. Перспективы совершенствования их структуры и свойств. *Процессы литья*. 1993. Вып. 4. С. 115-124.
6. Владимиров А. А., Косогонова Э. А., Удовиков В. И., Карпенко В. Ф. Литые мелющие шары из чугуна. *Литейное производство*. 1988. Вып. 11. С. 27-28.

7. Ломакін В. М., Клименко В. В., Пукалов В. В., Кузык О. В., Дубоделов В. І., Горюк М. С. Дослідження процесу затвердіння та прогнозування структури литих чавунних молоткових тіл *Збірник наукових праць Центральноукраїнського національного технічного університету*. 2018. Вип. 31. С.66-74.
8. Поддубный А. Н., Александров Н. Н., Кульбовский И. К., Жарков В. Я. Изготовление литых чугуновых мелющих шаров. *Литейное производство*. 1994. Вып. 8. С.8-10.
9. Поддубный А. Н. Мелющие шары из чугуна, изготовленные кокильным литьем. *Литейное производство*. 1998. Вып. 1. С.8-11.
10. Бестужев Н. И., Королев С. П. Графитизированный белый чугун – перспективный материал для мелющих тел. *Литейное производство*. 1999. Вып. 3. С. 20-21.

References

1. Samoilov, V.N., Konovalov, Yu.N., Tistechok, V.D. (1999). *Sostoyanie i perspektivy razvitiya litja chugunnyh melyushchih tel v usloviyah KG GMK "Krivorogstal"* [The state and development prospects of cast iron grinding bodies casting under the conditions of the Krivorozhstal mining and metallurgical complex]. *Metall i litje Ukrainy, Vol. 9, 10*, 13-16 [in Russian].
2. Shcherbakova, V.M., Udovikov, V.I., Butko, N.I., Sobolev, A.N., Kikovka, E.I. (1981). *Iznosostojkij chugun dlya otlivok melyushchih cilindrov* [Wear resistant cast iron for olives grinding cylinders]. *Litejnoe proizvodstvo, Vol. 4*, 24 [in Russian].
3. Poddubnyj, A.N., Sakalo, V.I., Zharkov, V.Ya., Kulybovskij, I.K., Ignatenko, Yu.V., Mikhailov, N.N. (1994) *Vliyanie stroeniya lityh sharov iz byelogo chuguna na yego prochnost'* [The influence of the structure of cast balls of white cast iron on its strength]. *Litejnoe proizvodstvo, Vol. 8*, 10-12 [in Russian].
4. Luchkin, V.S., Pirogova, E.K., Lesko, A.G. (1988). *Vliyanie uglyeroda i marganca na iznosostojkost' hromistyh chugunov* [The effect of carbon and manganese on the wear resistance of chromium cast irons]. *Litejnoe proizvodstvo, Vol. 4*, 23 [in Russian].
5. Kirievskij, B.A., Izyumova, T.K. (1993). *Hromistye chuguny. Perspektivy sovershenstvovaniya ih struktury i svoystv* [Chrome cast iron. Prospects for improving their structure and properties]. *Processy litja, Vol. 4*, 115-124 [in Russian].
6. Vladimirova, A.A., Kosogonova, E.A., Udovikov, V.I., Karpenko, V.F. (1988). *Litye melyushchie shary iz chuguna* [Cast iron grinding balls]. *Litejnoe proizvodstvo, Vol. 11*, 27-28 [in Russian].
7. Lomakin, V.M., Klymenko, V.V., Pukalov, V.V., Kuzyk, O.V., Dubodelov, V.I., Goryuk, M.S. (2018). *Doslidzennya procesu zatverdinnya ta prognozuvannya struktury lityh chavunnych molol'nyh til* [Investigation of the process of solidification and prediction of the structure of cast iron grinding bodies]. *Zbirnyk naukovykh prac' Central'noukraiins'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu*. 2018. Vol. 31. С.66-74 [in Ukraine].
8. Poddubnyj, A.N., Alexandrov, N.N., Kul'bovskij, I.K., Zharkov, V.Ya. (1994). *Izgotovlenie lityh chugunnyh melyushchih sharov* [Cast iron grinding balls]. *Litejnoe proizvodstvo, Vol. 8*, 8-10 [in Russian].
9. Poddubnyj, A.N. (1998). *Melyushchie shary iz chuguna, izgotovlennye kokil'nyim litjem* [Making cast iron grinding balls, made by chill casting]. *Litejnoe proizvodstvo, Vol. 1*, 8-11 [in Russian].
10. Bestuzhev, N.I., Korolev, S.P. (1999). *Grafitizirovannyj belyj chugun – perspektivnyj material dlya melyushchih tel* [Graphitized white cast iron - a promising material for grinding bodies]. *Litejnoe proizvodstvo, Vol. 3*, 20-21 [in Russian].

Viktor Lomakin, Assos. Prof., PhD tech. sci., **Lyudmyla Molokost**, lecturer
Central Ukrainian National University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Impact Resistant Cast iron for Grinding Bodies

A study of the dynamic strength (impact resistance) of grinding bodies cast from low-chromium cast iron in a multi-seat chill mold depending on the chromium content in the alloy is carried out.

As a starting point, cast iron of the following composition was used: carbon – 3,0%, silicon – 1,6%, manganese – 0,4%, sulfur – 0,05%, phosphorus – 0,06%. For the study, several batches of balls with a diameter of 60 mm were cast with different chromium content in cast iron, from 0 to 1%. Cast iron was smelted in a medium-frequency induction furnace, such as IChT, with the main lining on a charge of pure pig iron and steel low-carbon scrap. The temperature of cast iron production was 1500 °C. Liquid cast iron was subjected to alloying with medium carbon ferrochrome. Balls were cast in multi-seat chill molds.

When tested for impact resistance, the grinding ball received a striking blow of mass 50 kg, falling from a height of 0,5 m. The frequency of application of dynamic loads was 10 beats per minute. Impact resistance was determined by the average number of impacts sustained by the grinding body prior to destruction.

An increase in the impact resistance of ball castings has been established with an increase in the mass fraction of chromium in cast iron up to 1%. Moreover, the greatest increase in dynamic strength is observed with an

increase in the mass fraction of chromium from 0,3% to 0,5%. With a further increase in the chromium content, the impact resistance of white low-alloy cast iron increases less noticeably, and in the presence of chromium 0,7-0,8% reaches a maximum. The difference in hardness from the surface (~ 52 HRC) to the center of the ball (~ 42 HRC) is a value of about 10 units.

The established impact resistance of grinding bodies made it possible to conclude: when grinding solid rocks with high content of solid quartz, the use of low chromium cast iron as a material for grinding media is the most effective, as in terms of achieve high impact resistance, and to ensure cost-effective performance.

cast iron, melt, ball, chill mold, alloying, chrome, impact resistance

Одержано (Received) 20.05.2020

Прорецензовано (Reviewed) 05.06.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.432

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).72-81](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).72-81)

А.В. Рутковський, канд. техн. наук, ст. наук. співр.

Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренко НАН України, м. Київ, Україна

e-mail: coating@ipp.kiev.ua

С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук, **С.С. Михайлюта**, асп.

Центральнoукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: markob0@ukr.net; sergejmihajluta2@gmail.com

Теплостійкість іонноазотованих алюмінієвих сплавів при ізотермічному та термоциклічному впливі

В роботі проведено дослідження основного параметру, що обмежує застосування поршнів з алюмінієвих сплавів при форсуванні двигунів - теплостійкості та її залежності від дифузійних іонноазотованих шарів. При аналізі останніх досліджень і публікацій визначено найбільш поширені методи нагрівання зразків при випробуваннях, їх переваги та недоліки. Завдання дослідження - виявити взаємозв'язок факторів, що визначають теплостійкість іонноазотованих алюмінієвих сплавів при ізотермічному та термоциклічному впливі для ефективного аналізу механізму явищ та управління технологічним процесом зміцнення поршнів. Для дослідження використовувався комплекс лабораторного устаткування на основі установки "Щелкунчик", що забезпечує циклічну зміну температури й навантаження зразка, контроль та запис значень температури, навантаження й деформації та функціонування в автоматичному режимі. При цьому використовувалися плоскі зразки з алюмінієвого сплаву АЛ21 з теплозахисними дифузійними іонноазотованими шарами, що нанесені в установці ВІПА-1 та зразки без обробки. Характеристики термічного циклу: 500 °С ↔ 720 °С. час нагрівання - 10 сек., охолодження 15 сек., що відповідає реальним умовам експлуатації поршнів. Визначені криві ізотермічної та термоциклічної повзучості що мають чітко виражені три ділянки повзучості, в залежності від температури тривалість їх різна. Це зумовлено наявністю в поверхневому шарі зміцнюючої фази AlN_i; рівномірністю розподілу компонентів покриття по поверхні й ступінню їх тугоплавкості. З цим пов'язано ускладнення руху дислокацій, які на своєму шляху зіштовхуються з необхідністю долати при своєму русі великі перепони, що викликані наявністю зміцненого шару. Вид кривих повзучості залежить від температури та умов її впливу на композицію "основа-покриття". Час до руйнування при термоциклічному режимі випробувань менший, ніж при ізотермічному. В процесі повзучості алюмінієвого сплаву АЛ21 із теплозахисними дифузійними іонноазотованими шарами спостерігається два конкуруючих процеси: зміцнення в наслідок пластичної деформації та зняття зміцнення під впливом підвищеної температури. Опір ізотермічній та термоциклічній повзучості зміцненого алюмінієвого сплаву АЛ21 підвищився в 1,8...2,2 рази.

вакуумне азотування, алюмінієві сплави, теплостійкість, ізотермічні та термоциклічні випробування, криві повзучості

А. В. Рутковский, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.

Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, г.Киев, Украина

С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук, **С.С. Михайлюта**, асп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, г.Кропивницький, Украина

Теплостойкость ионноазотированных алюминиевых сплавов при изотермическом и термоциклическом влиянии

В работе проведено исследование основного параметра, что ограничивает применение поршней из алюминиевых сплавов при форсировании двигателей - теплостойкости и ее зависимости от диффузионных ионноазотированных слоев. При анализе последних исследований и публикаций определены наиболее распространенные методы нагревания образцов при испытаниях, их преимущества и недостатки. Задание исследования - обнаружить взаимосвязь факторов, которые определяют теплостойкость ионноазотированных алюминиевых сплавов при изотермическом и термоциклическом влиянии для эффективного анализа механизма явлений и управления технологическим процессом укрепления поршней. Для исследования использовался комплекс лабораторного оборудования на основе установки "Щелкунчик", которая обеспечивает циклическое изменение температуры и нагрузку образца, контроль и запись значений температуры, нагрузки и деформации и функционирования в автоматическом режиме. При этом использовались плоские образцы из алюминиевого сплава АЛ21 с теплозащитными диффузионными ионноазотированными слоями, которые нанесены в установке ВИПА-1 и образцы без обработки. Характеристики термического цикла: 500 °С - 720 °С. время нагревания - 10 сек., охлаждение 15 сек., которое отвечает реальным условиям эксплуатации поршней. Определены кривые изотермической и термоциклической ползучести что имеют четко выраженные три участка ползучести, в зависимости от температуры длительность их разная. Это предопределено наличием в поверхностном слое укрепляющей фазы AlNi; равномерностью распределения компонентов покрытия по поверхности и степенью их тугоплавкости. С этим связано осложнение движения дислокаций, которые на своем пути сталкиваются с необходимостью преодолевать при своем движении большие преграды, которые вызваны наличием укрепленного слоя. Вид кривых ползучести зависит от температуры и условий ее влияния на композицию "основа-покрытие". Время до разрушения при термоциклическом режиме испытаний меньше, чем при изотермическом. В процессе ползучести алюминиевого сплава АЛ21 с теплозащитными диффузионными ионноазотированными слоями наблюдается два конкурирующих процесса: укрепление вследствие пластической деформации и снятие укрепления под воздействием повышенной температуры. Соппротивление изотермической и термоциклической ползучести укрепленного алюминиевого сплава АЛ21 повысился в 1,8...2,2 раза.

вакуумное азотирование, алюминиевые сплавы, теплостойкость, изотермические и термоциклические испытания, кривые ползучести

Постановка проблеми. Зростання експлуатаційних параметрів двигунів внутрішнього згорання викликає неухильне підвищення робочої температури конструктивних елементів двигуна, особливо деталей циліндро-поршньової групи [1]. Застосування для виготовлення поршнів алюмінієвих сплавів обумовлено їх високою питомою міцністю і малою питомою вагою, проте великим недоліком цих матеріалів є низька теплостійкість [2].

Перспективним для поверхневого зміцнення деталей автотракторних двигунів внутрішнього згорання вважається метод іонно-плазмового азотування. Його сутність полягає у тому, що у розрідженому газовому середовищі, яке містить азот, між катодом (деталлю) та анодом (стінками вакуумної камери) збуджується тліючий розряд. При цьому позитивні іони газу з високою енергією, бомбардуючи поверхню катоду, нагрівають її до температури насичення та дифундують в цю поверхню, формуючи твердий розчин азоту в металі, а при досягненні межі розчинності - нітридні фази. Температура азотування 470-580 °С, тиск $(1,33-13)10^2$ Па, робоча напруга коливається від 400 до 1000 В [2,3]. Разом з тим актуальною є задача дослідження основного параметру, що обмежує застосування алюмінієвих сплавів при форсуванні двигунів - теплостійкості та її залежності від дифузійних іонноазотированих шарів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При проведенні термомеханічних випробувань, до яких належить і дослідження на повзучість матеріалів, найбільш поширені три методи нагрівання: прямим пропусканням струму (резистивне нагрівання), струмом високої частоти (СВЧ) і пічне радіаційне нагрівання. Усі ці

методи розглядаються як альтернативні. Резистивний метод нагрівання й нагрівання струмом високої частоти особливо привабливі для проведення випробувань на термовтому при різких теплозмінах. Та сама програма досліджень використовує для ізотермічних випробувань звичайну нагрівальну піч, а для термоциклічних - нагрівання струмом високої частоти [2].

Порівняльна оцінка методів нагрівання показує істотні розходження (більш ніж у 2 рази) характеристик міцності, що отримані при зовнішньому радіаційному нагріванні та електричними методами [3, 4]. Ще більш істотний недолік електричних методів нагрівання виявляється при наявності тріщин у зразку. Неоднорідність у виділенні тепла й щільності струму у вершини тріщини є основними причинами збільшення швидкості росту тріщин.

Рівень знань, що отриманих в інших галузях науки, дозволяє відзначити специфічні явища, які виникають при електричних методах нагрівання:

- електропластичний ефект, що полягає в підвищенні пластичності й зниженні опору деформуванню при безпосередньому припущенні електричного струму через зразок [5].

- магнітопластичний ефект як результат впливу магнітних полів на взаємодію дислокацій із границями магнітних доменів і посилення їх рухливості [6, 7].

- явище електроміграції чи перенесення маси при підвищених температурах і високій щільності струму. Це явище приводить до прискореної дифузії у результаті взаємодії електронів провідності з атомами, що дифундують у метал [8].

Некоректність і недоліки електричних методів нагрівання зразка привели до необхідності пошуку методів, найбільш придатних для дослідження покриттів. Головною вимогою є зовнішнє підведення контрольованого теплового потоку, питома величина якого повинна відповідати умовам експлуатації конструктивних елементів. Тому однією з тенденцій розвитку високотемпературних лабораторних засобів є більш широке застосування променевого нагрівання [9].

Променеве нагрівання не робить специфічного впливу на механічні характеристики конструктивних матеріалів. Тому, запропоновано принцип, що поєднує замкнутість дзеркальної порожнини і її фокусує дію. На основі цього принципу в Інституті проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, під керівництвом доктора технічних наук професора Ляшенко Б.А., розроблено ряд лабораторних установок в т.ч. установка "Щелкунчик". Фокусоване променеве нагрівання особливо зручне для термоциклювання при максимальних швидкостях нагрівання за рахунок мінімальної теплової інерційності пристрою. Реалізується термоциклювання відсіченням чи перерозподілом променевого потоку [10,11].

Спеціальні оптичні камери фокусує дії дозволяють досягти необхідний рівномірний розподіл температур по зразку і можуть бути убудовані в стандартну розривну машину. В якості джерел променевої енергії застосовують графітові нагрівані, Хе-дугові лампи потужністю до 30 кВА, галогенні і вольфрамові лампи.

З застосуванням зазначеного обладнання проведені значні дослідження на ізотермічну та термоциклічну повзучість лопаток компресора авіаційних газотурбінних двигунів змінених багатофункціональними градієнтними вакуум-плазмовими покриттями (PVD) [12], титанових сплавів BT5-1 з жаростійкими емалевими покриттями [13] та ін.

Разом з тим недостатньо вивчено повзучість іонноазотованих алюмінієвих сплавів при ізотермічних і термоциклічних режимах.

Постановка завдання. Для ефективного аналізу механізму явищ та управління технологічним процесом зміцнення поршнів, що виготовлені із алюмінієвих сплавів необхідно виявити взаємозв'язок факторів, що визначають хід процесу, і їх вплив на властивості дифузійних іонноазотованих шарів. Наявність цієї інформації дозволить

підвищити міцність і надійність як самих покриттів, так і деталей з покриттями на стадії їхнього конструювання.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження використовувався комплекс лабораторного устаткування на основі установки “Щелкунчик”, що забезпечує циклічну зміну температури й навантаження зразка, контроль та запис значень температури, навантаження й деформації та функціонування в автоматичному режимі. Установка складається з пристроїв для циклічної зміни температури й навантаження зразка, а також включає системи виміру й запису температури, навантаження й деформації.

Система навантаження установки забезпечує лінійний напружений стан у зразку і складається з механізмів навантаження, важеля й систем тяг із шарнірами із співвідношенням плеч 1 : 10. Проводили порівняльні випробування на ізотермічну та термоциклічну повзучість при фіксованому значенні навантаження $0,8\sigma_B$, згідно ДСТУ 2637-94, в умовах осьового розтягу при нагріванні робочої ділянки зразка шляхом фокусування променевої енергії у замкнутій оптичній безінерційній системі. Це дозволяє нагрівати зразок до 1000°C , без впливу електромагнітопластичного ефекту та здійснювати охолодження зразка зі швидкістю до 100 град/с. Характеристики термічного циклу: $500^\circ\text{C} \leftrightarrow 720^\circ\text{C}$. час нагрівання - 10 сек., охолодження 15 сек., що відповідає реальним умовам експлуатації поршнів.

При цьому використовувалися плоскі зразки з алюмінієвого сплаву АЛ21 (рис. 1) з теплозахисними дифузійними іонноазотованими шарами, що нанесені в установці ВПА-1 [14] та зразки без обробки.

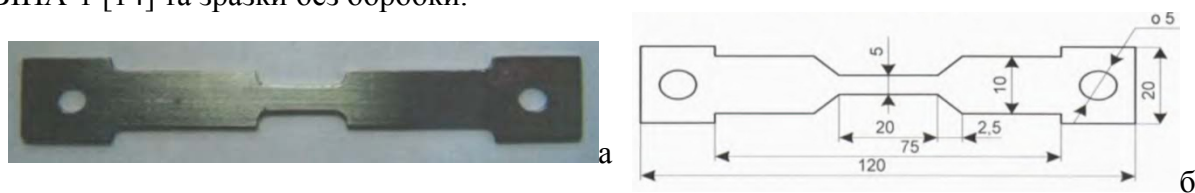


Рисунок 1 – Загальний вигляд та креслення зразка для випробування на ізотермічну та термоциклічну повзучість згідно ДСТУ 2637-94

Джерело: [5]

Навантаження P визначали за формулою:

$$P = \sigma \cdot F$$

де σ – задане напруження, МПа; F - площа поперечного перерізу робочої частини зразка, мм.

Фіксоване значенні навантаження складало $0,8\sigma_B$ згідно ДСТУ 2637-94 та критеріїв визначення допустимого напруження в Нормам ASME (80% середньої величини напружень які приводять до сумарної деформації 1%). Навіть у реальних металевих матеріалах із низькою пластичністю при сумарній деформації $< 1\%$ не проходить руйнування, тому цей параметр і прийнято в якості вказаного критерію.

Відносну деформацію ε у відсотках визначали вимірюванням переміщення рухомого захвату зразка (видовження зразка) Δl і подальшим розрахунком за формулою:

$$\varepsilon = \left(\frac{\Delta l}{l_0} \right) \cdot 100, \quad (1)$$

де l_0 – початкова розрахункова довжина зразка, що вимірюється при температурі 293 ± 5 К перед випробуваннями, м.

Результати випробувань відображено у вигляді графіків кривих повзучості в координатах відносна деформація повзучості час. Загальний інтервал часу до руйнування зразка з покриттям становить

$$t = t_1 + t_2 + t_3$$

де $t_1 + t_2 + t_3$ – відповідно час деформації 1,2 та 3 ділянок кривої повзучості, с.
Граничну деформацію при руйнуванні ε_p зразка (покриття) визначали у відсотках за формулою

$$\varepsilon_p = \left(\frac{\Delta l_p}{l_0} \right) \cdot 100$$

де Δl_p – видовження робочої частини зразка при руйнуванні, м:

$$\Delta l_p = l_k - l_n = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3$$

де l_k – кінцева розрахункова довжина зразка після руйнування покриття, виміряна при температурі 293 ± 5 К, м;

$\Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3$ – відповідно подовження робочої частини зразка на 1, 2 та 3 ділянках кривої повзучості, м.

Швидкість повзучості ε в одиницях за секунду визначалася на ділянці сталої повзучості 2 кривої повзучості за формулою

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_2}{(\tau_2 \cdot 60)}, \quad (2)$$

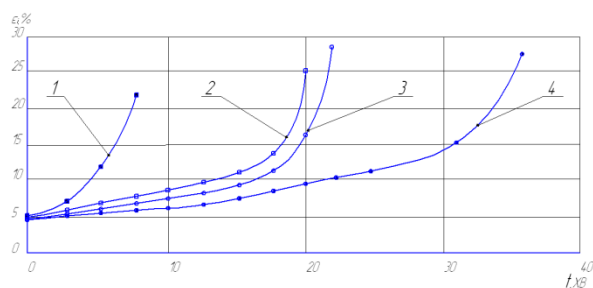
де ε_2 – визначається за формулою 1.

Таким чином, крива повзучості є чутливим інструментом, що характеризує стан покриття й поверхні адгезійного контакту. Крім того, побудова залежності комплексу термомеханічних характеристик покриття від часу та числа теплозмін дозволяє визначити такі важливі характеристики як термостабільність властивостей та спрогнозувати ресурс покриття.

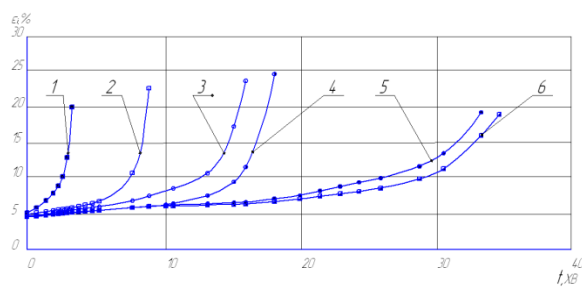
Спільний розгляд таких характеристик як ізотермічна та термоциклічна повзучість дозволяє створити метод оцінки працездатності теплозахисних дифузійних іонноазотованих шарів в умовах, що наближені до експлуатаційних. Цей метод базується на порівняльному аналізі кривих ізотермічної та термоциклічної повзучості алюмінієвого сплаву зі зміцненим поверхневим шаром, що несуть у собі інформацію про кінетику деформування та накопичення пошкоджень під впливом експлуатаційних факторів. Для отримання достовірних кривих повзучості та отримання з них необхідної інформації було проведено ряд заходів, що включають подальше вдосконалення методики проведення досліджень та модернізації експериментальної установки.

В результаті проведених порівняльних експериментальних досліджень зразків із алюмінієвого сплаву АЛ21, як без обробки так і з зміцненим поверхневим шаром отримано криві повзучості та встановлено вплив конструктивних, технологічних і експлуатаційних факторів на ізотермічну та термоциклічну повзучість.

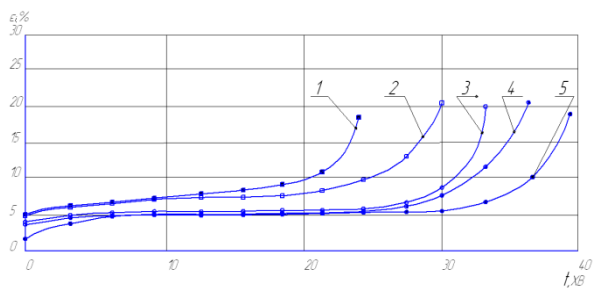
На рис. 2 представлено криві ізотермічної повзучості.



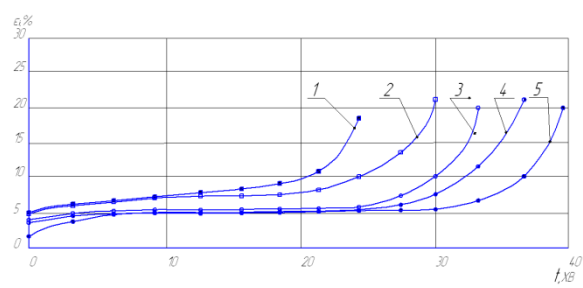
1 - (без обробки) при $T = 670$ °С; 2 - при $T = 670$ °С;
3 - при $T = 650$ °С; 4 - при $T = 570$ °С



1- (без обробки) при $T = 690$ °С; 2 - при $T = 710$ °С;
3, 4 - при $T = 590$ °С та при $T = 680$ °С; 5,6- при $T = 610$ °С та при $T = 580$ °С



1 - (без обробки) при $T = 640\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2, 3 - при $T = 640\text{ }^{\circ}\text{C}$ та при $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4, 5 - при $T = 560\text{ }^{\circ}\text{C}$ та при $T = 510\text{ }^{\circ}\text{C}$

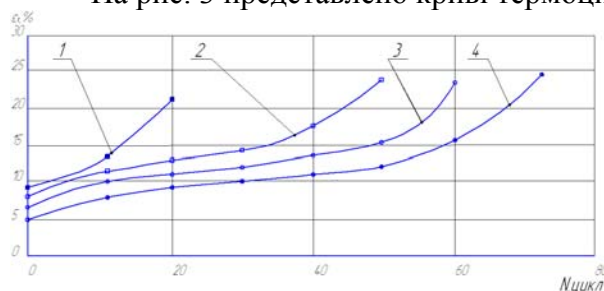


1 - (без обробки) при $T = 640\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 - при $T = 620\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3, 4 - при $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ та при $T = 540\text{ }^{\circ}\text{C}$; 5 - при $T = 530\text{ }^{\circ}\text{C}$

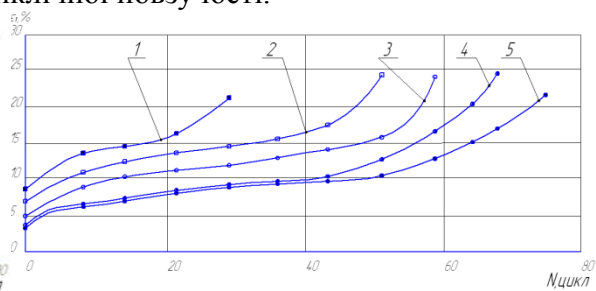
Рисунок 2 – Криві ізотермічної повзучості зміцненого алюмінієвого сплаву АЛ21

Джерело: розроблено автором

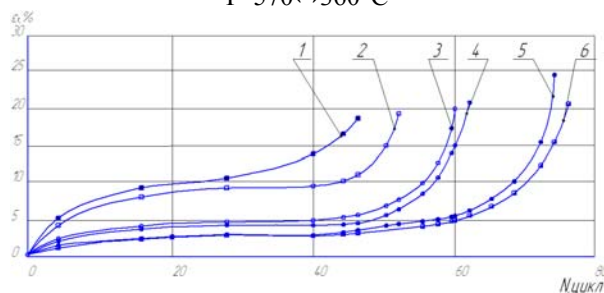
На рис. 3 представлено криві термоциклічної повзучості.



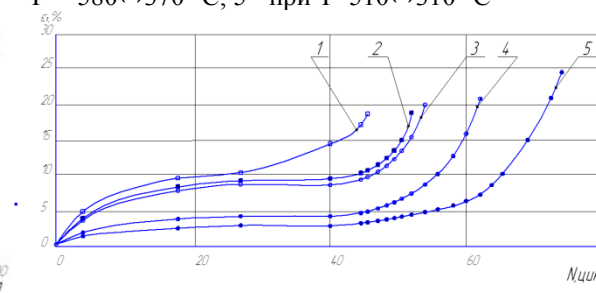
1 - (без обробки) при $T=710\leftrightarrow 500\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 - при $T=710\leftrightarrow 500\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 - при $T=620\leftrightarrow 400\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 - при $T=570\leftrightarrow 360\text{ }^{\circ}\text{C}$



1 - (без обробки) при $T=690\leftrightarrow 470\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 - при $T=670\leftrightarrow 470\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3, 4 - при $T=640\leftrightarrow 430\text{ }^{\circ}\text{C}$ та при $T=580\leftrightarrow 370\text{ }^{\circ}\text{C}$; 5 - при $T=510\leftrightarrow 310\text{ }^{\circ}\text{C}$



1 - (без обробки) при $T=680\leftrightarrow 470\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 - при $T=690\leftrightarrow 480\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3, 4 - при $T = 610\leftrightarrow 410\text{ }^{\circ}\text{C}$ та при $T = 600\leftrightarrow 390\text{ }^{\circ}\text{C}$; 5, 6 - при $T = 560\leftrightarrow 360\text{ }^{\circ}\text{C}$ та при $T = 530\leftrightarrow 330\text{ }^{\circ}\text{C}$



1 - (без обробки) при $T = 670\leftrightarrow 470\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 - при $T = 680\leftrightarrow 470\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3, 4 - при $T = 650\leftrightarrow 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ та при $T = 600\leftrightarrow 400\text{ }^{\circ}\text{C}$; 5 - при $T = 540\leftrightarrow 330\text{ }^{\circ}\text{C}$

Рисунок 3 – Криві термоциклічної повзучості зміцненого алюмінієвого сплаву АЛ21

Джерело: розроблено автором

В результаті експериментальних досліджень було встановлено, що величина деформації при руйнуванні не має яскраво вираженої зміни при температурі дослідження до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Очевидно, цей факт можна пояснити тим, що ця температура, близька до температури формування зміцненого шару.

Також, відмінність термоциклічних випробувань від ізотермічних пов'язана з двома причинами:

- зміна в часі полів температур і напруг приводить до різкої інтенсифікації дифузійних процесів між окремими шарами покриттів і між покриттям і основою;
- зміна напруг у шарах покриття, за абсолютною величиною і за знаком є основною причиною виникнення тріщин.

При всіх режимах випробування криві ізотермічної повзучості зразків аналогічні кривим повзучості при термоциклічних умовах і мають три стадії. Зміна температури в циклі приводить до зміни кривих повзучості. Якщо при дослідженні зразків при більш

високих температурах криві повзучості мають тривалу за часом третю ділянку, то на кривих повзучості зразків, що випробувані при менших температурах, переважає ділянка сталої повзучості. Це можна пояснити тим, що цикли зміни деформацій протягом більшого часу дослідження носять, практично, стабільний характер. При цьому ділянка несталої повзучості з миттєвими швидкостями повторюється циклічно. Накопичена за цикл деформація повзучості має постійне для будь-якого циклу значення $\dot{\epsilon}_i$, отже, стає прямою лінією, тобто процес нестационарної повзучості стає сталим. Лише в декількох перших циклах і на заключному етапі випробувань перед руйнуванням такої стабільності не спостерігається. Це тому, що високі температури володіють більш негативним впливом на алюмінієвий сплав, то і пристосованість матеріалу до даних режимів дослідження здійснюється гірше і, отже, вичерпання пластичних властивостей матеріалу наступить раніше.

Встановлено, що величина швидкості повзучості має кореляційний зв'язок із твердістю теплозахисних дифузійних іонноазотованих шарів та залежить від їх товщини. В таблиці 1 представлено значення швидкості ізотермічної та термоциклічної повзучості зміцненого алюмінієвого сплаву АЛ21. Розрахунок значень швидкості ізотермічної та термоциклічної повзучості проводився за формулою 2;

Таблиця 1 – Швидкість ізотермічної та термоциклічної повзучості

№ п/п	Швидкість ізотермічної повзучості $\dot{\epsilon}_i, \text{c}^{-1}$	Швидкість термоциклічної повзучості $\dot{\epsilon}_i, \text{c}^{-1}$
1	10,278	7,619
2	1,135	0,658
3	17	32,635
4	1,882	1,481
5	0,808	0,235
6	57,333	37,866
7	5,814	5,025
8	0,721	0,398
9	10,095	1,562
10	1,923	0,33
11	84,26	62,33
12	7,956	5,694
13	4,177	2,85
14	43,225	10
15	0,702	2,41
16	1,675	1,531

Джерело: розроблено автором

Висновки. На основі отриманих кривих ізотермічної та термоциклічної повзучості встановлено, що:

- криві ізотермічної та термоциклічної повзучості алюмінієвого сплаву АЛ21 із теплозахисними дифузійними іонноазотованими шарами мають чітко виражені три ділянки повзучості, в залежності від температури тривалість їх різна. Це зумовлено наявністю в поверхневому шарі зміцнюючої фази AlNi; рівномірністю розподілу компонентів покриття по поверхні й ступінню їх тугоплавкості. З цим пов'язано ускладнення руху дислокацій, які на своєму шляху зіштовхуються з необхідністю

- долати при своєму русі великі перепони, що викликані наявністю зміцненого шару;
- вид кривих повзучості залежить від температури та умов її впливу на композицію “основа-покриття”;
 - час до руйнування при термоциклічному режимі випробувань менший, ніж при ізотермічному;
 - у процесі повзучості алюмінієвого сплаву АЛ21 із теплозахисними дифузійними іонноазотованими шарами спостерігається два конкуруючих процеси: зміцнення в наслідок пластичної деформації та зняття зміцнення під впливом підвищеної температури;
 - незважаючи на різний склад теплозахисних дифузійних іонноазотованих шарів, опір ізотермічній та термоциклічній повзучості зміцненого алюмінієвого сплаву АЛ21 підвищився в 1,8...2,2 рази.

Список літератури

1. Гречихин Л.И. Двигатели внутреннего сгорания: физические основы технической диагностики и оптимального управления. Минск : Наука і техніка, 1995. 270 с.
2. Шалай А.Н. Как повысить долговечность поршня? *Двигателестроение*. 1996. №2. С. 42-51.
3. Kouta F.H.H. Cyclic-temperature cyclic-stress torsion machine. *Modell. Simul. and Contr.* 1985. B2, № 4. P.11-21.
4. Woodford D.A. The effects of prior temperature cycling on rupture life of superalloys. *Adv. Res. Strength Fract : Mater.* 4th Int. Conf. Fract. Waterloo. New York e.a. 1977. P.803-812.
5. Клыпин Б.А. Установка для испытаний на растяжение и кратковременную длительную прочность при высоких температурах. *Вопросы высокотемпературной прочности в машиностроении*. Киев: АН УССР. 1963. С.95-105.
6. Конради Г.Г., Федотов М.А. Замечания к методу прямого нагрева образцов при исследовании механических свойств материалов. *Вопросы высокотемпературной прочности в машиностроении*. Киев: АН УССР. 1963. С.58-63.
7. Копанев А.А. К вопросу о природе электропластического зффекта в металлах. *Пробл. прочности*. 1991. № 1. С.47-51.
8. Гиндин И.А., Лавриненко И.С., Неклюдов И.М. Влияние магнитного поля на ползучесть никеля. *Физ. твердого тела*. 1976. 18, №4. С.1182-1185.
9. Каменецкая Д.С., Пилецкая И.Б., Ширяев В.И. Влияние магнитного поля на пластическую деформацию ферромагнитных материалов. *Пробл. металловед. и физ. мет.* Москва: Металлургия. 1973. №2. С. 119- 126
10. Мірненко В.І., Рутковський А.В., Зенкін М.А. Автоматизована система контролю та управління дослідженням ізотермічної та термоциклічної повзучості. *Технологические системы*. 2004. №3. С. 69-72.
11. А. с. 678384 СССР, МКИ С23С14/48. Устройство для нагрева образцов при механических испытаниях / Б.А. Ляшенко, З.С. Уманский, В.М. Товт, О.В. Цыгулев (СССР). № 2432985/22-02; Заяв. 10.05.77; Опубл. 04.03.79, Бюл № 29. 4 с.
12. Артюшин Л.М., Мірненко В.І., Громенко В.Ю. Технологічне забезпечення довговічності лопаток компресора авіаційних газотурбінних двигунів. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. Київ: 2009. Вип. №12. С. 43-48.
13. Товт В.М., Ліпатов С.Ю. Дослідження процесів складного теплообміну та визначення термомеханічних характеристик титанового сплаву ВТ5-1 з жаростійкими покриттями при ізотермічному та термоциклічному режимах. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. Київ: 2009. № 3. С. 64-67
14. Ляшенко Б.А., Маркович С.І., Михайлюта С.С. Розробка технологічного процесу вакуумного азотування поршнів двигунів в пульсуючому пучку плазми. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2017. Вип. 47, ч. 1. С. 158-166.

Referencis

1. Hrechykhyn, L.Y. (1995). *Dvyhately vnutrenneho shoranyia: fyzicheskye osnovy tekhnicheskoy dyagnostyky y optymal'noho upravleniya [Internal combustion engines: physical foundations of technical diagnostics and optimal control]*. Mynsk : Navuka i tekhnika [in Russian].

2. Shalaj, A.N. (1996). Kak povysyt' dolhovechnost' porshnia? [How to improve piston durability?]. *Dvyhatelestroenye – Engine building*, 2, 42-51. [in Russian].
3. Kouta, F.H.H. (1985). Cyclic-temperature cyclic-stress torsion machine. *Modell. Simul. and Contr.*, B2, № 4, 11-21 [in English].
4. Woodford D.A. The effects of prior temperature cycling on rupture life of superalloys // Mater. 4th Int. Conf. Fract. Waterloo. "Adv. Res. Strength Fract." - New York e.a. - 1977 - P.803-812.
5. Klypyn B.A. Ustanovka dlia yspytanyj na rastiashenye y kratkovremennuiu dlytel'niu prochnost' pry vysokikh temperaturakh // Voprosy vysokotemperaturnoj prochnosti v mashynostroenyy. - Kyev: AN USSR. - 1963.-S.95-105. [in Russian].
6. Konrady H.H., Fedotov M.A. Zamechaniya k metodu priamoho nahreva obraztsov pry yssledovanyy mekhanicheskyykh svoystv materyalov // Voprosy vysokotemperaturnoj prochnosti v mashynostroenyy. - Kyev: AN USSR. - 1963. - S.58-63.
7. Kopanev A.A. K voprosu o pryrode elektroplasticheskogo zffekta v metallakh // Probl. prochnosti. - 1991. - № 1. - S.47-51. [in Russian].
8. Hyndyn Y.A., Lavrynenko Y.S., Nekliudov Y.M. Vlyaniye mahnytnoho polia na polzuchest' nykelia // Fyz. tverdogo tela. - 1976. – 18, №4, 1182-1185. [in Russian].
9. Kamenetskaia D.S., Pyletskaia Y.B., Shyriaev V.Y. Vlyaniye mahnytnoho polia na plasticheskuu deformatsiyu ferromahnytnykh materyalov // Probl. metalloved. y fiz. met. - Moskva: Metallurhiya. - 1973. – №2. S. 119— 126. [in Russian].
10. Mirnenko V.I., Rutkovsk'kyj A.V., Zenkin M.A. Avtomatyzovana systema kontroliu ta upravlinnia doslidzhenniam izotermichnoi ta termotsyklichnoi povzuchosti // Tekhnolohicheskye systemy. - 2004. - №3. - S. 69-72. [in Ukrainian].
11. Ustrojstvo dlia nahreva obraztsov pry mekhanicheskyykh yspytaniyakh: A. s. 678384 SSSR, MKY S23S14/48 / B.A. Liashenko, Z.S. Umanskyj, V.M. Tovt, O.V. Tsyhulev (SSSR). - № 2432985/22-02; Zaiav. 10.05.77; Opubl. 04.03.79, Biul № 29. -4 s. [in Russian].
12. Artiushyn L.M., Mirnenko V.I., Hromenko V.Yu. Tekhnolohichne zabezpechennia dovhovichnosti lopatok kompresora aviatsijnykh hazoturbinnykh dvyhuniv.// Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnogo naukovo-doslidnogo instytutu aviatsii. - Kyiv: 2009. Vyp. №12. S. 43-48. [in Ukrainian].
13. Tovt V.M., Lipatov S.Yu. Doslidzhennia protsesiv skladnogo teploobminu ta vyznachennia termomekhanichnykh kharakterystyk tytanovoho splavu VT5-1 z zharostijkymy pokryttiamy pry izotermichnomu ta termotsyklichnomu rezhymakh.// Visnyk Kyivs'koho natsional'nogo universytetu tekhnolohij ta dyzajnu.-Kyiv: 2009. № 3. S. 64-67 [in Ukrainian].
14. Liashenko B.A., Markovykh S.I., Mykhajliuta S.S. Rozrobka tekhnolohichnogo protsesu vakuumnogo azotuvannia porshniv dvyhuniv v pul'suiuchomu puchku plazmy. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia sil'skohospodars'kykh mashyn: zahal'noderzh. mizhvid. nauk.-tekhn. zb. 2017. Vyp. 47, ch. 1. S. 158-166. [in Ukrainian].

Anatoly Rutkovskiy, PhD tech. sci, Senior Researcher

National Academy of sciences of Ukraine G.S. Pisarenko institute for problems of strength

Sergiy Markovykh, Assos. Prof., PhD tech. sci., **Sergiy Myhajlyta**, post-graduate

Central Ukrainian National Technical University, Kropivniiskiy, Ukraine

Thermostability of Ionic Nitriding of Aluminium Alloys at Isothermal and Thermal-cycle Influence

The study of the main parameter that limits the use of pistons made of aluminum alloys in boosting engines - heat resistance and its dependence on diffusion ion-nitrided layers. In the analysis of recent studies and publications, the most common methods of heating samples during tests, their advantages and disadvantages are identified. The task of the study is to identify the relationship of factors that determine the heat resistance of ion-nitrided aluminum alloys under isothermal and thermocyclic effects for effective analysis of the mechanism of phenomena and control of the technological process of strengthening the pistons. The availability of this information will increase the strength and reliability of both the coatings themselves and the parts with coatings at the stage of their design.

A set of laboratory equipment based on the Nutcracker installation was used for the study, which provides cyclic change of temperature and load of the sample, control and recording of temperature values, loading and deformation and operation in automatic mode. Flat samples of aluminum alloy AL2I with heat-protective diffusion ion-nitrided layers applied in the VIPA-1 installation and samples without treatment were used. Characteristics of the thermal cycle: 500 ° C ↔ 720 °C. heating time - 10 sec., cooling 15 sec., which corresponds to the real operating conditions of the pistons. The fixed value of the load was $0.8\sigma_B$ according to DSTU 2637-94 and the criteria for determining the allowable stress in the Standards of ASME (80% of the average value of stresses that lead to a total deformation of 1%). The curves of isothermal and thermocyclic creep having three clearly expressed sites of creep are defined, depending on temperature their duration is different. Isothermal and thermocyclic creep curves of aluminum alloy AL2I with heat-protective diffusion ion-

nitrided layers have three distinct creep areas, depending on the temperature their duration is different. This is due to the presence in the surface layer of the reinforcing phase AlNi; uniformity of distribution of components of a covering on a surface and degree of their refractoryness. This is due to the complexity of the movement of dislocations, which on their way face the need to overcome large obstacles in their movement, caused by the presence of a reinforced layer.

Conclusions. Based on the obtained curves of isothermal and thermo cyclic creep, it is established that the type of creep curves depends on the temperature and conditions of its influence on the composition "base-coating"; the time to failure in the thermo cyclic test mode is less than in the isothermal; in the process of creep of aluminum alloy AL21 with heat-protective diffusion ion-nitrided layers, two competing processes are observed: hardening due to plastic deformation and removal of hardening under the influence of elevated temperature; despite the different composition of heat-protective diffusion ion-nitrided layers, the resistance to isothermal and thermo cyclic creep of the reinforced aluminum alloy AL21 increased by 1.8 ... 2.2 times.

vacuum nitriding, aluminum alloys, heat resistance, isothermal and thermo cyclic tests, creep curves

Одержано (Received) 11.09.2020

Прорецензовано (Reviewed) 30.09.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.791.927.5

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).81-87](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).81-87)

О.О. Іванов, асп.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

e-mail: o.ivanov@nung.edu.ua

Дослідження структури та властивостей зносостійких покриттів отриманих методом наплавлення порошковими електродами на основі системи Fe-Ti-B-C

Проаналізовані сучасні та класичні публікації щодо зносостійких покриттів на основі карбідо- та боридоутворюючих перехідних металів IV-VI груп періодичної системи хімічних елементів. Розглянуто та проаналізовано передумови формування фаз дослідженої системи та мікроструктуру зносостійких покриттів. Запропонована система забезпечує дрібнозернисту структуру з рівномірно розподіленими карбідами та боридами разом з високою твердістю 67-69 HRC.

наплавлення порошковими електродами, зносостійкі покриття, карбід титану, борид титану

А.А. Іванов, асп.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

Исследование структуры и свойств износостойких покрытий, полученных методом наплавки порошковыми электродами на основе системы Fe-Ti-B-C

Проанализированы современные и классические публикации о износостойких покрытиях на основе карбидо- и боридоформирующих переходных металлов IV-VI групп периодической системы химических элементов. Рассмотрены и проанализированы предпосылки формирования фаз рассматриваемой системы и микроструктуру износостойких покрытий. Предложенная система обеспечивает мелкозернистую структуру с равномерно распределенными карбидами и боридами вместе с высокой твердостью.

наплавка порошковыми электродами, износостойкие покрытия, карбид титана, бориды титана

Постановка проблеми. Отримання матеріалів, які характеризуються поєднанням таких параметрів як висока твердість та абразивна зносостійкість за умов підвищених робочих питомих тисків завжди була та є актуальною задачею матеріалознавства. Методи отримання зносостійких матеріалів відрізняються складністю, універсальністю, якістю отриманих матеріалів та вартістю здійснення процесу. Поширеними є наплавлення порошковими електродами, лазерне зміцнення, пресування, спікання, напилення з додатковою термічною обробкою [1], синтез та інші методи і їх комбінації.

Наплавлення порошковими електродами є відносно простим методом отримання зносостійких покриттів з можливістю наплавлення покриттів форм та розмірів в досить широкому діапазоні, а також, на різноманітні поверхні. Така універсальність методу корисна, в першу чергу, для галузей, що передбачають використання зносостійких матеріалів, а саме деревообробку, нафтопромислового, машинобудівного та інших.

Для зносостійкого матеріалу, що працює в умовах інтенсивної абразивної дії головними є такі параметри як мікроструктура, тип матриці, розподіл карбідів/боридів в структурі, їх розмір та форма, твердість матеріалу та мікротвердість фаз [2]. Наплавлення порошковими електродами дозволяє за один прохід електрода отримати шар більшої товщини у порівнянні з лазерним наплавленням [3], та значно простіше у порівнянні з синтезом матеріалів із вихідних реагентів [4].

В загальному, стійкість та працездатність матеріалу визначаються твердістю і міцністю матеріалу та міцністю закріплення його в матриці. Стан структури матеріалу (наявність тріщин, пор, концентраторів напружень) може значно впливати на його міцність і опір ударним навантаженням. Вдосконалення макро- та мікроструктури поверхні твердого матеріалу дає можливість в ряді випадків значно підвищити міцність матеріалу.

Окрім мікротвердості твердих включень та фаз в матеріалі не менш важливими, для процесу наплавлення, є змочуваність розплавленим електродним матеріалом поверхні, на яку здійснюється наплавлення, відсутність дефектів в наплавленому шарі, стійкий та міцний хімічний зв'язок між наплавленим матеріалом та матеріалом, на який здійснюється наплавлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед систем, що широко застосовуються, можна виділити системи на основі карбідоутворюючих елементів, таких як Cr, Mo, Ti, Nb, V [5-7]. Серед вказаних систем найбільшою твердістю характеризуються покриття на основі системи Fe-Cr-V-C [8]. Хоча мікротвердість карбідів Cr₂C₃, Cr₇C₃, Cr₂₃C₆ та боридів Cr₂B, Cr₅B₃, CrB, Cr₃B₄ менша у порівнянні з мікротвердістю інших перехідних металів IV-VI груп періодичної системи хімічних елементів [9, 10], висока твердість забезпечується заевтектичною структурою покриття, яка містить евтектичну матрицю (Fe,Cr)₃B_x+γ-Fe та первинні карбідні та (або) боридні фази. Висока крихкість такої структури перешкоджає використанню матеріалів системи Fe-Cr-V-C у якості зносостійкого покриття в умовах динамічних навантажень. Вплив бору на підвищення твердості та сприяння дрібнозернистої структури матеріалів розглянуто в роботах [11] та [12].

При створенні зносостійких матеріалів, в якості вхідної сировини часто використовують феросплави металів [13]. Проте, за результатами [8], застосування чистих порошоків металів сприяє синтезу реакції "in situ", яка забезпечує формування дрібнозернистої структури з рівномірно розподіленими твердими включеннями. За допомогою використання порошоків чистих металів автори [14] досліджували наплавлені покриття системи Fe-Mo-V-C. Мікроструктура покриттів характеризується наявністю твердої фази MoV₄ у вигляді кристалів поліедричної форми, рівномірно розподілених у структурі. Фаза MoV₄ є близькою до структурного типу AlB₂. Проте, в

структурі наявна небажана потрійна феритно-боридна евтектика, в якій розміщені кристали MoB_4 .

Відповідно до досліджень авторів [15] при взаємодії компонентів Ti-B можливе утворення боридів: TiB (ромбічна ґратка), Ti_3B_4 (орторомбічна ґратка), TiB_2 (гексагональна ґратка). Титан, як перехідний метал IV групи періодичної системи елементів утворює монокарбід типу MeC з ГЦК-ґраткою. Відповідно до класичної літератури [9] мікротвердості TiC та TiB_2 становлять ~29 та ~29,5 ГПа, відповідно, а їх теплота утворень на 1 моль фази становить для TiC 183,8 [9], для TiB_2 315,6 [15] – ΔН, кДж. Мікротвердості карбіду титану та дибориду титану перевищують значення мікротвердості карбідів та диборидів інших перехідних металів [9], окрім твердості W_2C .

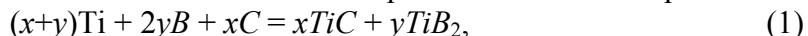
Диборид титану серед диборидів інших перехідних металів IV-VI груп періодичної системи елементів характеризується максимальною жорсткістю ґратки. [10] Показано, що ступінь жорсткості визначається ступенем заповненості sp-станів бору. У дибориді титану, у порівнянні з диборидами ванадію і хрому, ступінь заповненості sp-станів бору найбільша (3,95). Про високу жорсткість ґратки дибориду титану свідчать отримані експериментально порівняно невеликі значення коефіцієнтів термічного розширення і стиску, а також високі значення модуля Юнга [9].

З метою створення зносостійкого покриття розглядалась система Fe-Ti-B-C з огляду на можливість отримання високих фізико-механічних властивостей матеріалу поверхні через високу мікротвердість фаз, отриманих при взаємодії компонентів.

Постановка завдання. Метою даного дослідження було отримання зносостійкого матеріалу наплавленням порошковими електродами, дослідження фазового складу та структури матеріалу на основі системи Fe-Ti-B-C з додаванням Мо.

Виклад основного матеріалу. Порошкові електроди виготовлені шляхом закатування порошкової суміші вхідної сировини в металеву оболонку розміром 0,5 на 20 мм, матеріал оболонки сталь 08кп (ГОСТ 503-81).

Відповідно до [16] суміш вхідних компонентів обирався відповідно до рівняння:



В якості вихідних компонентів використовувались порошки Ti марки ПТМ, які мають більш розвинену поверхню ніж частинки порошку Ti марки ПТХ, що буде позитивно впливати на процеси формування фаз при наплавленні, Мо марки (МПЧ) та порошок V_4C (ГОСТ 5744-85). В дослідженні використовується порошок V_4C , оскільки при використанні порошків В та С згідно [17] можливе випаровування порошку В та вигорання С при підвищених температурах. Компонентний склад порошкових електродів вказано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Склад порошкових електродів

№ зразка	Вміст компонентів, мас. %		
	Ti	Mo	V_4C
1	72,2	-	27,8
2	26,4	53,11	20,392

Джерело: розроблено автором

Як основу для наплавлення використовували металеву пластину, матеріал основи Ст3сп ГОСТ 535-2005. Наплавлення проводили на струмі прямої полярності 170 А, напруга 30-32 В з наступним охолодженням при кімнатній температурі. Твердість покриттів вимірювалась методом Роквелла, дослідження структури проводилось за методом електронної мікроскопії та дифракції відбитих електронів.

Мікроструктура зразка № 1 приведена на рис. 1. Відповідно до рисунку, мікроструктура складається з декількох фаз. Темні кристали мають у площині шліфа

січення продовгуватої трапецеподібної, прямокутної, шестикутної форми, які відповідно до аналізу складаються з 31,66 % В, 67,33 % Ті та 1,01 % Fe у масових відсотках. При переведенні у атомні відсотки дана фаза відповідає дибориду титану TiB_2 з гексагональною кристалічною ґраткою, розчинність Fe у фазі менше 1 ат. %. Дрібніші, сірі кристали відповідають близькому до стехіометричного монокарбиду титану TiC з ГЦК-ґраткою типу NaCl. Матриця, в якій розміщені TiB_2 та TiC відповідає фериту.

Отримане покриття характеризується високим значенням твердості 67 HRC, а дрібна мікроструктура з рівномірно розподіленими твердими включеннями перспективна для використання як зносостійкого покриття в умовах абразивного зношування.

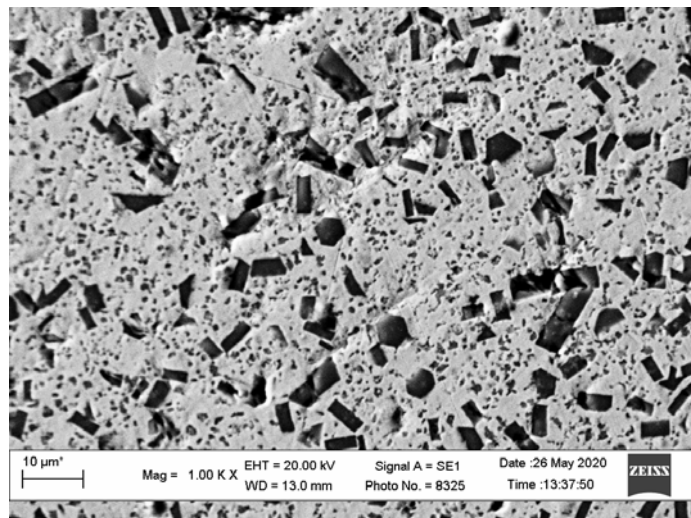


Рисунок 1 – структура матеріалу зразка 1

Джерело: розроблено автором

Проте, не дивлячись на дані [9] які свідчать про хорошу змочуваність залізом карбиду та дибориду титану, під час проведення експерименту наплавлення матеріал електроду наплавлявся з утворенням значних дефектів (рис. 2).

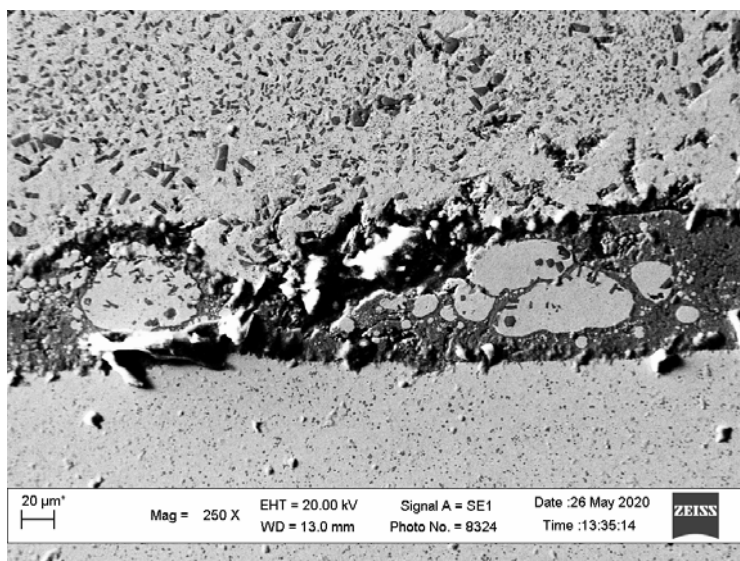


Рисунок 2 – зона сплавлення дослідного зірця 2

Джерело: розроблено автором

Як видно із рис. 2 по всій довжині зони сплавлення зносостійкого матеріалу – сталі присутні значні по розмірах дефекти, що свідчить про слабкий зв'язок наплавленого і основного матеріалу.

Для усунення дефектів під час наплавлення та формування покриття можна застосовувати захисні матеріали та проводити наплавлення в захисних газах [18]. Проте, наявність захисних матеріалів може порушити хімічний склад компонентів шихти та перешкодити синтезу «*in situ*» та утворенню необхідних фаз, а проведення наплавлення в захисному середовищі ускладнює процес та робить його більш вартісним.

По даним роботи [15] наплавлений шар системи Fe-Mo-B-C характеризується кращим зв'язком покриття-поверхня та відсутністю дефектів. Тому добавка порошку Мо до шихти Ti-B-C в рівних еквімолярних долях Me/V₄C доцільне з приводу покращення якості наплавлення та підвищення зносостійких властивостей.

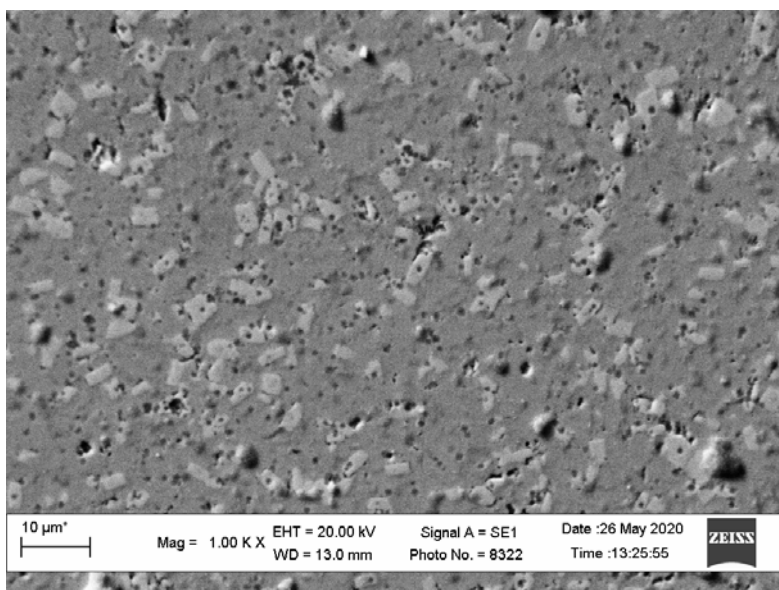


Рисунок 3 – структура матеріалу зразка 2

Джерело: розроблено автором

Структура зразка 2 (рис. 3) складається з карбідної (Ti, Mo)C та боридної (Ti, Mo)B₂ фаз, розміщених в феритній матриці, також присутній цементит. Мікроструктура зразка 2 більш дрібнозерниста у порівнянні зі структурою зразка 1 та зі структурою зносостійкого матеріалу системи Fe-Mo-B-C у роботі [14]. Якість наплавлення значно переважає якість наплавлення зразка 1. Твердість поверхні наплавленого покриття зразка 2 становить 69 HRC.

Висновки. За результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено та порівняно системи Fe-Ti-B-C та Fe-Ti-Mo-B-C. Покриття характеризуються дрібнозернистою структурою, що складається з твердих карбідів та боридів, рівномірно розміщених в феритній матриці. Формування карбідів та боридів забезпечується синтезом «*in situ*», який відбувається під час наплавлення при застосуванні порошків чистих металів Ti та Mo. Твердість покриття Fe-Ti-Mo-B-C 69 HRC вища ніж у покриття системи Fe-Ti-B-C 67 HRC. Подальші дослідження варто спрямувати на термодинамічні розрахунки фазоутворення в системі Fe-Ti-Mo-B-C та дослідження системи на абразивну зносостійкість за різними методами.

Список літератури

1. Microstructure and Microhardness of Ni/Al-TiB₂ Composite Coatings Prepared by Cold Spraying Combined with Postannealing Treatment. / X. Chen at el. *Coatings*. 2019. Vol. 9, № 9. DOI: 10.3390/coatings9090565
2. Toward hard yet tough ceramic coatings. / Yu Xi Wang & Sam Zhang. *Surface & Coatings Technology*. 2014. Vol. 258. P. 1-16. doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.07.007
3. Effect of Molybdenum on the Wear Properties of (Ti,Mo)C-TiB₂-Mo₂B Particles Reinforced Fe-Based Laser Cladding Composite Coatings. / M. Zhang at el. *Journal of Tribology*. 2018. Vol. 140 № 5.
4. Influence of Sintering Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of Ti-Mo-B₄C Composites. / A.S. Namini at el. *Metals and Materials International*. 2019. doi.org/10.1007/s12540-019-00469-y
5. A Study on Hardfacing Alloy Using Fe-Cr and Fe-B Powders. / E. Kapir at el. *Acta Physica Polonica A*. 2015. Vol. 128. P. 160-163. doi.org/10.12693/APhysPolA.128.B-160
6. Microstructure and wear resistance of Fe-Cr₁₃-C-Nb hardfacing alloy with Ti addition. / K. Yang at el. *Wear*. 2017. P. 1091– 1096.
7. Formation of eutectic carbides in Fe-Cr-Mo-C alloy during non-equilibrium crystallization. / K. Wiczerzak at el. *Materials & Design*. 2016. Vol. 94. P. 61-68. doi.org/10.1016/J.MATDES.2016.01.028
8. Improvement of Abrasion Resistance of Production Equipment Wear Parts by Hardfacing with Flux-cored Wires Containing Boron Carbide/Metal Powder Reaction Mixtures. / O. Ivanov at el. *Management Systems in Production Engineering*. 2020. Vol. 28. № 3. P. 178-183. doi.org/10.2478/mspe-2020-0026
9. Пайка и металлизация сверхтвердых инструментальных материалов / под общей ред. д-ра техн. наук Ю.В. Найдича. Киев «Наукова думка», 1977. 187 с.
10. Бориды. / Г.В. Самсонов и др. *Москва Атомиздат*, 1975. 376 с.
11. The Influence Of Boron On Microstructure And Hardness Of Fe-Cr-C Hardfacing Coatings. / Hülya Durmuş at el. *2nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'17)*. October 11-13. 2017.
12. Microstructural and mechanical properties investigation of TiC reinforced hardface alloy deposited on mild steel substrate. / A. Jilleh et al. *Transactions of the Indian Institute of Metals*. 2013. Vol. 66. №. 4. P. 433-436. DOI: 10.1007/s12666-013-0252-z
13. Microstructure and wear properties of the Fe-Ti-V-Mo-C hardfacing alloy. / X. Wang at el. *Wear*. 2008. Vol. 265, №. 5-6. P. 583-589.
14. In Situ Formation Of Molybdenum Borides At Hardfacing By Arc Welding With Flux-Cored Wires Containing A Reaction Mixture Of B₄C/MO. / P. Pryszazhnyuk at el. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 4/12. №. 106. P. 46-51. doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206568
15. Thermodynamic Analysis of the Nb-Ti-B Ternary Phase Diagram. / Yu Nakama at el. *Materials Transactions*. 2009. Vol. 50. №. 5. P. 984-992.
16. Structure and properties of 'Ti-C-B composite thin films produced by sputtering of composite TiC-TiB. / E.A. Levashov at el. *Surface and Coatings Technology*. 1997. Vol. 92. P. 34-41.
17. А.Ф. Лисовский. Формирование структуры композиционных материалов при обработке металлическими расплавами. Киев «Наукова думка». 2008. 198 с.
18. M. Roy. *Surface Engineering for Enhanced Performance against Wear*. 2013. Springer. P. 152-155.

References

1. Chen, X., Li, C., Xu, S., Hu, Y., Ji, G. & Wang, H. (2019). Microstructure and Microhardness of Ni/Al-TiB₂ Composite Coatings Prepared by Cold Spraying Combined with Postannealing Treatment. *Coatings*, 9(9) [in English].
2. Yu Xi Wang & Sam Zhang, (2014). Toward hard yet tough ceramic coatings. *Surface & Coatings Technology*, Vol. 258, pp. 1-16) [in English].
3. Zhang M., Luo S. X., Liu S. S. & Wang X. H. (2018). Effect of Molybdenum on the Wear Properties of (Ti,Mo)C-TiB₂-Mo₂B Particles Reinforced Fe-Based Laser Cladding Composite Coatings. *Journal of Tribology*, 140(5) [in English].
4. Namini A.S., Asl M. S., Delbari S.A., (2019). Influence of Sintering Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of Ti-Mo-B₄C Composites. *Metals and Materials International* [in English].
5. Karip, E., Aydin, S. & Muratoğlu, M. (2015). A Study on Hardfacing Alloy Using Fe-Cr and Fe-B Powders. *Acta Physica Polonica A*, 128, pp. 160-163 [in English].
6. Yang, K., Gao, Y., Yang, K., Bao, Y. & Jiang, Y. (2017). Microstructure and wear resistance of Fe-Cr₁₃-C-Nb hardfacing alloy with Ti addition. *Wear*, 376–377, pp. 1091– 1096 [in English].

7. Wiczerzak, K., Bala, P., Stepien, M., Cios, G. & Koziel, T. (2016). Formation of eutectic carbides in Fe–Cr–Mo–C alloy during non-equilibrium crystallization. *Materials & Design*, 94, pp. 61-68 [in English].
8. Ivanov O., Pryszyzhnyuk P, Lutsak D., Matviienkiv O. & Aulin, V. (2020). Improvement of Abrasion Resistance of Production Equipment Wear Parts by Hardfacing with Flux-cored Wires Containing Boron Carbide/Metal Powder Reaction Mixtures. *Management Systems in Production Engineering*, 28(3), pp. 178-183 [in English].
9. Najdich, Yu.V. (1977). *Pajka i metallizaciya sverhtverdyh instrumentalnyh materialov*. Kiev «Naukova dumka» [in Russian].
10. Samsonov, G.V., Serebryakova, T.I. & Neronov, V.A. (1975). *Boridy*. Moskva Atomizdat [in Russian].
11. Hülya Durmuş, Nilay Çömeza, Melis Yurddaşkalb, Uğur Çaligülüc, (October 11-13, 2017), The Influence Of Boron On Microstructure And Hardness Of Fe-Cr-C Hardfacing Coatings. *2nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'17)*, Nevsehir, Turkey [in English].
12. A. Jilleh et al., (2013). Microstructural and mechanical properties investigation of TiC reinforced hardface alloy deposited on mild steel substrate. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, Vol. 66, no. 4, pp. 433-436 [in English].
13. X. Wang, F. Han, X. Liu, S. Qu & Z. Zou, (2008). Microstructure and wear properties of the Fe–Ti–V–Mo–C hardfacing alloy. *Wear*, Vol. 265, no. 5-6, pp. 583-589 [in English].
14. P. Pryszyzhnyuk, L. Shlapak, O. Ivanov, S. Korniy, L. Lutsak, M. Burda, I. Hnatenko & V. Yurkiv, (2020). In Situ Formation Of Molybdenum Borides At Hardfacing By Arc Welding With Flux-Cored Wires Containing A Reaction Mixture Of B4C/MO. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/12 (106), pp 46-51 [in English].
15. Yu Nakama, Hiroshi Ohtani, Mitsuhiro Hasebe, (2009). Thermodynamic Analysis of the Nb-Ti-B Ternary Phase Diagram. *Materials Transactions*, Vol. 50, No. 5, pp. 984-992 [in English].
16. Levashov, E.A., Kosyanin, V.I., Krukova, L.M., Moore, J.J. & Olson, D.L. (1997). Structure and properties of ‘Ti-C-B composite thin films produced by sputtering of composite TiC-TiB, targets. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 92, pp. 34-41 [in English].
17. Lisovskij, A.F. (2008). *Formirovanie struktury kompozicionnyh materialov pri obrabotke metallichesкими rasplavami*. Kiev «Naukova dumka» [in Russian].
18. M. Roy, Ed. (2013). *Surface Engineering for Enhanced Performance against Wear*. Springer. pp. 152-155 [in English].

Olexandr Ivanov, post-graduate

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

Researching of the Structure and Properties of Wear-resistant Coatings Obtained by Surfacing With Powder Electrodes Based on the Fe-Ti-B-C System

In this study the main purpose was to provide “in situ” synthesis while flux cored arc welding (FCAW) for obtaining hardfacing with fine structure with uniformly distributed titanium borides and carbides in the Fe-Ti-B-C system. Also, Fe-Ti-Mo-B-C with equimolar content of Me/B4C was researched.

Powders electrodes was manufactured with using of pure metal powders to provide “in situ” synthesis. Initial components were powders of Ti, Mo and B₄C. It was investigated that the offered harfacings are characterized by high hardness and fine-grained structure. Addition of Ti to Fe-Mo-B-C system leads to elimination of the ferrite-boride eutectics, that exist in Fe-Mo-B-C. Also, the structure of hardfacing of Fe-Ti-Mo-B-C is characterized with absence of defects and pores that exist in case of using Fe-Ti-B-C hardfacing. Analysis was carried out using scanning electron microscopy (SEM) and electron backscatter diffraction (BSD). Hardness was measured by Rockwell method.

According to the analysis of literature and experimental researches, a systems of powder electrode materials was manufactured by FCAW method with high content of hard borides and carbides. The obtained value of the hardness of Fe-Ti-B-C system is 67 HRC and for Fe-Ti-Mo-B-C system is 69 HRC.

surfacing, wear-resistant coatings, titanium carbide, titanium boride

Одержано (Received) 05.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 15.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.891

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).88-95](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).88-95)

А.В. Кропівна, доц., канд. техн. наук, **О.В. Кузик**, доц., канд. техн. наук
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,
Україна*
e-mail: Kuzkov1985@gmail.com

Аналіз та гармонізація національних до міжнародних стандартів якісних показників чавунів з вермикулярним графітом

В статті розглянуто національні та міжнародні стандарти якісних показників чавуну з вермикулярним графітом. Дано аналіз діючим стандартам в Україні ДСТУ на чавун з вермикулярним графітом а також регламентовані його механічні властивості та рекомендований хімічний склад. Проаналізовано властивості аналогічних міжнародних та європейських стандартів на чавун з вермикулярним графітом згідно стандартизації ISO, SAE, CEN, VDG, ASTM, JIS, GB, STAS, а також наведено перехресні посилання на стандарт ISO 16112 до інших стандартних марок ЧВГ. З'ясована відповідність марок матеріалів, в залежності від їх хімічного складу та механічних властивостей, наведених в ГОСТах, міжнародних та європейських показників.

чавун, стандарт, стандартизація національний стандарт, міжнародні стандарти, властивості чавуну, марки чавуна

А.В. Кропивная, доц., канд. техн. наук, **А.В. Кузык**, доц., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет г. Кропивницкий, Украина

Анализ и гармонизация национальных и международных стандартов качественных показателей чугунов с вермикулярным графитом

В статье рассмотрены национальные и международные стандарты качественных показателей чугуна с вермикулярным графитом. Дан анализ действующим стандартам в Украине ДСТУ на чугун с вермикулярным графитом а также регламентированы его механические свойства и рекомендован химический состав. Проанализированы свойства аналогичных международных и европейских стандартов на чугун с вермикулярным графитом согласно стандартизации ISO, SAE, CEN, VDG, ASTM, JIS, GB, STAS, а также приведены перекрестные ссылки на стандарт ISO 16112 к другим стандартным маркам ЧВГ. Выяснено соответствие марок материалов, в зависимости от их химического состава и механических свойств, приведенных в ГОСТах, международных и европейских показателей.

чугун, стандарт, стандартизація національний стандарт, міжнародні стандарти, свойства чугуна, марки чугуна

Постановка проблеми. Інтеграція до міжнародного та європейського співтовариства є необхідним процесом для успішного розвитку економіки України. Європейська інтеграція України в економічний простір, ефективна співпраця в науково-технічній сфері та міжнародна торгівля, вимагає від виробництва переорієнтації на високу якість продукції. Високі якісні показники продукції необхідно закріплювати новими національними стандартами, гармонізованими з міжнародними та європейськими стандартами. Продукція, що постачається на міжнародні та європейські ринки повинна підтверджуватися відповідними документами міжнародних стандартів якості.

Стандартизація встановлює вимоги, норми, правила та характеристики, які є обов'язковими або рекомендованими для виконання. Все це сприяє комплексній розробці стандартів на сировину, матеріали, обладнання, оснащення та готову продукцію, шляхом встановлення в стандартах єдиних технологічних вимог і

показників якості, методів випробувань і засобів контролю, що впливає на поліпшення якості продукції в цілому. Галузь ливарного виробництва в Україні є основою машинобудування, від рівня якого залежить промисловий потенціал країни. Тому забезпечення та узгодження високих показників якості матеріалів галузі ливарного виробництва є необхідним в розвитку економіки України в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ливарна галузь України розвивалася, в основному, з використанням міждержавних стандартів – ГОСТів, котрі суттєво відрізняються від європейських та міжнародних і вимагає узгодження та інших підходів до розробки нових стандартів [1,2]. Особливо актуальні питання гармонізації стандартів на чавун з вермикулярним графітом, який є новим перспективним конструкційним матеріалом.

Міжнародний стандарт – це документ, в якому визначено характеристики продукції, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації, виконання робіт або послуг, та інше [3]. Міжнародна стандартизація - це область стандартизації, до якої відкритий вхід для певних органів будь-якої країни. Діяльність міжнародної стандартизації спрямована на упорядкування в певній галузі діяльності систем стандартів, шляхом встановлення положень для загального і багаторазового застосування існуючих і потенційних завдань і процесів.

В 2015 році введений в дію базовий Закон України «Про стандартизацію», що визначає правові та організаційні засади стандартизації, та забезпечує формування і реалізацію державної політики в цій сфері [4]. Тому виникає необхідність узгоджувати та розробляти національні стандарти ДСТУ на основі міждержавних, та з урахуванням положень європейських і міжнародних стандартів. При цьому необхідно створювати систему відповідності марок матеріалів, в залежності від їх хімічного складу та механічних властивостей, наведених в ДСТУ, ГОСТах, європейських показників, що забезпечить можливість виходу продукції ливарного виробництва на європейські та міжнародні ринки.

Аналогічно і в галузі транспорту, ступінь надійності та якості пасажирських і вантажних автомобільних перевезень в Україні забезпечується національними та міжнародними стандартами [5,6].

Постановка завдання. Метою даної роботи є аналіз національних та міжнародних стандартів щодо якісних показників чавунів з вермикулярним графітом та їх узгодження між собою.

Виклад основного матеріалу. На сьогодні діють ряд міжнародних стандартів, які регламентують властивості чавуну з вермикулярним графітом (табл. 1, 2) [7]. Поза межами стандартів на ЧВГ, які видані національними та міжнародними організаціями, деякі виробники застосовують власні внутрішні технічні умови, в тому числі: Audi, BMW, Caterpillar, DAF Trucks, Daimler, Chrysler, Ford, General Electric, General Motors, Hyundai, John Deere, Opel, Rolls Royce Power Engineering і Volkswagen.

Таблиця 1 – Стандарти на чавун з вермикулярним графітом

Країна	Орган стандартизації	Номер	Рік прийняття
Міжнародний	ISO	ISO 16112	2006
Міжнародний	SAE	J 1887	2002
Міжнародний	CEN	EN 16079	2011
Німеччина	VDG	W 50	2002
США	ASTM	A 842	2011
Японія	JIS	G 5505	2013
Китай	GB	T 26655	2011
Румунія	STAS	12443-86	1986

Джерело: використано [9]

Таблиця 2 – Перехресні посилання на стандарт ISO 16112 до інших стандартних марок ЧВГ (ASTM A842-85, Specification for Compacted Graphite Iron Castings та SAEJ1887 JUL2002, Automotive Compacted Graphite Iron Castings)

ISO 16112:2006	ASTM A842-85	SAE J1887 JUL2002
ISO 16112/JV/300	300	C300
ISO 16112/JV/350	350	C350
ISO 16112/JV/400	400	C400
ISO 16112/JV/450	450	C450
ISO 16112/JV/500	-	-

Джерело: використано [9]

Крім того, ряд держав, таких наприклад як Китай, мають власні національні стандарти на чавун з вермикулярним графітом (табл. 3)

Таблиця 3 – Марки чавуна з вермикулярним графітом згідно стандарту Китаю JB/T4403-1999

Марка	Тимчасовий опір на розтяг, МПа	Умовна границя плинності, МПа	Відносне видовження, %	Твердість, НВ	ССГ, %	Структура металевої матриці
420	≥420	≥335	≥0.75	200–280	≥50	Перліт
380	≥380	≥300	≥0.75	193–274		Перліт
340	≥340	≥270	≥1.0	170–249		Перліт +ферит
300	≥300	≥240	≥1.5	140–217		Перліт +ферит
260	≥260	≥195	≥3	121–197		Ферит

Джерело: використано [10]

Чавун з вермикулярним графітом регламентовано міжнародним стандартом ISO 16112, який використовує комбіновану назву “Compacted (Vermicular) Graphite Cast Iron”. Стандарт ISO для чавуна з вермикулярним графітом передбачає п'ять марок на основі мінімальних значень тимчасової межі міцності (МПа): ISO 16112/JV/300 (феритний); ISO 16112/JV/350; ISO 16112/JV/400; ISO 16112/JV/450 (перлітний); ISO 16112/JV/500 (легований). Довідково стандарт ISO 16112: 2006 надає інформацію про механічні та фізичні властивості чавуну в залежності від температури випробувань (табл. 4).

Таблиця 4 – Властивості ЧВГ, які регламентовано міжнародним стандартом ISO 16112: 2006

Марка чавуна	Тимчасовий опір на розтяг, МПа	Межа текучості, МПа	Відносне видовження, %	Твердість по Брінеллю
ISO 16112/JV/300	300...375	220...295, мін. 210	1,5 -2,0	140...210
ISO 16112/JV/350	350...425	260...335, мін. 245	1,5	160...220
ISO 16112/JV/400	400...475	300...375, мін. 280	1,0	180...240
ISO 16112/JV/450	450...525	340...415, мін. 315	1,0	200...250
ISO 16112/JV/500	500...575	380...455, мін. 350	0,5	220...260

Джерело: використано [9]

Більшість стандартів визначають діапазон допустимого вмісту кулястого графіту (0...20%) в структурі ЧВГ. Виконання цієї вимоги визначає досягнення оптимальної якості, рівня механічної обробки, теплопередачі та зносостійкості. В той же час за узгодженням із замовником можуть встановлюватися інші співвідношення між кількістю вермикулярного і кулястого графіту, наприклад 60/40. Критичним для всіх типів ЧВГ є вимога, щодо неприпустимості у структурі включень пластинчастого графіту.

Всі вище наведені стандарти визначають форму проб для визначення властивостей та передбачають визначення структури графіту на поверхнях, утворених після механічної обробки виливків.

Відповідно до потреб автомобільної промисловості товариством автомобільних інженерів (SAE) створено стандарт SAEJ1887 JUL2002 для ЧВГ. Стандарт передбачає п'ять марок чавуна з вермикулярним графітом, з вмістом кулястого графіту не більше 20%, і дві марки, позначені як "HN" (високий ступінь сфероїдизації графіту допускає до 20...50%). Марки чавуну розрізняються за мінімальним рівнем механічних властивостей (табл. 5). Додатки до стандарту SAE J1887 надають візуальні еталонні мікрофотографії з різним ступенем сфероїдизації графіту.

Таблиця 5 – Властивості чавуна з вермикулярним графітом, які регламентовано міжнародним стандартом SAEJ1887 JUL2002

Марка	Типовий діапазон значень твердості HB	Мінімальний тимчасовий опір на розтяг, МПа	Мінімальна умовна границя плинності, МПа	Мінімальне відносне видовження, %	Металева матриця	ССГ, %
C250	121...179 HB	250	175	3.0	феритна	<20
C300HN	131...189 HB	300	175	3.0	феритна	20-50
C300	143...207 HB	300	210	2.5	Ферито-перлітна	<20
C350	163...229 HB	350	245	2.0	Ферито-перлітна	<20
C400	197...255 HB	400	280	1.5	Перліто - феритна	<20
C450	207...269 HB	450	315	1.0	Перлітна	<20
C500HN	207...269 HB	500	315	1.5	Перлітна	20-50

Джерело: використано [9]

Діючий в Україні стандарт ДСТУ 3926-99 «Чавун з вермикулярним графітом» регламентує марки матеріалу ЧВГ 300-4, ЧВГ 300-5, ЧВГ 400-4, ЧВГ 500-1 [8]. При цьому регламентуються лише закладені в позначенні марки тимчасовий опір розриву при розтягуванні (МПа) та відносне видовження (%). При наявності спеціальних вимог замовника стандарт вказує на мінімальні допустимі значення умовної межі текучості та діапазони твердості по Бринелю. Стандарт дає рекомендації щодо хімічного складу металу. При цьому широкий діапазон вмісту магнію (0,012...0,028%), кальцію (0,01...0,06%) та РЗМ (0,03...0,12%) буде приводити до формування ЧВГ з підвищеним рівнем сфероїдизації графіту [9].

Російський ГОСТ 28394-89 передбачає чотири марки ЧВГ, їх механічні властивості і рекомендований хімічний склад наведені в табл. 6, 7. Згідно ГОСТ 28394-89 у чавуні з вермикулярним графітом вміст вуглецю має становити 3,5...3,8% для ЧВГ30 і ЧВГ35 і 3,1...3,5% для ЧВГ 40 і ЧВГ 45. Вміст кремнію зменшується з 2,2...2,8% для ЧВГ 30 і ЧВГ 35 до 2,0...2,5% для ЧВГ 40 і ЧВГ 45.

Таблиця 6 – Механічні властивості ЧВГ, які регламентовано ГОСТ 28394-89

Марка чавуна	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , % не менше	НВ
ЧВГ30	300	240	3,0	130...180
ЧВГ35	350	260	2,0	140...190
ЧВГ40	400	320	1,5	170...220
ЧВГ45	450	380	0,8	190...250

Джерело: використано [8]

Таблиця 7 – Рекомендований хімічний склад ЧВГ, який рекомендований ГОСТ 28394-89

Марка чавуна	Масова доля елементів, %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mg/RE
ЧВГ35	3,5-3,8	2,2-3,0	0,2-0,6	до 0,08	до 0,025	до 0,15	-	<u>0,015-0,028/</u> 0,10-0,20
ЧВГ40	3,5-3,8	2,2-2,8	0,2-0,6	до 0,08	до 0,025	до 0,15	-	<u>0,02-0,028/</u> 0,10-0,20
ЧВГ45	3,1-3,5	2,0-2,5	0,4-1,0	до 0,08	до 0,025	до 0,20	0,4...0,6	<u>0,02-0,028/</u> 0,10-0,20

Джерело: використано [8]

Відмінність хімічного складу марок полягає у збільшенні вмісту марганцю з 0,2...0,6% для ЧВГ 30 до 0,8...1,2% для ЧВГ 45 і в збільшенні частки хрому з 0,15 до 0,3% (табл. 7).

У Польщі властивості чавуну з вермикулярним графітом регламентуються стандартом PN-EN 16079: 2012. Стандарт визначає п'ять марок цього виду чавуна (табл. 8). Вказується, що мікроструктура металевої основи чавуну змінюється від феритної (марка EN-GJV-300) до перлітної (марка EN-GJV-500).

Таблиця 8 – Марки чавуну з вермикулярним графітом відповідно до стандарту PN-EN 16079:2012

Позначення	Механічні властивості			
	Мінімальний тимчасовий опір на розтяг, МПа	Мінімальна умовна границя плинності, МПа	Мінімальне відносне видовження, %	Твердість, НВ
EN-GJV-300	300	210	2,0	140...210
EN-GJV-350	350	245	1,5	160...220
EN-GJV-400	400	280	1,0	180...240
EN-GJV-450	450	315	1,0	200...250
EN-GJV-500	500	350	0,5	220...260

Джерело: використано [11]

Стандарт PN-EN 16079:2012 довідково надає інформацію про механічні властивості чавуну в залежності від товщини стінки виливка. Властивості при випробуванні на розтяг, наведені в таблиці 8, відносяться до виливків з товщиною стінки до 30 мм.

В найближчому майбутньому ЧВГ має широкі перспективи для виробництва деталей, що вимагають унікальних властивостей, цього матеріалу, які досягаються високим вмістом графіту вермикулярної форми, особливо для високонавантажених

деталей, що працюють в умовах термоциклічного навантаження, незважаючи на підвищення собівартості виробів (табл. 9).

Таблиця 9 – Рекомендації міжнародного стандарту ISO 16112:2006 щодо типового застосування чавуну з вермикулярним графітом

Марка матеріалу	Властивості	Приклади типових застосувань
ISO 16112 / JV / 300	Низька міцність та висока пластичність. Висока теплопровідність та низька пружність, мінімальні термічні напруження. Переважно феритова матриця мінімізує ріст протягом тривалого впливу підвищених температур	Вихлопні колектори, головки циліндрів для великих морських і стаціонарних двигунів
ISO 16112 / JV / 350	Вища міцність, ніж у легованого сірого чавуну, гарна пластичність. Вищий вихід придатного та краща оброблюваність ніж у ВЧКГ	Станини, кронштейни та муфти, блоки циліндрів та головки для великих морських і стаціонарних дизельних двигунів, виливниці
ISO 16112 / JV / 400	Поєднання міцності, жорсткості та теплопровідність. Гарна зносостійкість.	Автомобільні блоки та головки циліндрів, гальмівні барабани. Станини, кронштейни та муфти. Виливниці. Корпуси насосів та гідравлічні компоненти.
ISO 16112 / JV / 450	Вища міцність, жорсткість та зносостійкість ніж ISO16112 / JV / 400, нижча оброблюваність	Автомобільні блоки та головки циліндрів. Подушки, кронштейни та муфти. Гальмівні диски. Корпуси насосів та гідравлічні компоненти
ISO 16112 / JV / 500	Найвища міцність і найнижча пластичність. Найвища зносостійкість і найнижча оброблюваність	Високо напружені автомобільні блоки циліндрів. Гільзи циліндрів

Джерело: використано [9]

Таким чином, вдосконалення, забезпечення та узгодження національного стандарту на ЧВГ досягненням високих показників якості матеріалів галузі ливарного виробництва, забезпечить стабільність процесу технологічного виробництва, та подальший вихід на міжнародні та європейські ринки а також якісно новий рівень вітчизняного машинобудування.

Висновки.

1. Проведено аналіз національних та міжнародних стандартів якісних показників чавунів з вермикулярним графітом.

2. З'ясована відповідність марок матеріалів, в залежності від їх хімічного складу та механічних властивостей, наведених в ГОСТах, міжнародних та європейських стандартах.

Список літератури

1. Корнилов Э. В. Корнилов Э. В. Международные стандарты, обозначения элементов технических систем . Одесса: Негоциант, 2005. 312 с.
2. Научные исследования в стандартизации литейного производства Украины / В.А. Стрыгун, Н.М. Волошин, С.В. Гнилокурченко, Л.С. Чаплыгина. *Металл и литье Украины*. 2019. № 5-6 (312-313). С 28-32.
3. Крылова Г. Д. Основы стандартизации, сертификации и метрологии /2-е изд. Москва: ЮНИТИ, 2003. 671 с.
4. Закон України «Про стандартизацію» від 5 червня 2014 року № 1315 - VII.
5. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Ступінь забезпечення надійності та якості пасажирських і вантажних автомобільних перевезень в Україні національними та міжнародними стандартами. *Вісник інж. академії України*. 2016. №3. С.156-162.
6. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія / під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В.; Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.
7. ISO 16112-2017 Compacted (vermicular) graphite cast irons Classification
8. ГОСТ 28394-89 «Чугун с вермикулярным графитом для отливок. Марки».
9. Кропивний В.М., Кузик О.В., Кропивна А.В., Засінець Г.М. Чавун з вермикулярним графітом. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / заг. ред. В.М. Кропивного. Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2019. 222 с.
10. Zhou Gen Production technique of vermicular graphite iron cylinder head of vehiclediesel engine. *Zhou Gen, Liu Wanhua. CHINA FOUNDRY*. 2008, Vol.5. №3, pp. 153 – 161.
11. Gumienny G., Dondzbach M., Kacprzyk B Effect of Chromium on the Solidification Process and Microstructure of Vermicular Graphite Cast Iron . *Archives of Foundry Engineering*. 2015. Vol. 15, Is. 3, pp. 29- 34.

Referencis

1. Kornilov, E.V. (2005). *Mezhdunarodnyie standartyi, oboznacheniyaelementov tehnicheskikh [International standards, designations of elements of technical systems]*. Odessa: Negotsiant [in Russian].
2. Strygun V.A. Voloshin, N.M., Gnioskurenko, S.V. & Chaplygina, L.S. (2019). Nauchnye issledovaniya v standartizatsii liteynogo proizvodstva Ukrainyi [Scientific research in the standardization of foundry production in Ukraine]. *Metall i lte Ukrainyi – Metal and casting of Ukraine, 5-6 (312-313)*, 28-32 [in Russian].
3. Krylova, G.D. (2003). *Osnovyi standartizatsii, sertifikatsii i metrologii [Basics of standardization, certification and metrology]*. (2-e ed.). Moscow: YuNITI,
4. Zakon Ukrainy «Pro standartyzatsiiu» № 1315 - VII [Law of Ukraine "On standardization", No. 1315 - VII.]. (2014, 5 June). [in Ukrainian].
5. Aulin, V.V., Holub, D.V. & Hrynkiv A.V. (2016). Stupin zabezpechennia nadiinosti ta yakosti pasazhyrskykh i vantazhnykh avtomobilnykh perevezen v ukraini natsionalnymy ta mizhnarodnymy standartamy [The degree of reliability and quality of passenger and freight road transport in Ukraine by national and international standards.]. *Visnyk inzh. akademii Ukrainy – Bulletin of Eng. Academy of Ukraine*, 3, 156-162 [in Ukrainian].
6. Aulin, V.V., Holub, D.V., Hrynkiv, A.V. & Lysenko S.V. (2017). *Metodolohichni i teoretychni osnovy zabezpechennia ta pidvyshchennia nadiinosti funktsionuvannia avtomobilnykh transportnykh system. [Methodological and theoretical bases of providing and increase of reliability of functioning of automobile transport systems]*. Aulina V.V.(Ed.). Kropyvnytskyi: Vydavnytstvo TOV "KOD" [in Ukrainian].
7. ISO 16112-2017 Compacted (vermicular) graphite cast irons Classification [in English].
8. Cast iron with vermicular graphite for castings. (1989). HOST 28394-89 [in Russian].
9. Kropivnyi, V.M., Kuzyk, O.V., Kropivna, A.V. & Zasinets, H.M. (2019). *Chavun z vermykuliarnym hrafitom. [Cast iron with vermicular graphite]*. Kropivnyi V.M. (Ed.). Kropyvnytskyi : Vydavets Lysenko V.F. [in Ukrainian].
10. Zhou Gen, Liu Wanhua (2008). Production technique of vermicular graphite iron cylinder head of vehiclediesel engine. *CHINA FOUNDRY, Vol.5, 3, 153 – 161* [in English].
11. Gumienny G., Dondzbach, M. & Kacprzyk, B. (2015). Effect of Chromium on the Solidification Process and Microstructure of Vermicular Graphite Cast Iron . *Archives of Foundry Engineering, Vol. 15, 3, 29 - 34* [in English].

Alena Kropivna, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Olexandr Kuzyk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Analysis and Harmonization of National and International Quality Standards for Compacted Graphite Cast Irons

Ensuring and coordination of high quality indicators of materials in the foundry industry is necessary in the development of Ukraine's economy. High quality products need to be enshrined in new national standards, harmonized with international and European standards. Thus, the purpose of this work is to analyze national and international standards for quality indicators of vermicular graphite iron and their harmonization with each other.

The foundry industry of Ukraine has developed mainly with the use of interstate standards - GOST, which differ significantly from European and international and requires coordination and other approaches to the development of new standards. Today there are a number of international standards: ISO, SAE, CEN, VDG, ASTM, JIS, GB, STAS, which regulate the properties of cast iron with vermicular graphite. Most standards define the range of permissible content of spherical graphite (0... 20%) in the structure of cast iron with vermicular graphite, as well as determine the shape of samples to determine the properties and provide for the determination of graphite on surfaces formed after machining castings. In accordance with the needs of the automotive industry, the Society of Automotive Engineers (SAE) has created the standard SAEJ1887 JUL2002 for cast iron with vermicular graphite. The DSTU standard in force in Ukraine regulates only the temporary resistance to tensile and elongation laid down in the brand designation. Thus, the improvement, provision and harmonization of the national standard at the vermicular graphite iron by achieving high quality indicators of materials in the foundry industry, will ensure the stability of the technological production process, and further entry into international and European markets and a qualitatively new level of domestic engineering.

An analysis of the current standards in Ukraine DSTU for cast iron with vermicular graphite is given, as well as its regulated mechanical properties and recommended chemical composition. The properties of similar international and European standards for cast iron with vermicular graphite according to ISO, SAE, CEN, VDG, ASTM, JIS, GB, STAS standardization are analyzed, as well as cross-references to ISO 16112 to other standard brands of the vermicular graphite iron. The conformity of brands of materials, depending on their chemical composition and mechanical properties given in GOST, international and European indicators is found out.

cast iron, standard, standardization, national standard, international standards, properties of cast iron, brands of cast iron

Одержано (Received) 13.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 17.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 631.31:620.178

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).96-101](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).96-101)**К.В. Борак**, канд. техн. наук*Житомирський агротехнічний коледж, Україна, м. Житомир**e-mail: koss1983@meta.ua*

Вплив рослинних решток на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин

Абразивний знос один з найпоширеніших видів зношування, на його долю припадає до 50% всіх відмов деталей машин. Дослідження закономірностей процесу абразивного зношування є безумовно актуальною задачею. В роботі розглянуто вплив хімічного фактору, а саме наявність рослинних решток в абразивній масі, на інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Лабораторні дослідження проводили за методом «крильчатки», а експлуатаційні – на універсальному дисковому агрегаті УДА 4,5 в умовах Овруцького району Житомирської області (ґрунти супіщані). В результаті проведення досліджень з'ясовано, що при виділенні соків (патоки) підвищується інтенсивність абразивного зношування в лабораторних умовах на 13,5...21,5%, а в експлуатаційних умовах – на 8%. Абразивне зношування робочих органів ґрунтообробних машин є доволі складним процесом і не може розглядатися тільки механічної точки зору.

робочі органи, ґрунтообробні машини, абразивний знос, ґрунт, рослинні рештки**К.В. Борак**, канд. техн. наук*Житомирський агротехнічний коледж, г. Житомир, Україна*

Влияние растительных остатков на интенсивность абразивного износа рабочих органов почвообрабатывающих машин

Абразивный износ один из самых распространенных видов износа, на его долю приходится до 50% всех отказов деталей машин. Исследование закономерностей процесса абразивного износа является, актуальной задачей. В работе рассмотрено влияние химического фактора, а именно наличие растительных остатков в абразивной массе, на интенсивность износа рабочих органов почвообрабатывающих машин. Лабораторные исследования проводили по методу «крыльчатки», а эксплуатационные – на универсальном дисковом агрегате УДА 4,5 в условиях Овруцкого района Житомирской области (почвы супесчаные). В результате проведения исследований установлено, что при выделении соков (патоки) повышается интенсивность абразивного износа в лабораторных условиях на 13,5...21,5%, а в эксплуатационных условиях – на 8%. Абразивный износ рабочих органов почвообрабатывающих машин это очень сложный процесс и не может рассматриваться только механической точки зрения.

рабочие органы, почвообрабатывающие машины, абразивный износ, почва, растительные остатки

Постановка проблеми. У розвинутих країнах витрати зумовлені тільки наслідками абразивного зношування, складають від 1 до 4% національного продукту [1]. Дослідження механізму абразивного зношування присвячена велика кількість робіт. В лабораторних і експлуатаційних умовах досліджено природу абразивного зношування та вплив багатьох факторів на механізм абразивного зношування, але багато в цьому процесі залишається нез'ясованим. В роботах фундаторів закономірностей абразивного зношування [2, 3, 4], абразивний знос розглядається як найбільш простий вид руйнування поверхневих шарів при терті. Сутність абразивного зношування пояснюється з точки зору фізичної теорії міцності і пластичності металів, теорії різання металів, враховуючи при цьому геометричні

характеристики абразивних частинок та їх розміри [1]. При такому підході не враховується хімічні процеси, що можуть відбуватися на поверхні тертя при абразивному зношуванні.

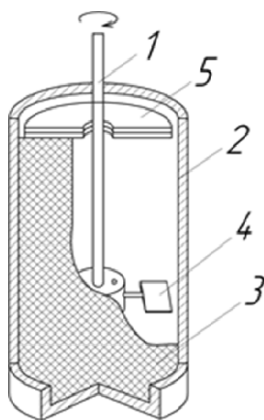
Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанню дослідженню факторів, які впливають на інтенсивність абразивного зношування присвячено велику кількість праць. Як відмічається в роботі [5] абразивне зношування (особливо в його традиційних уявленнях) представлено в американській пресі незрівнянно менше, ніж всі інші види зношування. Така сама тенденція спостерігається і для країн Західної Європи. Всі західні дослідники абразивного зношування в свої роботах посилаються на праці радянських вчених, особливо це стосується ранніх праць Хрущова М.М. [2, 3]. Слід відмітити, що в роботах американських вчених [6, 7] якісно досліджено вплив твердості матеріалу на інтенсивність зношування. В результаті дослідники прийшли до висновку, що твердість не може бути універсальним індикатором зносостійкості матеріалу і необхідно досліджувати структуру матеріалу [6, 7].

В багатьох роботах, як вітчизняних так і зарубіжних вчених, досліджено вплив твердості абразивних частинок [8, 9, 10], розміру абразивних частинок [11, 12, 13, 14] та форми абразивних частинок [9, 10, 15, 16, 17] на інтенсивність зношування. У всіх цих дослідженнях в якості абразиву використовувалась «ідеальний» абразивний матеріал, який за своїми властивостями суттєво відрізняється від реальних умов експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин. Результати даних досліджень дають тільки порівняльні характеристики і не описують реальні процеси в зоні тертя при абразивному зношуванню.

Проведений аналіз вітчизняних та закордонних праць свідчить про недостатнє дослідження факторів, які впливають на інтенсивність зношування деталей при абразивному зношуванні. Переважна більшість дослідників не розглядають впливу хімічних факторів при взаємодії абразивної маси з поверхнею деталей машин, які піддаються абразивному зношуванню. Для робочих органів ґрунтообробних машин це є недопустимою помилкою, оскільки складові ґрунту (рослинні рештки, живі організми, кислоти, органічні сполуки та ін.) можуть призводити до хімічних процесів, які інтенсифікують або уповільнюють процес абразивного зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження впливу рослинних рештків на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин.

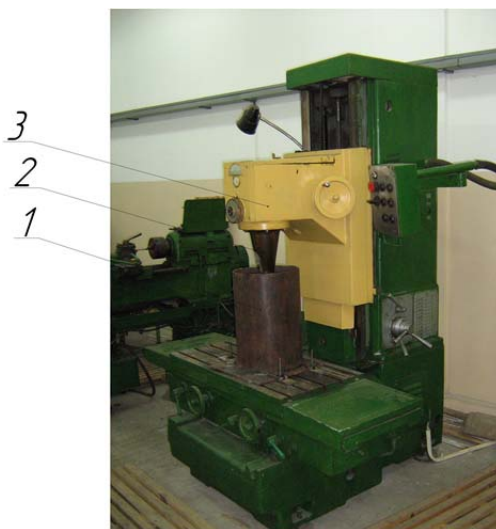
Виклад основного матеріалу. Лабораторні дослідження по впливу рослинних решток на інтенсивність абразивного зношування проводили за удосконаленим способом «крильчатки» (рис. 1).



1 – вал-тримач зразків, 2 – циліндр, 3 – абразивна маса, 4 – зразки, 5 – багатосекційний диск, який створює необхідну густину абразивної маси

Рисунок 1 – Схема випробовування за удосконаленим способом “крильчатки”

Привід установки здійснювали від шпинделя вертикально-розточного верстата 2E78П (рис. 2).



1 – циліндр з абразивною масою, 2 – вал-тримач зразків; 3 – вертикально-розточний верстат 2E78П

Рисунок 2 – Загальний вид установки для випробовування на зносостійкість

Масовий знос зразків визначали на лабораторних вагах CP 34001 S фірми “Sartorius”. Шлях тертя приймали рівним 100 км. На протязі цього шляху зразок контролювався по втраті ваги 5 раз, або через кожні 20 км. Постійними були прийняті наступні фактори: швидкість переміщення – 125,28 м/хв та тиск суміші на зразок 122,6 кПа. В якості робочого середовища застосовували кварцовий пісок розмір фракцій якого складав 50...100 мкм. Коефіцієнт форми абразивних частинок K_f складав 114,18.

Для дослідження використовували сталь 65Г, яка піддавалася об’ємному гартуванню при температурі 810...830 °С і середнім відпуском із дуже точною витримкою при температурі 460...480 °С.

В результаті проведених досліджень отримали результати представлені в табл. 1.

Як бачимо з табл. 1 для більшості сухих рослинних рештків спостерігається зменшення інтенсивності масового зношування на 4...5%, що пояснюється зменшенням абразивності середовища за рахунок наявності рослинних рештків. Для кукурудзи, сої та соняшника навпаки спостерігається несуттєве підвищення інтенсивності зношування на 5...9%.

Для волого матеріалу спостерігається збільшення інтенсивності зношування на 13,5...16%, що можна пояснити виділення амінокислот і амінів з рослинних рештків, які призводять до інтенсифікації хімічних процесів на поверхні тертя. Це твердження підтверджують і результати досліджень з абразивною масою, яка в своєму складі мала рослини до збирання (у фазі колосіння для пшениці та в фазі молочно-воскової стиглості для кукурудзи). Так інтенсивність зношування для пшениці збільшилась на 15,4...18,6%, а для кукурудзи – на 21,5%. Рослини під час зношування виділяли соки (патоку), яка за рахунок амінокислот і амінів інтенсифікувала процес абразивного зношування.

Для підтвердження лабораторних досліджень були проведені експлуатаційні дослідження на двох суміжних ділянках поля по 56 га. Ділянки були розміщені на супіщаних ґрунтах в Овруцькому районі, Житомирської області. Перша ділянка відразу після збирання кукурудзи на силос, друга ділянка чистий пар (поле не оброблялося рік, вносилися гербіциди для недопущення наявності рослинних рештків на поверхні поля). Результати досліджень представлені на рис. 3.

Таблиця 1 – Інтенсивність масового зношування зразків сталі 65Г в абразивній масі

№	Абразивна маса	Вміст рослинних рештків (% від маси)	Інтенсивність масового зношування, I_m г/км
1	Без рослинних решток	0	0,022
Рослинні рештки після збирання сільськогосподарських культур (сухі)			
2	Соя	3	0,022
		6	0,023
3	Соя (плющена)	3	0,021
		6	0,021
4	Пшениця	3	0,022
		6	0,021
5	Ячмінь	3	0,021
		6	0,022
6	Люцерна	3	0,022
		6	0,021
7	Ріпак	3	0,021
		6	0,021
8	Кукурудза	3	0,023
		6	0,022
9	Соняшник	3	0,022
		6	0,023
10	Сіно (лугова трава)	3	0,022
		6	0,021
Рослинні рештки після збирання сільськогосподарських культур (вологі)			
11	Соя (вологість 38%)	3	0,024
		6	0,024
12	Ячмінь (вологість 34%)	3	0,024
		6	0,025
Рослини у різних фазах росту			
13	Пшениця (у фазі колосіння)	3	0,026
		6	0,027
14	Кукурудза (в фазі молочно-воскової стиглості)	3	0,028
		6	0,028

Джерело: розроблено автором

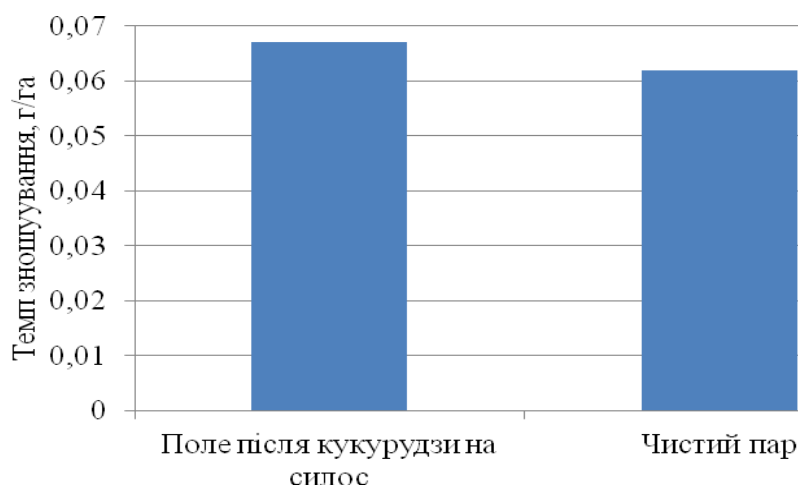


Рисунок 3 – Темп зношування робочих органів дискового агрегату УДА 4,5

Джерело: розроблено автором

В результаті встановлено, що темп масового зношування дискових робочих органів (універсального дискового агрегату УДА 4,5) на полі після збиранні кукурудзи більша на 8% в порівнянні з темпом зношування дискових робочих органів на полі без рослинних рештків.

Результати експлуатаційних досліджень підтверджують лабораторні дослідження, хоча лабораторні дослідження продемонстрували підвищення на 21,5% а експлуатаційні на 8%. Дане відхилення пов'язано з більш високою концентрацією рослинних рештків кукурудзи в абразивній масі при проведенні лабораторних досліджень

Висновки. Процес абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин не можливо розглядати як простий механічний процес, адже при зношуванні в реальному ґрунті хімічний фактор може суттєво прискорювати інтенсивність зношування робочих поверхонь.

Список літератури

1. Tylczak J. H. Abrasive wear. *ASM Handbook. Materials Park, OH, ASM International*. 1992. №18 P. 184-190.
2. Костецкий Б.И. Сопrotивление изнашиванию деталей машин. Москва; Киев : МАШГИЗ, 1959. 478 с.
3. Хрущов М. М., Бабичев М. А. Абразивное изнашивание. Москва : Наука, 1970. 252 с.
4. Хрущов М. М., Бабичев М. А. Исследования изнашивания металов. Москва : АН СССР, 1960. 272 с.
5. Шейман Е. Л. Абразивный износ. Обзор американской печати. *Трение и износ*. 2005. Том 26, №1 С. 100-111.
6. Scandell F., Scandell R. Development of hardfacing material in Fe-Cr-Nb-C system for use under highly abrasive conditions. *Mater. Sci. Technol.* 2004. Vol. 20. P. 92-105.
7. Al-Rubaine K. C. Equivalent hardness concept and two-body abrasion of iron-base alloys. *Wear*. 2000. Vol. 243. №1-2. P. 92-100.
8. Hawk J. A., Wilson R. D., Darks D. R., Catrillar M. T. Abrasive wear failures. *ASM Handbook. Materials Part, OH, ASM International*. 2002. №11. P. 906-921.
9. Тененбаум М. М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин. Москва : Машиностроение, 1966. 332 с.
10. Тененбаум М.М. Сопrotивление абразивному изнашиванию. Москва : Машиностроение, 1976. 271 с.
11. Pintaude G., Sinatora A., Tanaka D. K. The effects of abrasive particle size on the sliding friction coefficient of steel using a spiral pin-on-disk apparatus. *Wear*. 2003. №1. P. 55-59.
12. Gao Y. X., Fan H. A micro-mechanism based analysis for size-dependent indentation hardness. *J. of Materials Science*. 2002. №37. P. 4493-4498.
13. Борак К. В. Підвищення зносостійкості робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь методом електроерозійної обробки: дис. канд. тех. наук: 05.02.04 / Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка. Харків, 2013. 217 с
14. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / М.М. Севернев и др. ; под. ред. М.М. Севернева. Минск : Беларус. наука, 2011. 333 с.
15. Opalka S. M., Hector L. G., Schmid S.R., Reich R.A., Epp J.M. Boundary additive effect on abrasive wear during single asperity plowing of 3004 aluminum alloy. *J. of Tribology*. 1999. №121. P. 384-393.
16. De Pellegrin D. S., Stachowiak G.V. Sharpness of abrasive particles and surfaces. *Wear*. 2004. №6. 614-622.
17. Берштейн Д. Б., Кисетова Н. И., Соркина Е. М., Шеко И. Б. Макрогеометрия и изнашивающая способность почвенных абразивных частиц. *Трение и износ*. 1992. Том 13. №2. С.333-339.

References

1. Tylczak, J.H. (1992). Abrasive wear. *ASM Handbook. Materials Park, OH, ASM International*, 18, 184-190 [in English].
2. Kosteczkiy, B.I. (1959). *Soprotivlenie iznashivaniyu detalej mashin [Resistance to wear of machine parts]*. Moskva; Kiev: MASHGIZ [in Russian].
3. Xrushhov, M.M., & Babichev, M.A. (1970). *Abrazivnoe iznashivanie [Abrasive wear]*. Moskva: Nauka [in Russian].

4. Xrushhov, M.M., & Babichev, M.A. (1960). *Isledovaniya iznashivaniya metalov [Metal wear studies]*. Moskva: AN SSSR [in Russian].
5. Shejman, E.L. (2005). Abrazivny`j iznos. Obzor amerikanskoj pechati [Abrasive wear. Review of the American press]. *Trenie i iznos – Friction and wear, Vol. 26, 1*, 100-111 [in Russian].
6. Scandell F., & Scandell, R. (2004). Development of hardfacing material in Fe-Cr-Nb-C system for use under highly abrasive conditions. *Mater. Sci. Technol, Vol. 20*, 92-105 [in English].
7. Al-Rubaine, K.C. (2000). Equivalent hardness concept and two-body abrasion of iron-base alloys. *Wear, Vol. 243, 1-2*, 92-100 [in English].
8. Hawk J.A., Wilson, R.D., Darks, D.R., & Catrillar, M.T. (2002). Abrasive wear failures. *ASM Handbook. Materials Part, OH, ASM International, 11*, 906-921 [in English].
9. Tenebaum, M.M. (1966). *Iznosostojkost` konstrukcionny`x materialov i detalej mashin [Wear resistance of structural materials and machine parts]*. Moskva : Mashinostroenie [in Russian].
10. Tenenbaum, M.M. (1976). *Soprotivlenie abrazivnomu iznashivaniyu [Abrasion resistance]*. Moskva: Mashinostroenie [in Russian].
11. Pintaude, G., Sinatora, A., & Tanaka, D.K. (2003). The effects of abrasive particle size on the sliding friction coefficient of steel using a spiral pin-on-disk apparatus. *Wear, 1*, 55-59 [in English].
12. Gao, Y.X., & Fan, H. (2002) A micro-mechanism based analysis for size-dependent indentation hardness. *J. of Materials Science, 37*, 4493-4498 [in English].
13. Borak, K.V. (2013). *Pidvysychennia znosostiikosti robochykh orhaniv dyskovykh gruntoobrobnykh znariad metodom elektroeroziinoi obrobky [Improve of wear-resistance of working organs of disk tillage tools by the method of electrical erosive processing]*. *Candidate's thesis*. Kharkiv [in Ukrainian].
14. Severnev, M.M., Podlekarev, N.N., Soxadze, V S., & Kitikov, V.O. (2011). *Iznos i koroziya sel's`koxozyajstvenny`x mashin [Wear and corrosion of agricultural machinery]*. Minsk: Belarus. Navuka [in Russian].
15. Opalka, S.M., Hector, L.G., Schmid, S.R., Reich, R.A., & Epp, J.M. (1999). Boundary additive effect on abrasive wear during single asperity plowing of 3004 aluminum alloy. *J. of Tribology, 121*, 384-393 [in English].
16. De Pellegrin, D.S., & Stachowiak, G.V. (2004). Sharpness of abrasive particles and surfaces. *Wear, 6*, 614-622 [in English].
18. Bershtejn, D.B., Kisetova, N.I., Sorokina, E.M., & Sheko, I.B. (1992). *Makrogiometriya i iznashivayushhaya sposobnost` pochvenny`x abrazivnix chasticz [Macrogometry and the abrasive ability of soil abrasive particles]*. *Trenie i iznos – Friction and wear, 13*, 333-339 [in Russian].

Kostiantyn Borak, PhD tech. sci.

Zhytomyr Agricultural and Technical College, Zhytomyr, Ukraine

Effect of Plant Remains on the Tilling Machine Movable Operating Parts Abrasive Wear Rate

Abrasive wear is one of the most common types of wear accounting for up to 50% of all failures of machine parts. The study of laws governing the process of abrasive wear process is undoubtedly a critical task.

The paper is dedicated to the effect that the chemical factor, in particular the presence of plant remains in the abrasive mass, has on the tilling machine movable operating parts abrasive wear rate.

Laboratory researches were performed with the Impeller technique, while the field tests – with a multipurpose disk tiller UDA-4.5 in the conditions of the Ovruch district of Zhytomyr region (sandy loam soil).

As follows from the study, the ooze of the sap (syrup) leads to an increase of the abrasive wear rate by 13,5...21,5% in the laboratory conditions. As a result, it was found that the rate of mass wear of the disk working bodies (multipurpose disk tiller UDA-4.5) on the field after corn was increased by 8% compared to the rate of wear of the disk working bodies on the field without plant residues.

Results of the field tests confirm those of the laboratory studies, although the latter have demonstrated an increase in the wear rate, which is by 13,5% greater than got upon the field tests. Such a deviation is conditioned by a higher concentration of the corn crop remains in the abrasive mass during laboratory testing. Abrasive wear of the tilling machine movable operating parts may not be identified as a simple mechanical process, as the working surface wear rate may be significantly increased by the chemical factor when subject to wear in the real soil.

movable operating parts, tilling machines, abrasive wear, soil, plant remains

Одержано (Received) 05.02.2020

Прорецензовано (Reviewed) 17.02.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 620.179.112

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).102-107](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).102-107)

О.Д. Деркач, доц., канд. техн. наук, О.С. Кабат, доц., канд. техн. наук,
Д.О. Макаренко, канд. техн. наук, Б.Г. Харченко, доц., канд. техн. наук

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна
e-mail: flymakd@gmail.com*

Обґрунтування полімерних матеріалів для використання у конструкціях плугів

Викладені результати лабораторних досліджень та визначення приналежності матеріалу “TEKRONE” до групи полімерів. Проведені дослідження фізико-механічних властивостей матеріалу: щільність, теплостійкість, границя міцності. Встановлено, що полімерно-композитний матеріал під торговою маркою TEKRONE за своїми властивостями відповідає матеріалам на основі поліетиленів. Визначено, що найближчими за властивостями є поліетилен марки PE 500 і PE 1000.

полімери, полімерні композиційні матеріали, щільність, теплостійкість, границя міцності, відвали лемішних плугів

А.Д. Деркач, доц., канд. техн. наук, О.С. Кабат, доц., канд. техн. наук, Д.А. Макаренко, канд. техн. наук, Б.Г. Харченко, доц., канд. техн. наук

Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, г. Днепр, Украина

Обоснование полимерных материалов для использования в конструкциях плугов

Изложенные результаты лабораторных исследований и определения принадлежности материала “TEKRONE” к группе полимеров. Проведенные исследования физико-механических свойств материала: плотность, теплостойкость, предел прочности. Установлено, что полимерно-композитный материал под торговой маркой “TEKRONE” по своим свойствам соответствует материалам на основе полиэтиленов. Определено, что ближайшими по свойствам являются полиэтилены марки PE 500 и PE 1000.

полимеры, полимерные композиционные материалы, плотность, теплостойкость, предел прочности, отвалы лемешных плугов

Постановка проблеми. Однією з важливих задач технічного забезпечення агропромислового комплексу України є поліпшення експлуатаційних властивостей сільськогосподарської техніки за рахунок підвищення надійності. У відповідності до принципів, розроблених Європейською комісією по ключових технологіях (European Commission Key Enabling Technologies (KETs)) створення нових матеріалів є найбільш пріоритетним і актуальним завдань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одними із найбільш перспективних матеріалів є полімери та полімерні композиційні матеріали (ПКМ) на їх основі [1-3]. Завдяки своїм унікальним властивостям вони знайшли широке використання практично у всіх сферах життєдіяльності людини та є “матеріалами майбутнього”, з яких вже на сучасному етапі розвитку отримують широку номенклатуру виробів, починаючи з посуду і закінчуючи елементами ракет [4, 5].

Машинобудування, у тому числі сільськогосподарське, сьогодні інтенсивно впроваджує інноваційні рішення. Відомі результати досліджень, в тому числі з використанням полімерних матеріалів і технологічних заходів, щодо підвищення надійності та довговічності ґрунтообробних машин [6, 7]. Машини і механізми, які використовуються для обробки ґрунтів, оснащуються деталями та вузлами з полімерів та ПКМ на їх основі, що дозволяє підвищити їх надійність та довговічність, сприяє

більш якісної та злагодженої роботи і відповідно призводить до збільшення кількості врожаю, що збирається та зменшує його собівартість. Одним із таких деталей є відвали лемішних плугів. Відомий позитивний досвід вирішення проблеми застосування ПКМ в сільськогосподарському машинобудуванні [8-10].

В теперішній час в Україні виробляють відвали плугів із ПКМ марки "TEKRONE". Ці відвали є надійними та довговічними деталями, які при належній експлуатації можуть працювати та у повному обсязі виконувати свої функції впродовж тривалого періоду. Однак, цей матеріал виробляється в Європі і є засекреченим для вітчизняних машинобудівників.

Тому актуальним завданням є модернізація відвалу плугу з ПКМ з метою його здешевлення. Це можливо за рахунок обґрунтування такого ПКМ, який за рівнем властивостей не поступається композиту марки "TEKRONE" і коштує значно дешевше.

Постановка завдання. Мета роботи полягає у дослідженні та визначенні приналежності матеріалу "TEKRONE" до групи полімерів. Для цього необхідно провести дослідження фізико-механічних властивостей матеріалу: щільність, теплостійкість, границя міцності.

Методики досліджень. *Визначення природи полімеру* (приналежність до термопластів чи реактопластів). Термопласти – полімери, що піддаються повторній переробці і можуть перероблятися декілька разів із незначними змінами властивостей. Реактопласти – це полімери, що не здатні до повторних переробок. За спроби їх нагрівання повторного вони обвуглюються і згорають.

Розпізнавання полімерів за характером поведінки при нагріванні і горінні є досить простим, і в той же час досить точним методом якісного визначення природи полімерів. Метод заснований на візуальному спостереженні за поведінкою зразка при внесенні його в верхню частину полум'я. У міру нагрівання зразки термопластів поступово розм'якшуються і плавляться, а реактопласти не розм'якшуються і не плавляться. Тому по відношенню до нагрівання можна визначити клас полімерів (термопласти чи реактопласти)

Зразок слід внести в полум'я сірника, запальнички або пальника і провести спостереження за нагріванням, розм'якшенням і загорянням полімерного матеріалу. При загорянні зразка, його необхідно видалити з полум'я пальника; якщо він плавиться і зменшується, витримати в вогні до займання.

Нагрівання дослідного зразка (ПКМ марки "TEKRONE") проводиться за температури навколишнього середовища 22°C та вологості 35 - 40%.

Піролітичне розкладання. Вміст неорганічних наповнювачів в дослідних зразках із ПКМ марки "TEKRONE" встановлювали методом піролітичного розкладання при обробці їх у муфельній печі при нагріванні до температури 1000°C (швидкість нагрівання 5°C за хвилину) та витримки при цій температурі впродовж 2 годин. Визначається кількість неорганічного наповнювача, який залишився після піролітичного розкладання органічної основи (полімеру).

Зразок зважується до проведення експерименту та після піролітичного розкладання, яке відбувається при температурі 1000°C впродовж 2 годин. Більшість ПКМ складається із органічної основи (полімеру) та неорганічного наповнювача. При піролітичному розкладанні менш термостійка основа деструктує до низькомолекулярних продуктів, які виводяться із повітрям у атмосферу, а більш термостійкий неорганічний наповнювач залишається. Після проведення піролітичного розкладання знаходять його відсоток по масі. Цей відсоток і відповідає кількості неорганічного наповнювача у ПКМ.

Визначення щільності. Дослідження щільності зразків із ПКМ марки "TEKRONE" проводяться методом гідростатичного зважування у водному середовищі згідно ГОСТ 15139-69. Зразок, підвішений до коромисла аналітичних терезів, послідовно зважується у повітрі та у дистильованій воді за температури 293 К з

точністю не нижче 0,0001 г. Щільність розраховується за відношенням маси зразка у повітрі до різниці мас у повітрі й у воді. Середнє арифметичне значення щільності, отримане в результаті не менше, як трьох вимірів, що відрізняються не більше ніж на 1 %, приймається за остаточний результат.

Щільність знаходиться за формулою:

$$\rho_T = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

де m – маса тіла, кг;

V – об'єм тіла, м³.

Маса тіла визначається за допомогою аналітичних терезів. Об'єм тіла можна визначити, вимірявши його геометричні параметри, але для наукових досліджень цей метод не застосовується, бо приводить до значної похибки кінцевого результату. Зменшити похибку дозволяє метод гідростатичного зважування, який полягає в наступному.

Досліджуване тіло підвішується за допомогою тонкої дротини або рибальської волосіні до шальки терезів і зважується. Зважування дасть вагу тіла в повітрі $P_1 = m_1g$. Якщо нехтувати виштовхувальною силою, що діє на тіло і на важки з боку повітря, то маса важків дорівнюватиме масі тіла: $m_1 = m$. Потім тіло занурюється у дистильовану воду, густина якої ρ_0 , і знову зрівноважуються терези. Це зважування дає вагу тіла у воді P_2 :

$$P_2 = mg - F_A, \quad (2)$$

З іншого боку:

$$P_2 = m_2g, \quad (3)$$

де m_2 – маса гирьок при зважуванні.

$$F_A = \rho_0 Vg, \quad (4)$$

де V – об'єм тіла.

Тоді, можна прирівняти:

$$m_2g = m_1g - \rho_0 Vg. \quad (5)$$

Оскільки:

$$V = \frac{m}{\rho_T}, \quad (6)$$

то можемо записати:

$$m_2g = m_1g - \rho_0 \frac{m}{\rho_T} g. \quad (7)$$

Після перетворень одержимо кінцеву формулу, за якою знайдемо щільність шуканого матеріалу:

$$\rho_T = \rho_0 \frac{m}{m_1 - m_2}. \quad (8)$$

Температура розм'якшення за Віка визначається на приладі ПТБ-І-П Ж у рідинному середовищі згідно ГОСТ 15088-83. Для випробувань виготовляються зразки розміром 4×6×50 мм. Реєстрація результатів здійснюється за допомогою потенціометрів. Готові зразки занурюються у силіконове мастило марки ПМФС-4 у випробувальну камеру на спеціально встановлені опори. По центру зразка прикладали навантаження 5,025 кг, після чого фіксується прогин зразка індикаторами годинникового типу. Нагрівання рідини здійснюється зі швидкістю 120°C/год. Протягом нагрівання рідини зразок розм'якшувався і прогинався. У момент прогину зразка, що дорівнює 1 мм від початкового стану дослідження припиняється і реєструється температура рідини. Зафіксована температура і є температурою

розм'якшення за Віка. Випробовування проводяться одночасно трьох зразків, результати реєструються по трьох незалежних одне від одного каналах.

Теплостійкість зразків із ПКМ марки “TEKRONE” визначається за методом Віка. Встановлено, що вона має значення до 95°C, що відповідає інтервалу теплостійкості для поліетиленів від 80 до 105°C (в залежності від марки полімеру).

Дослідження границі міцності здійснювали на випробовувальній машині FP-100, згідно ГОСТ 4651-82. Для дослідження границі міцності при стисканні використовували зразки діаметром 10 і висотою 15 мм і застосовували відповідне приладдя. При цьому опорні площини зразків повинні бути паралельні в межах 0,1 % у напрямку, перпендикулярному прикладанню навантаження. Реєстрація процесу руйнування зразка здійснюється самописцем на спеціальному бланку.

Границя міцності при стисканні σ_p розраховується за формулою:

$$\sigma_p = P/F, \quad (9)$$

де P – тиск, МПа;

F – мінімальна площа поперечного перерізу зразка, мм²;

$$F = \pi d^2/4, \quad (10)$$

d – діаметр зразка, мм.

Підставляючи формулу (10) в (9) маємо:

$$\sigma_p = P/(\pi d^2/4), \quad (11)$$

Відносна деформація при стисканні ε розраховується за формулою:

$$\varepsilon = \Delta h_{p.c} \cdot 100/h_0, \quad (12)$$

де $\Delta h_{p.c}$ – величина зменшення висоти зразка при руйнуванні, мм;

h_0 – початкова висота зразка, мм.

Результати лабораторних досліджень. *Визначення природи полімеру.* Встановлено, що при нагріванні над відкритим полум'ям спостерігається розм'якшення полімеру з наступним плавленням. Обвуглення, деструкція в твердому стані – відсутня. Така поведінка є характерною для термопластичних полімерів. Отже, матеріал TEKRONE є термопластом.

Піролітичне розкладання. Встановлено, що після проведення піролітичного розкладання залишається 0,5...0,7% ваг. від початкової ваги зразка. Тобто вміст неорганічного наповнювача у полімері складає 0,5...0,7% ваг. У більшості ПКМ такий вміст наповнювача свідчить про те, що він виконує роль пігменту, який вводиться у полімер для придання необхідного кольору (у даному випадку чорного). З великою вірогідністю можна стверджувати, що в якості пігменту чорного кольору був використаний дрібнодисперсний вуглець (сажа, чернь, відходи хімічного виробництва тощо).

Визначення щільності. Встановлено, що густина ПКМ TEKRONE складає 954 кг/м³. Значення цього параметру співпадає із густиною поліетилену, яка в залежності від марки змінюється в межах від 910 до 980 кг/м³.

Напруження границі міцності при стисканні досліджуваних зразків ПКМ марки “TEKRONE” складає 17,9 МПа, що є дуже близьким до значень поліетилену (14,8-17,0 МПа).

Результати досліджень показали, що ПКМ марки “TEKRONE” – це матеріал на основі термопластичного полімеру із вмістом чорного пігменту 0,5...0,7% ваг. За своїми фізико-механічними та теплофізичними властивостями цей матеріал більше всього наближений до поліетилену, що дозволяє стверджувати, що в якості полімерної основи ПКМ марки “TEKRONE” виступає саме цей полімер. Виходячи з проведених досліджень, в якості аналога ПКМ марки “TEKRONE”, необхідно вибирати матеріали на основі поліетилену, які присутні на ринку України. Досить розповсюдженим матеріалом, що імпортується багатьма компаніями (у тому числі, можливо і

продавцями пластикових відвалів) є поліетилен PE 500 та PE 1000. Порівняльні властивості поліетиленів та TEKRONE наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Фізико-механічні та теплофізичні властивості поліетиленів марок PE 500 та PE 1000

№ з/п	Параметр	Марка полімеру		
		PE 500	PE 1000	TEKRONE
1	Густина, кг/м ³	960	930	954
2	Напруження границі текучості при стисканні, МПа	24	19	17,9
3	Теплостійкість по Віка, °С	80	80	95

З результатів приведених в таблиці можна зробити висновок, що матеріали на основі поліетилену PE 500 та PE 1000 за своїми властивостями знаходяться на рівні з незначним перевищенням ПКМ марки “TEKRONE”. Тобто відвали плугів з матеріалів PE 500 та PE 1000 за своїми характеристиками не будуть поступатися аналогічним деталям із ПКМ марки “TEKRONE”. Проводячи аналіз ринку із продажу даних матеріалів можна зробити висновок, що матеріали PE 500 та PE 1000 у 2...3 разів дешевші ніж ПКМ марки “TEKRONE” і відповідно до цього виробити з них теж можуть бути або дешевші, або рентабельність виробництва вища. Слід відзначити, що матеріал PE 500 на 20% дешевший ніж PE 1000.

Висновки. Лабораторними дослідженнями встановлено, що полімерно-композитний матеріал під торговою маркою TEKRONE за своїми властивостями відповідає матеріалам на основі поліетиленів. Визначено, що найближчими за властивостями є поліетилен марки PE-500 і PE-1000. Обвуглення, деструкція в твердому стані – відсутня. Отже, матеріал TEKRONE є термопластом. Після проведення піролітичного розкладення залишається 0,5...0,7% від початкової ваги зразка. Такий залишок характерний для пігменту, що використовується для забарвлення матеріалів.

Таким чином, доцільно рекомендувати до використання поліетилен марки PE-500 і PE-1000 в якості основи для виготовлення відвалів лемішних плугів типу ПЛН.

Список літератури

1. Klymenko A., Sytar V., Kolesnyk Ie. Adhesion of poly(m-, p-phenylene isophthalamide) coatings to metal substrates. *Progress in Organic Coatings*, 2014, vol. 77, 11, pp. 1597-1602. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.04.028>;
2. Ashby M.F., Jones D.R.H. *Engineering materials 1. An introduction to their properties and applications*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002. 306 p. URL: <https://epdf.pub/engineering-materials.html> (дата звернення: 21.05.2020)
3. Kabat O., Sytar V., Sukhyu K. Antifrictional polymer composites based on aromatic polyamide and carbon black. *Chemistry & Chemical Technology*, 2018. 12 (in press).
4. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин. Москва: МАДИ. 2016. 254 с.
5. Михайлин Ю. А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. Санкт-Петербург : Научные основы и технологии, 2013. 715 с
6. Аулін В.В., Тихий А.А. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами: монографія. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2017. 279 с.
7. Aulin V.V. Chernovol M.I., Pankov A.O., Zamota T.M., Panayotov K.K. Sowing machines and systems based on the elements of fluidics / *INMATEH – Agricultural Engineering*, Vol. 53, no.3. 2017. P. 21-28.
8. Деркач, О.Д. Проблеми впровадження окремих груп полімерних композитів у конструкцію сільськогосподарської техніки. *Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів ТАСХ-2018*: зб. тез допов. II Всеукр. наук. конф., Дніпро, 10 квітня, 2018 р. С. 16-17

9. Кузнецова О.Ю. Розробка фулеренвмісних композитних матеріалів на основі фенілолу для деталей конструкційного призначення: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.02.01. Луцьк, 2013. 23с.
10. Derkach O., Makarenko D., Velyka M., Shapoval O. Development of high accuracy of the copy soil system *International Scientific Journal. – Mechanization in agriculture & Conserving of the resources. – Year LXIII, Issue 5 2017. Sofia. 2017. P. 185-187.*

References

1. Klymenko, A., Sytar, V. & Kolesnyk, Ie. (2014). Adhesion of poly(m-, p-phenylene isophthalamide) coatings to metal substrates. *Progress in Organic Coatings, Vol. 77, 11, 1597-1602.* <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.04.028> [in English].
2. Ashby, M.F. & Jones, D.R.H. (2002). Engineering materials 1. An introduction to their properties and applications. Butterworth-Heinemann, Oxford. *epdf.pub*. Retrieved from <https://epdf.pub/engineering-materials.html> [in English].
3. Kabat, O., Sytar, V. & Sukhyy, K. (2018). Antifrictional polymer composites based on aromatic polyamide and carbon black. *Chemistry & Chemical Technology, 12* (in press) [in English].
4. Baurova, N.I., Zorin, V.A. (2016). *Primenenie polimernykh kompozitsionnykh materialov pri proizvodstve i remonte mashin. [The use of polymer composite materials in the manufacture and repair of machines]*. Moscow: MADI [in Russian].
5. Mihaylin, Yu.A. (2013). *Voloknistyye polimernyye kompozitsionnyye materialy v tehnikе. [Fibrous polymer composite materials in engineering. Scientific fundamentals and technologies]*. Sankt-Peterburg: Nauchnyye osnovyy i tehnologii [in Russian].
6. Aulin, V.V. & Tykhyi, A.A. (2017). *Trybofizychni osnovy pidvyshchennia znosostiikosti i nadiinosti robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn z rizalnymy elementamy [Tribophysical bases of increase of wear resistance and reliability of working bodies of tillage machines with cutting elements]*. Kropyvnytskyi: Lysenko V.F. [in Ukrainian].
7. Aulin, V.V., Chernovol, M.I., Pankov, A.O., Zamota, T.M. & Panayotov, K.K. (2017). Sowing machines and systems based on the elements of fluidics. *INMATEH – Agricultural Engineering, Vol. 53, 3, 21-28* [in English].
8. Derkach, O.D., Makarenko, D.O., Litvintseva, Yu.O. & Derkach, V.D. (2018). Upgrading of machines for surface tillage (for cultivators). *Geo-Technical Mechanics. 138, 260-270* [in English].
9. Kuznetsova, O.Yu. (2013). *Rozrobka fullerenvmisnykh kompozytnykh materialiv na osnovi fenilonu dlia detalei konstruktsiinoho pryznachennia [Development of fullerene-containing composite materials based on phenylene for structural parts]*. *Extended abstract of candidate's thesis*. Lutsk [in Ukrainian].
10. Derkach, O., Makarenko, D., Velyka, M. & Shapoval, O. (2017). Development of high accuracy of the copy soil system *International Scientific Journal. – Mechanization in agriculture & Conserving of the resources. – Year LXIII, Issue 5, 185-187* [in English].

Oleksii Derkach, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleh Kabat**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Makarenko**, PhD tech. sci., **Borys Kharchenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Substantiation of Polymer Materials for the Use in Plow Constructions

The purpose of the work is to study and determine material "TEKRONE" belonging to the group of polymers, substantiate such a polymer composite material (PCM) in the modernization of the plow blade, which is not inferior to the "TEKRONE" composite and is much cheaper. This requires the study of the physical and mechanical properties of the material.

The following studies of the physical and mechanical properties of the "TEKRONE" material have been conducted: density, heat endurance, and tensile strength. It has been found out that when heated over an open flame, the polymer softens with subsequent melting. There is no charring, destruction in the solid state. Therefore, the TEKRONE material is a thermoplastic. After pyrolytic decomposition 0.5... 0.7% of the initial sample weight remains. PCM TEKRONE density is 954 kg/m³. The value of this parameter coincides with the polyethylene density, which, depending on the brand, varies from 910 to 980 kg/m³. The tensile strength stress of the investigated samples of PCM TEKRONE is 17.9 MPa, which is very close to the values of polyethylene (14.8-17.0 MPa).

The laboratory studies have shown that TEKRONE polymer-composite material in its properties corresponds to the materials based on polyethylene. It is determined that the closest in properties are PE 500 and PE 1000 polyethylene. It is advisable to recommend the use of PE 500 and PE 1000 polyethylene as a basis for the manufacture of plow blade of PLN type.

polymers, polymer composite materials, density, heat resistance, tensile strength, mouldboard

Одержано (Received) 13.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 17.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.746.43

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).108-117](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).108-117)

С.В. Конончук, доц., канд. техн. наук, **О.В. Скрипник**, доц., канд. техн. наук,
В.В. Свяцький, доц., канд. техн. наук, **В.В. Пукалов**, доц., канд. техн. наук
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,
Україна*
*e-mail: kononchuk_s@ukr.net, skripnik1966@ukr.net, svv_iamph@ukr.net,
pukalovvictor@gmail.com*

Дослідження впливу конструкції шлаковловлювача на ефективність затримки шлаку в середовищі параметричного моделювання SolidWorks Flow Simulation

В статті досліджено вплив конструкції шлаковловлювача на ефективність затримки шлаку. В САЕ-модулі параметричного моделювання SolidWorks Flow Simulation підтверджено можливість зменшення швидкості руху розплаву за рахунок використання шлаковловлювача з гальмуючими ребрами. Запропоновано оригінальну конструкцію ребристого шлаковловлювача, яка забезпечує вловлювання шлаків та плавне заповнення форми сплавом за рахунок зниження швидкості руху розплаву без додаткових витрат металу. Встановлено, що швидкість потоку по висоті перерізу запропонованого ребристого шлаковловлювача менша на 0,028 м/с або 14,5 % у порівнянні з традиційним. З використанням надрукованого на 3D принтері ребристого шлаковловлювача була виготовлена ливарна форма, яка показала задовільну формувальну здатність.

шлаковловлювач, шлакова раковина, шлакове включення, швидкість спливання, ливниково-живильна система, 3D-модель, витрата металу, піщано-глиниста суміш, формувальна здатність

С.В. Конончук, доц., канд. техн. наук, **О.В. Скрипник**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Свяцький**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Пукалов**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Исследование влияния конструкции шлакоуловителя на эффективность задержки шлака в среде параметрического моделирования SolidWorks Flow Simulation

В статье исследовано влияние конструкции шлакоуловителя на эффективность задержки шлака. В САЕ-модуле параметрического моделирования SolidWorks Flow Simulation подтверждена возможность уменьшения скорости движения расплава за счет использования шлакоуловителя с тормозящими ребрами. Предложена оригинальная конструкция ребристого шлакоуловителя, которая обеспечивает улавливание шлаков и плавное заполнение формы сплавом за счет снижения скорости движения расплава без дополнительных затрат металла. Установлено, что скорость потока по высоте сечения предложенного ребристого шлакоуловителя меньше на 0,028 м/с или 14,5 % по сравнению с традиционным. С использованием напечатанного на 3D принтере ребристого шлакоуловителя была изготовлена литейная форма, которая показала удовлетворительную формовочную способность.

шлакоуловитель, шлаковая раковина, шлаковое включение, скорость течения, литниково-питающая система, 3D-модель, расход металла, песчано-глинистая смесь, формовочная способность

Постановка проблеми. Найбільш поширеною технологією виготовлення металевих деталей і заготовок є лиття. Високотехнологічні галузі машинобудування потребують виготовлення якісних виливків складної конфігурації з сучасних сплавів із заданим хімічним складом та механічними властивостями. Важливу роль у формуванні якості виливків відіграє ливниково-живильна система (ЛЖС). Поширеними технологічними заходами боротьби з шлаковими включеннями є підготовка металу

перед заливкою (рафінування і дегазація, вистоювання для спливання шлаку, видалення шлаку, застосування чистих, не окислених матеріалів), спокійне безперервне заливання металу та правильно спроектована ЛЖС, особливо, такий важливий її елемент, як шлаковловлювач. Тому дослідження впливу конструкції елементів ЛЖС на якість литва є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання шлаковловлювачів дозволяє відокремити розплав від шлаків внаслідок різниці їх густини. ЛЖС повинна бути побудована таким чином, щоб частки шлаків, що попадають разом з металом з ковша, і великі частки формувальної суміші, що відділяються від стінок її каналів, були затримані та не потрапили в порожнину форми.

Для зменшення швидкості руху розплаву на виході з живильників використовують, гальмуючі елементи, дроселі, ступінчасті, зубчасті, відцентрові шлаковловлювачі, дощові, сифонні, ярусні ЛЖС, тощо [1].

Найпоширеніше застосування наступних ливникових систем: гальмуючих [2], у яких ливниковий хід складається із двох або більше колін, що розташовуються в різних половинах форми й спрямованих під кутом один до одного (рис. 1, а); дросельних [3], у яких між стояком і живильником передбачаються вузькі щілиноподібні канали, що забезпечують спокійний вхід металу у форму (рис. 1, б); з примусовим заповненням шлаковловлювача [1], у яких сплав не може потрапити в форму, не заповнивши попередньо поперечний переріз шлаковловлювача (рис. 1, в, г); з відцентровими шлаковловлювачами [1], у яких метал подається по дотичній у периферійну частину круглої бобишки і далі витікає також по дотичній, причому площа перерізу відповідного каналу менше, ніж у підвідного (рис. 1, д); з фільтрувальними сітками [1] з кераміки, металеві або з вогнетривкої тканини (рис. 1, е).

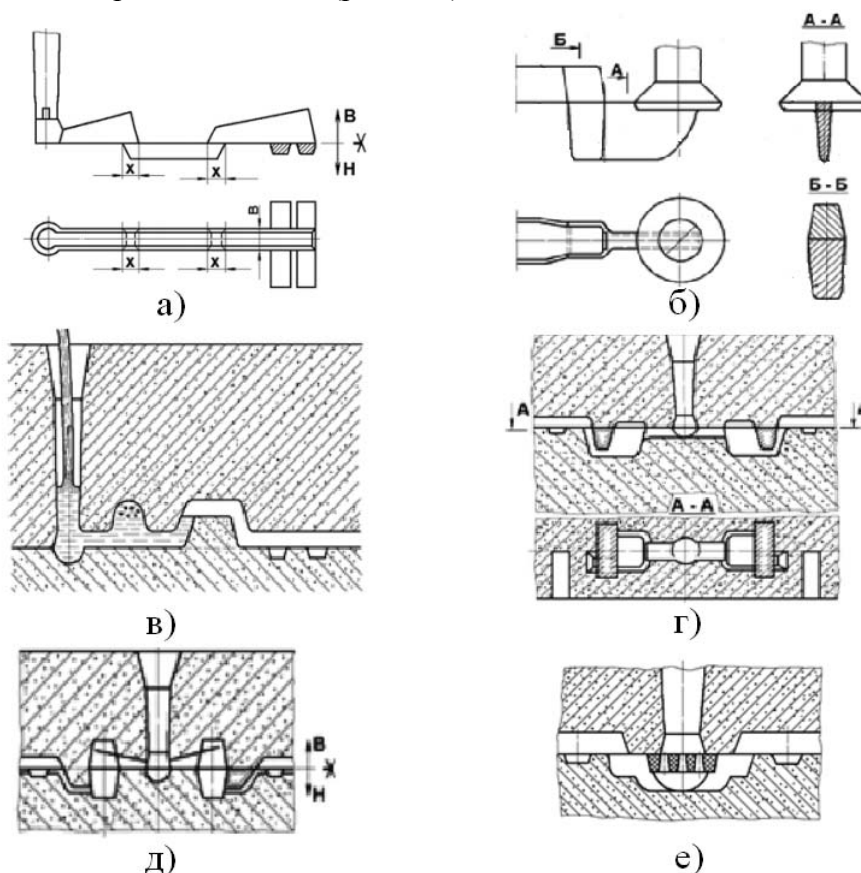


Рисунок 1 – Схеми ливникових систем: а) – гальмуюча; б) – дросельна; в), г) – з примусовим заповненням шлаковловлювача; д) – з відцентровим шлаковловлювачем; е) – з фільтрувальною сіткою
Джерело: [1, 2, 3]

При русі сплаву по шлаковловлювачу зважена частка шлаків спливе нагору. Для забезпечення спливання шлаку необхідно, щоб ця частка спливла до верхньої поверхні шлаковловлювача, не доходячи з потоком сплаву до першого живильника. Виходячи із цього для визначення довжини шлаковловлювача до першого живильника $l_{ш}$ можна використовувати наступну формулу [4]:

$$l_{ш} = 1,2h_{ш} \cdot V_{ш} / V_{ч}, \quad (1)$$

де $h_{ш}$ – висота шлаковловлювача;

$V_{ш}$ – швидкість сплаву в шлаковловлювачі;

$V_{ч}$ – швидкість спливання шлакової частки.

Згідно з [5] довжина шлаковловлювача до першого живильника також прямо пропорційна швидкості потоку металу.

Проте, проведення експериментальних досліджень при варіюванні конструкції шлаковловлювача призводить до зростання кількості натурних експериментів, враховуючи їх складність, обмежене великими труднощами. З іншого боку, комп'ютерне моделювання потоку в каналах ЛЖС дозволяє дослідити вплив конструкції шлаковловлювача на швидкість потоку розплаву в ливниках ще на етапі проектування і значно скоротити витрати на впровадження у виробництво нових виливків.

Постановка завдання. Таким чином, метою даної роботи є розробка конструкції шлаковловлювача, який забезпечує надійне вловлювання шлаків, зниження швидкості руху розплаву в ливниках та плавне заповнення форми без додаткових витрат металу на основі дослідження впливу конструкції шлаковловлювача на швидкість розплаву в середовищі параметричного моделювання SolidWorks Flow Simulation.

Виклад основного матеріалу. Для досягнення вказаної мети запропоновано оригінальну конструкцію ребристого шлаковловлювача (рис. 2)

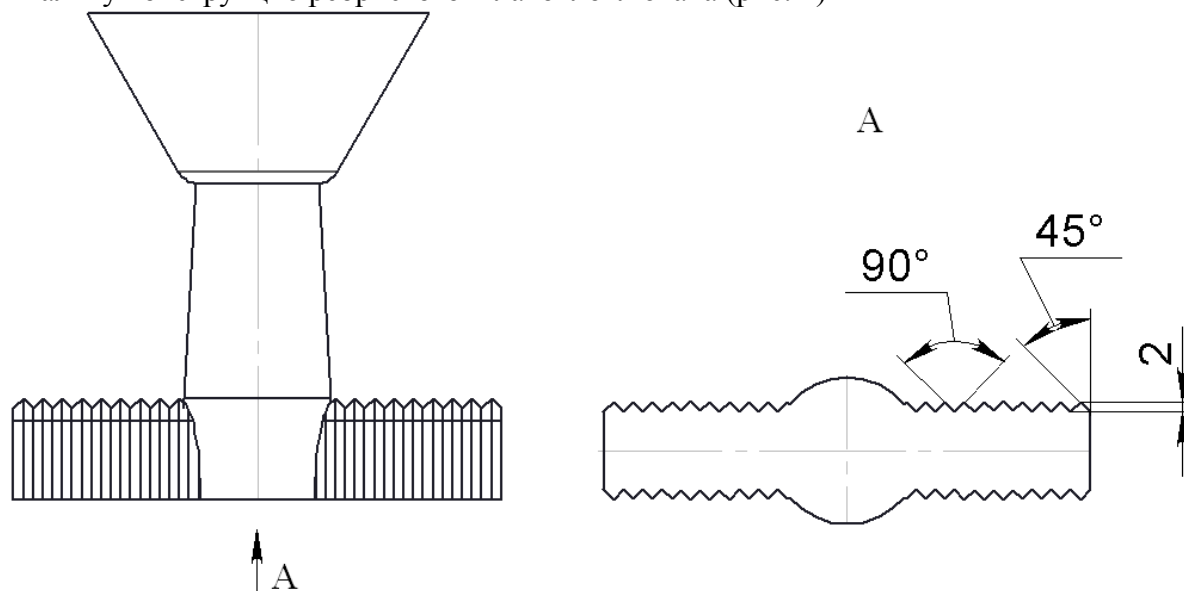


Рисунок 2 – Ребристий шлаковловлювач

Джерело: розроблено авторами

В запропонованій конструкції на бокових і верхній поверхнях трапецевидного шлаковловлювача з однаковим кроком нанесені ребра. Ребриста поверхня при заливці створює додатковий опір руху металу, гальмуючи його. Навколо стінок каналу шлаковловлювача утворюється область з низькою швидкістю руху розплаву. Величина даної області визначається висотою ребер.

Порівняльний аналіз ефективності ребристого шлаковловлювача у порівнянні з традиційним здійснювали в середовищі параметричного моделювання SolidWorks Flow Simulation [6].

Flow Simulation є програмним забезпеченням, повністю інтегрованим в SolidWorks. Flow Simulation дозволяє розраховувати рух текучих середовищ (газу або рідини) всередині моделей SolidWorks, досліджувати обтікання моделей SolidWorks потоком текучого середовища, вирішувати задачі теплообміну за рахунок конвекції і випромінювання, а також проводити розрахунок теплопровідності в твердих тілах. Розрахунки здійснюються методами обчислювальної гідродинаміки, що забезпечує високу ступінь достовірності отриманих результатів. Характерною особливістю Flow Simulation є інтуїтивно зрозумілий і зручний інтерфейс, який включає в себе: препроцесор для введення початкових даних, необхідних для розрахунку (в тому числі, інженерну базу даних з властивостями різних речовин); монітор для спостереження і контролю за розрахунком; постпроцесор для перегляду отриманих результатів [6].

Таким чином, у нас є можливість моделювання руху течії розплаву всередині каналів шлаковловлювачів різних конструкцій та порівняння отриманих результатів.

Спочатку необхідно спроектувати 3D-моделі досліджуваних ЛЖС (рис. 3 – 4).

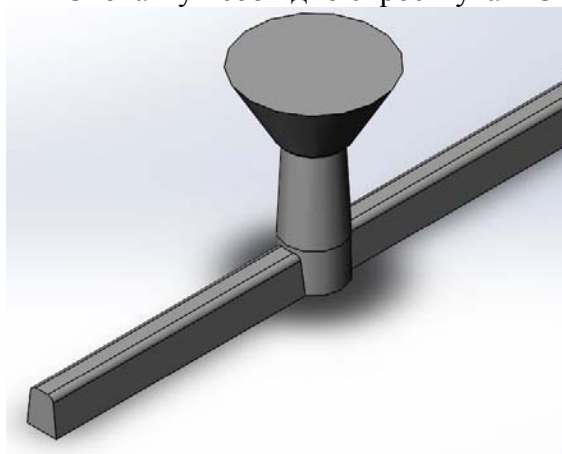


Рисунок 3 – 3D-модель ЛЖС з традиційним шлаковловлювачем

Джерело: розроблено авторами

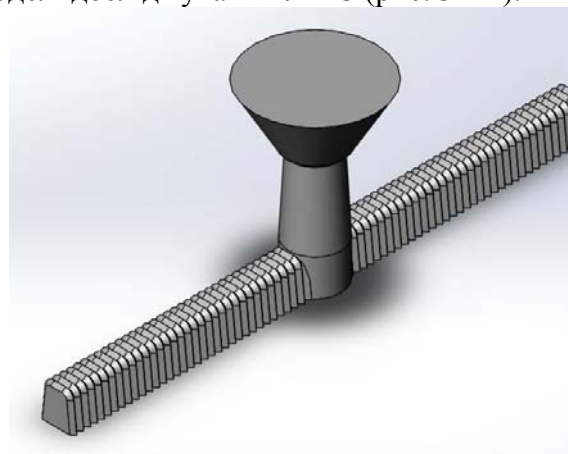


Рисунок 4 – 3D-модель ЛЖС з ребристим шлаковловлювачем

Джерело: розроблено авторами

За допомогою інструмента «Масові характеристики» визначаємо масу розроблених 3D-моделей. Маса ЛЖС з традиційним шлаковловлювачем складає $m_{ш.т} = 1,3284$ кг; маса ЛЖС з ребристим шлаковловлювачем складає $m_{ш.р} = 1,4265$ кг. Таким чином ребристий шлаковловлювач однакової довжини важчий за традиційний на $1,4265 - 1,3284 = 0,0981$ кг, або $(1,4265 - 1,3284) \cdot 100\% / 1,4265 = 6,88\%$.

Далі необхідно задати розрахункову область, яка являє собою простір, в якому проводяться розрахунки течії. При створенні проекту за допомогою майстра проекту, Flow Simulation автоматично генерує розрахункову область, що обмежена стінками моделі. Розрахункова область будується як для тривимірних, так і для двовимірних задач. У внутрішніх задачах границі розрахункової області охоплюють всю модель, тобто області текучого середовища і стінки моделі.

Далі необхідно задати загальні параметри, параметри рідини, початкові і граничні умови, умови на стінках.

В якості граничних умов на вході в ЛЖС на верхній площині ливникової воронки задаємо масову витрату металу. Ця величина визначається відношенням маси металу, що поступає через шлаковловлювач G_m до часу $\tau_{онт}$ заливки форми: $M = G_m / \tau_{онт} = 2,42 \cdot 2 / 5,4 = 0,9$ кг/с.

В якості граничних умов на виході з ЛЖС на зовнішніх торцевих поверхнях шлаковловлювача задаємо параметри навколишнього середовища : тиск $p = 101325$ Па; температура $T = 293,15$ К.

Далі натискаємо кнопку «Запустити» і програма Flow Simulation автоматично створює розрахункову сітку і здійснює розрахунок. За необхідності можна відкоригувати та настроїти розрахункову сітку, задати точність.

Після завершення розрахунків з'являється можливість вивести результати розрахунку зміни параметрів на розрахунковій сітці, в окремих вибраних точках розрахункової області, поверхневі параметри, об'ємні параметри, ізоповерхні параметрів, траєкторії руху як усього потоку рідини, так і окремих його часток.

Нас цікавлять траєкторії потоку розплаву в каналах звичайного і ребристого шлаковловлювачів, а також зміна середньої швидкості потоку і зміна швидкості по перерізу шлаковловлювача (рис 5).

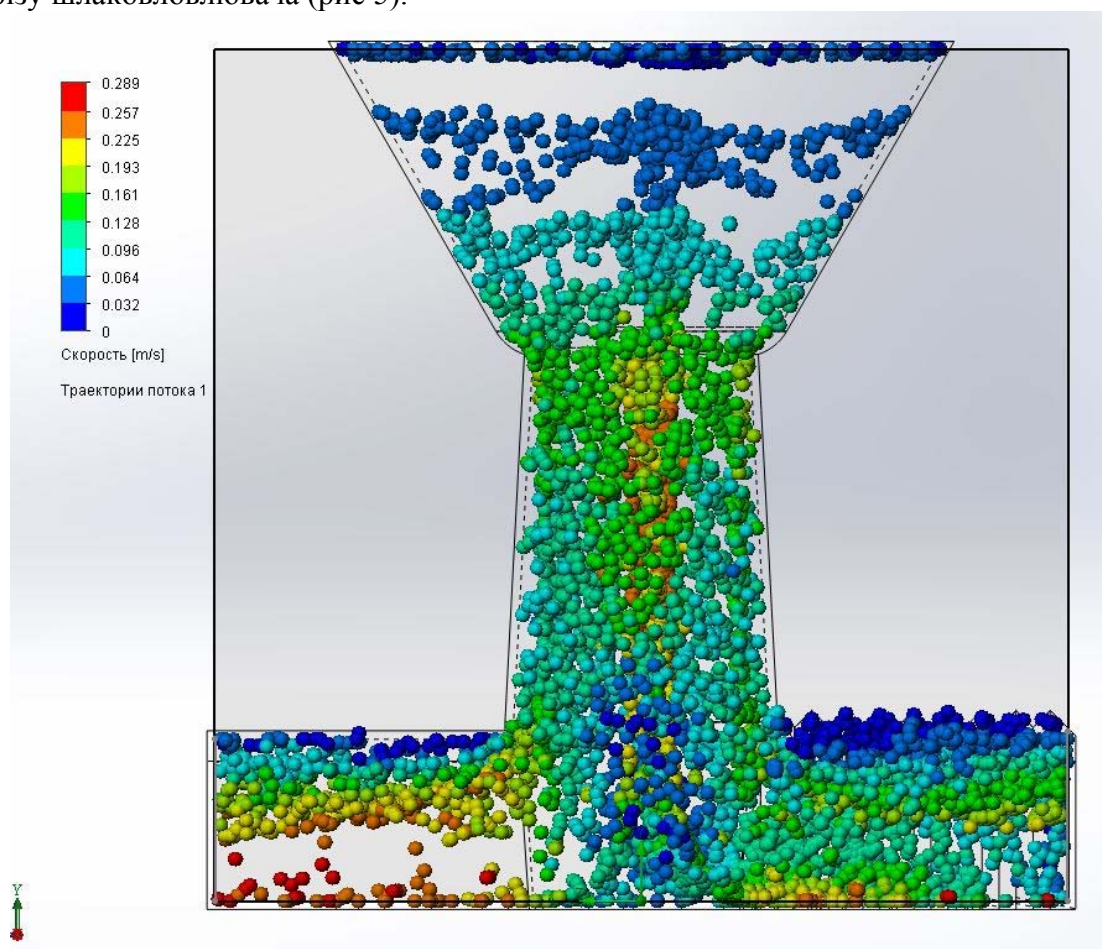


Рисунок 5 – Траєкторії та розподіл швидкості потоків в повздовжніх перерізах звичайного (зліва) і ребристого (справа) шлаковловлювачів

Джерело: розроблено авторами

Результати розрахунку можна вивести у вигляді анімації чи табульованого звіту. Крім того можна задати датчики у вигляді окремих точок чи відрізків у розрахунковій області та отримати графіки зміни вибраного параметра залежно від місця вимірювання. Також є опція експорту побудованих графіків в Microsoft Excel.

Для дослідження зміни швидкості на виході по перерізу каналу шлаковловлювача з обох торців по центру перерізів побудуємо прямі відрізки, на яких визначимо швидкість потоку на виході з шлаковловлювача (рис.6).

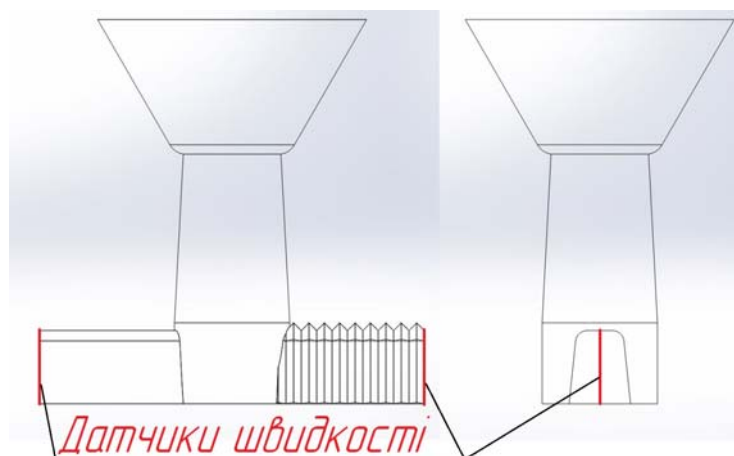


Рисунок 6 – Схема розташування датчиків швидкості

Джерело: розроблено авторами

Для встановлених датчиків швидкості будуюмо графіки залежності швидкості потоку від висоти шлаковловлювача (координати датчика) (рис. 7).

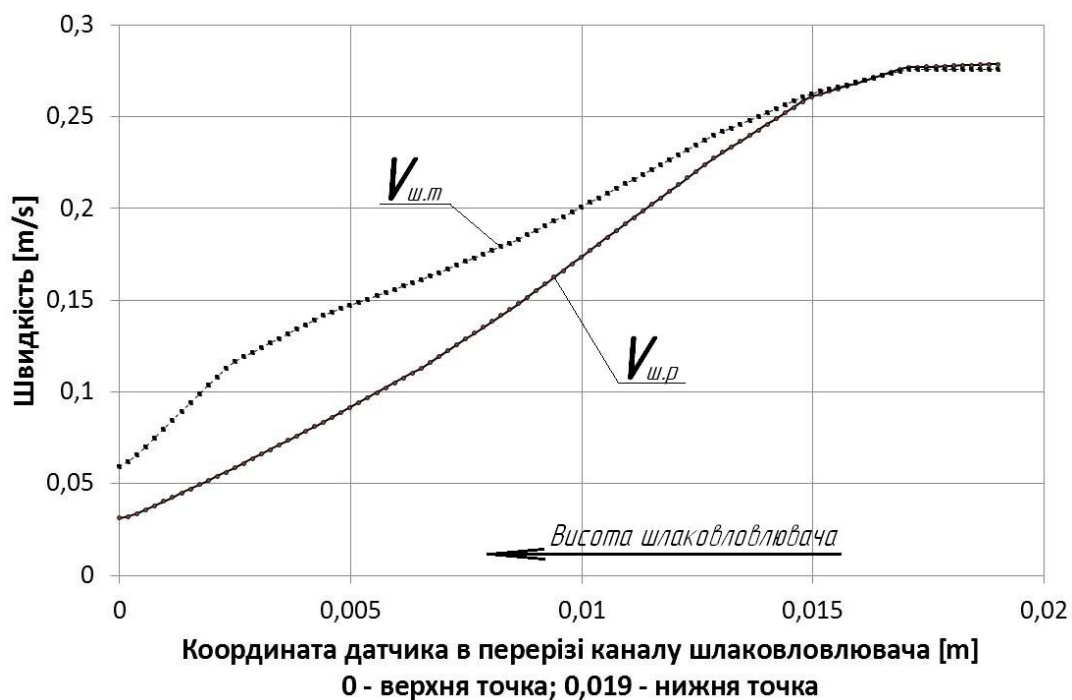


Рисунок 7 – Графіки розподілу швидкості потоку розплаву по висоті традиційного $V_{ш.т}$ і ребристого $V_{ш.р}$ шлаковловлювача

Джерело: розроблено авторами

Як бачимо з отриманих результатів (рис. 7), при використанні ребристого шлаковловлювача середня швидкість потоку по висоті перерізу шлаковловлювача $V_{ш.р} = 0,165$ м/с менша ніж у традиційного $V_{ш.т} = 0,193$ м/с на $0,193 - 0,165 = 0,028$ м/с або $(0,193 - 0,165) \cdot 100\% / 0,193 = 14,5$ %.

Враховуючи формулу (1) при меншій швидкості потоку буде меншою довжина шлаковловлювача до першого живильника. Тобто:

$$l_{ш.т} = 1,2h_{ш} \cdot V_{ш.т} / V_{ч} \quad (2)$$

$$l_{ш.р} = 1,2h_{ш} \cdot V_{ш.р} / V_{ч} \quad (3)$$

Оскільки $V_{u.p} = 0,855 \cdot V_{u.m}$, то:

$$l_{u.p} = 1,2h_{u.} \cdot V_{u.p} / V_{u.} = 0,855 \cdot l_{u.m}. \quad (4)$$

Таким чином, при використанні ребристого шлаковловлювача можна зменшити його довжину у порівнянні з традиційним.

Для порівняння побудуємо 3D-модель ребристого шлаковловлювача, зменшивши його довжину на 14,5 %.

За допомогою інструмента «Масові характеристики» визначаємо масу розробленої 3D-моделі.

Маса ЛЖС з традиційним шлаковловлювачем складає $m_{u.m} = 1,3284$ кг; маса ЛЖС з ребристим шлаковловлювачем складає $m_{u.p} = 1,3249$ кг. Тобто укорочений ребристий шлаковловлювач легший за традиційний на $1,3284 - 1,3249 = 0,0035$ кг, або на $(1,3284 - 1,3249) \cdot 100\% / 1,3284 = 0,26$ %.

Часто тонкі, ажурні, ступінчасті, ребристі поверхні на моделях можуть викликати труднощі при формовці, особливо на вертикальних поверхнях з невеликим формувальним уклоном. Формувальна суміш при формовці може залипати у внутрішніх кутах моделі і викликати обриви форми.

Для перевірки формувальної здатності запропонованого ребристого шлаковловлювача за допомогою розроблених 3D-моделей надруковано на 3D-принтері моделі шлаковловлювача, стояка і чаші (рис. 8). 3D-друк дозволяє отримати з комп'ютерних моделей об'ємні вироби, надаючи можливість огляду об'єкта і його використання для підготовки виробництва. Таким чином можна побачити і виправити можливі помилки проектування, оцінити кінцевий результат ще до запуску проекту в виробництво [7, 8].



Рисунок 8 – Надрукована на 3D-принтері модель ЛЖС з традиційним і ребристим шлаковловлювачами
Джерело: розроблено авторами

Для приготування формувальної суміші використовували лабораторні бігуни. Формовку здійснювали у такій послідовності. Встановили на столі підмодельну плиту.

Встановили модель ЛЖС на підмодельній плиті роз'ємом до плити. Встановили на підмодельній плиті опоку площиною роз'єму вниз таким чином, щоб модель розташовувалась по центру опоки. Для запобігання налипання формувальної суміші на модель та підмодельну плиту, нанесли на поверхню роз'єму шар роздільного покриття. Насипали в опоку шар формувальної суміші товщиною 40...50 мм і утрамбували його ручною трамбовкою. У міру ущільнення суміші, насипали нові порції, продовжуючи трамбування. Трамбування суміші здійснювали весь час вузькою трамбовкою за винятком верхнього шару суміші, який потрібно трамбувати плоскою трамбовкою. Потім зрізали лінійкою надлишок формувальної суміші в рівень з краями опоки. Перевернули опоку. Вийняли моделі ЛЖС з верхньої напівформи. Попередньо моделі слід злегка розгойдати.

Видалення моделі після формовки не викликало жодних труднощів. Огляд поверхні форми підтвердив задовільну формувальну здатність запропонованої конструкції ребристого шлаковловлювача (рис. 9).



Рисунок 9 – Піщано-глиниста форма з відбитком каналу ребристого шлаковловлювача

Джерело: розроблено авторами

Висновки. Проведений аналіз причин утворення шлакових включень і способів їх запобігання показав, що крім технологічних засобів що стосуються якісної підготовки металу перед заливкою (рафінування і дегазація, вистоювання для спливання шлаку, видалення шлаку, застосування чистих, не окислених матеріалів), суттєву роль відіграє спокійне безперервне заливання металу та правильно спроектована ЛЖС, особливо, такий важливий її елемент, як шлаковловлювач. Проте, використання найпоширеніших ливникових систем (гальмуючих, дросельних, з відцентровими шлаковловлювачами, дощових, сифонних) для підвищення ефективності затримки шлаку пов'язане зі збільшенням витрат металу на ЛЖС, і як наслідок, призводить до збільшення собівартості литва. З метою надійного вловлювання шлаків та зниження швидкості руху розплаву в ливниках, що забезпечує плавне заповнення форми сплавом, але без додаткових витрат металу, запропоновано оригінальну конструкцію ребристого шлаковловлювача. Результати параметричного

моделювання течії розплаву в каналі ребристого шлаковловлювача показали зменшення швидкості потоку по висоті перерізу шлаковловлювача у порівнянні з традиційним на 0,028 м/с або 14,5 %. Це дозволило зменшити довжину шлаковловлювача до першого живильника. Очікувана економія металу складає 0,26 %. Виготовлена з використанням моделі ребристого шлаковловлювача форма показала задовільну формувальну здатність. Але отримані результати досліджень мають рекомендаційний характер і потребують практичної перевірки у виробничих умовах. Крім того, шляхом варіювання таких параметрів, як висота ребер, відстань між ними, кут нахилу, ми можемо отримати аналогічні результати для різних виливків із різноманітних сплавів. Враховуючи все це виникає необхідність подальшого дослідження впливу конструкції шлаковловлювача на ефективність затримки шлаку.

Список літератури

1. Чуркин Б.С. Конструирование и расчет литниковых систем и прибылей для отливок: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф. пед. ун-та, 2012. 124 с.
2. Фундатор В.И. Литниковые системы и заливка металлов. Москва: Машгиз, 1951. 261 с.
3. Рабинович Б.В. Введение в литейную гидравлику. Москва: Машиностроение, 1966. 427 с.
4. Кукуй Д.М., Скворцов В.А., Андрианов Н.В. Теория и технология литейного производства: учебник для вузов: в 2 ч. Ч. 2. Технология изготовления отливок в разовых формах. Москва: ИНФРА-М, 2011. 405 с.
5. Теоретичні основи ливарного виробництва: навч. посіб. / В.Г. Могілатенко та ін. Харків: НТУ «ХП», 2011. 288 с.
6. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. Москва: ДМК Пресс, 2010. 464 с.
7. С.В. Конончук, В.В. Пукалов. Перспективи використання 3D-друку в ливарному виробництві. «Лумво-2018»: Матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф., 22 – 24 травня 2018 р. Запоріжжя. С. 120-122.
8. Kononchuk S.V., Skrypnyk O.V., Pukalov V.V. Using 3D-printing for education of foundry students. «Problems and process of reforming education in the field of engineering sciences in Ukraine and EU countries»: Scientific and pedagogic internship, November 4 - December 13, 2019. Wloclawek, Republic of Poland. P. 74 – 77.

References

1. Churkin, B.S. (2012). *Konstruirovaniye i raschet litnikovyyih sistem i pribyiley dlya otlivok [Design and calculation of gating systems and risers for castings]*. Ekaterinburg [in Russian].
2. Fundator, V.I. (1951). *Litnikovyye sistemy i zalivka metallov [Gating systems and metal casting]*. Moscow: Mashgiz [in Russian].
3. Rabinovich, B.V. (1966). *Vvedeniye v liteynuyu gidravliku [Introduction to foundry hydraulics]*. Moscow: Mashinostroeniye [in Russian].
4. Kukuy, D.M., Skvortsov, V.A. & Andrianov, N.V. (2011). *Teoriya i tehnologiya liteynogo proizvodstva: Ch. 2. Tehnologiya izgotovleniya otlivok v razovyih formah [Theory and Technology of foundry. Part 2. The technology of manufacture of castings in disposable form]*. Moscow: INFRA-M [in Russian].
5. Mohilatenko, V.H., Ponomarenko, O.I., Drobiazko, V.M., Kocheshkov, A.S. & Yamshynskiy, M.M. (2011) *Teoretychni osnovy lyvarnoho vyrobnytstva [Theoretical foundations of foundry production]*. Kharkiv: NTU «KhPI»[in Ukraine].
6. Alyamovskiy, A.A. (2010). *Inzhenernyie raschetyi v SolidWorks Simulation [Engineering Calculations in SolidWorks Simulation]*. Moscow: DMK Press [in Russian].
7. Kononchuk, S.V. & Pukalov, V.V. (2018). *Perspektyvy vykorystannia 3D-druku v lyvarnomu vyrobnytstvi [Prospects for the use of 3D printing in foundry production]*. Casting – metallurgy: *Materialy 14 Mizhnarodnoi konferentsii «Lyvno-2018», (22 – 24 travnia 2018 roku) – International Scientific and Practical Conference.* (pp. 120-122). Zaporizhzhia [in Ukraine].
8. Kononchuk, S.V., Skrypnyk, O.V. & Pukalov, V.V. (2019). *Using 3D-printing for education of foundry students. Problems and process of reforming education in the field of engineering sciences in Ukraine and EU countries: Scientific and pedagogic internship, (November 4 - December 13, 2019).* (pp. 74 – 77). Wloclawek [in English].

Serhii Kononchuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Oleksandr Skrypnyk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Volodymyr Sviatskyi, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Viktor Pukalov, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Investigation of the Effect of Slag Trap Design on Slag Delay Efficiency in the SolidWorks Flow Simulation Parametric Modeling Environment

The most common technology for the manufacture of metal parts and work pieces is casting. High-tech branches of mechanical engineering require the production of high-quality castings of complex configuration from modern alloys with a given chemical composition and mechanical properties.

The analysis of the causes of slag inclusions and ways to prevent them showed that in addition to technological means related to quality preparation of metal before pouring, a significant role is played by quiet continuous pouring of metal and properly designed foundry system, including slag trap. However, the use of the most common foundry systems (braking, throttle, with centrifugal slag traps, rain, siphon) to increase the efficiency of slag retention is associated with increased metal consumption, and as a consequence, leads to an increase in the cost of casting. Conducting experimental research by varying the design of the slag trap leads to an increase in the number of field experiments, given their complexity, limited by great difficulties. On the other hand, computer flow modeling allows to study the influence of slag trap design on the flow rate of the melt at the design stage and significantly reduce the cost of introduction of new castings. In order to reliably capture slag and reduce the speed of movement of the melt in the foundries, which provides a smooth filling of the form with an alloy, but without additional costs of metal, the original design of the ribbed slag catcher is proposed. The results of parametric modeling of the melt flow in the channel of the ribbed slag trap showed a decrease in the flow rate along the cross-sectional height of the slag trap compared to traditional by 0.028 m / s or 14.5%. This allowed to reduce the length of the slag trap to the first feeder. The expected metal savings are 0.26%. The form made using a 3D model of the slag trap showed satisfactory molding ability.

But the obtained research results are of a recommendatory nature and require practical verification in the production environment. In addition, by varying parameters such as the height of the ribs, the distance between them, the angle of inclination, we can obtain similar results for different castings of different alloys. Given all this, there is a need for further study of the impact of the design of the slag trap on the efficiency of slag retention.

slag trap, slag inclusion, flow rate, gating system, 3D-model, metal consumption, sand-clay mixture, mouldability

Одержано (Received) 25.06.2020

Прорецензовано (Reviewed) 10.07.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.9.06

ОІ: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).117-129](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).117-129)

І.І Павленко, проф., д-р техн. наук, **М.О. Годунко**, доц., канд. техн. наук,

О.А. Кислун, доц., канд. техн. наук. **Є.С.Костюк**, асп.

Центральнoукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: maksimgodunko83@gmail.com

Дослідження кутових переміщень платформи МПС із ріжучим інструментом

В статті виконано аналітичний розрахунок величини переміщення виконавчого органу верстата з механізмом паралельної структури (МПС) по лініям в поперечному напрямку під кутом. Досліджено вплив конструктивних параметрів МПС на значення цих переміщень виконавчого органу.

механізм паралельної структури, верстат, гексапод

И.И. Павленко, проф., д-р техн. наук, **М.О. Годунко**, доц., канд. техн. наук, **О. А. Кислун**, доц., канд. техн. наук, **Е.С.Костюк**, асп.

Центральнoукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Исследование угловых перемещений платформы МПС с режущим инструментом

В статье выполнен аналитический расчет величины перемещения исполнительного органа станка с механизмом параллельной структуры (МПС), по линиям в поперечном направлении под углом. Исследовано влияние конструктивных параметров МПС на значение этих перемещений исполнительного органа.

механизм параллельной структуры, станок, гексапод

Постановка проблеми. Для виготовлення деталей складних форм виникає необхідність переміщення різальних інструментів по лінії під визначеним кутом. Для цього використовуються верстати, обладнані механізмами паралельної структури. Лише дослідження рухомих можливостей цих механізмів дає можливість впроваджувати їх у виробництво.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні десятиріччя в машинобудуванні характеризуються широким впровадженням механізмів з паралельною кінематикою, і на даний час існує велика різноманітність таких структур. Незважаючи на те, що їх вивченню присвячується велика кількість досліджень, як у нас [1, 2, 3], так і за кордоном [4, 8, 9], та все ж вивчення таких структур має достатню актуальність.

Постановка завдання. Високорухомі верстати з МПС дозволяють виконувати обробку складних деталей, що вимагає обґрунтованого визначення конструктивних параметрів з метою підвищення ефективності їх виготовлення та використання. Важливою складовою ефективного функціонування верстатів з МПС є визначення впливу їх кінематико-геометричних параметрів на особливості просторової обробки нахилених поверхонь деталей під кутами, що складно виконати на традиційних верстатах.

Викладення основного матеріалу. У дослідженнях зосереджується увага на поперечному переміщенні центру рухомої платформи механізму паралельної структури (МПС) для верстату типу «гексапод», як матеріальної точки, що рухається вздовж лінії в залежності від кута дотику різального інструменту та перпендикуляру до площини оброблюваної поверхні (вісі симетрії МПС).

Для визначення можливих положень центру рухомої платформи розглянемо узагальнену схему МПС (рис.1) Враховуючи обмеження на переміщення, область можливих положень поділено на зони: $Z_{рп}$ - без різального інструменту; $Z_{рі}$ - зона положень вершини інструменту.

Деталь 1, що оброблюється, встановлюється на технологічному пристрої 2, який розміщується на основі МПС. Параметри верстата з МПС: a, b – відстань між опорами нерухомої несучої системи та виконавчого органу відповідно; L_{max} – максимальна довжина кінематичних ланок; l_{min} – мінімальна довжина кінематичних ланок; l_i - поточна довжина кінематичних ланок; l – величина поперечного переміщення; φ – кут нахилу виконавчого органу; h_i – поточне положення виконавчого органу МПС по висоті.

Оцінку рухомих можливостей визначаємо за показником переміщень, що являє собою відношення реальної величини переміщення l до теоретично можливої (приймаємо рівною максимальній довжині штанги L_{max}) [1,3]:

$$K_{nl} = \frac{l}{L_{max}}. \quad (1)$$

Для подальших розрахунків вводяться позначення:

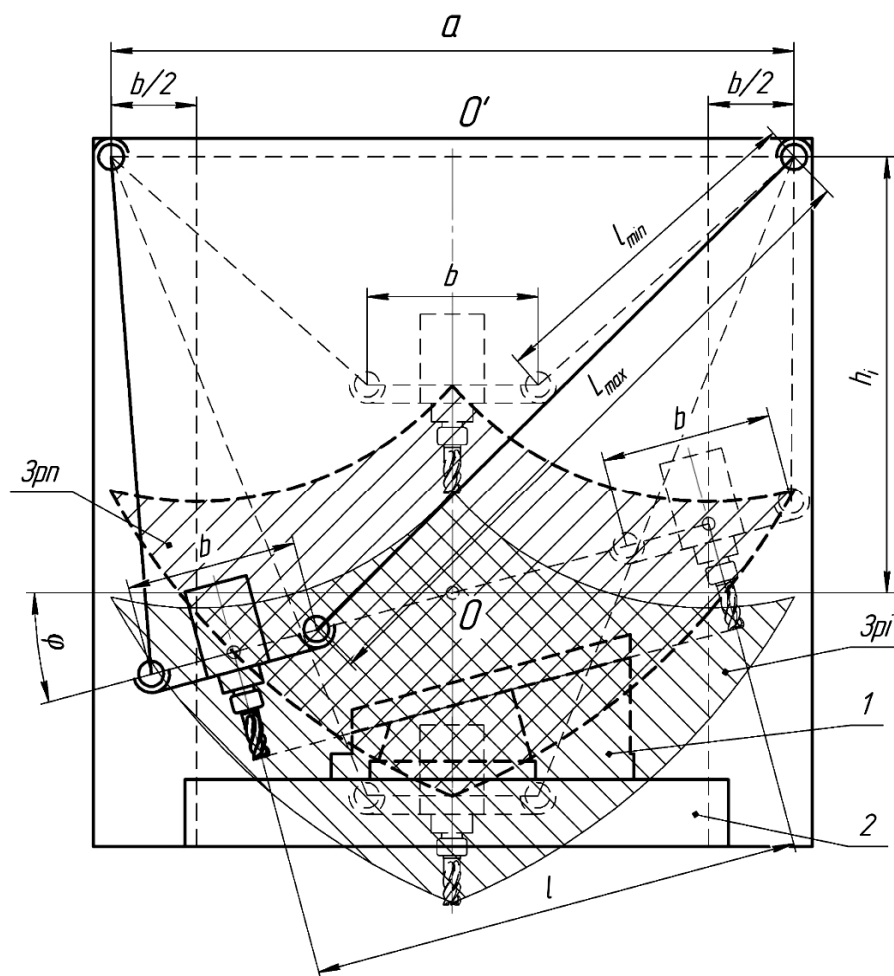


Рисунок 1 – Схема МПС та його зони обслуговування

Джерело: розроблено авторами [7]

$i_{\min} = \frac{l_{\min}}{L_{\max}}$ – відношення мінімальної довжини штанг до максимально можливої;

$n = \frac{b}{a}$ – відношення відстані між опорами рухомої та нерухомої платформ МПС;

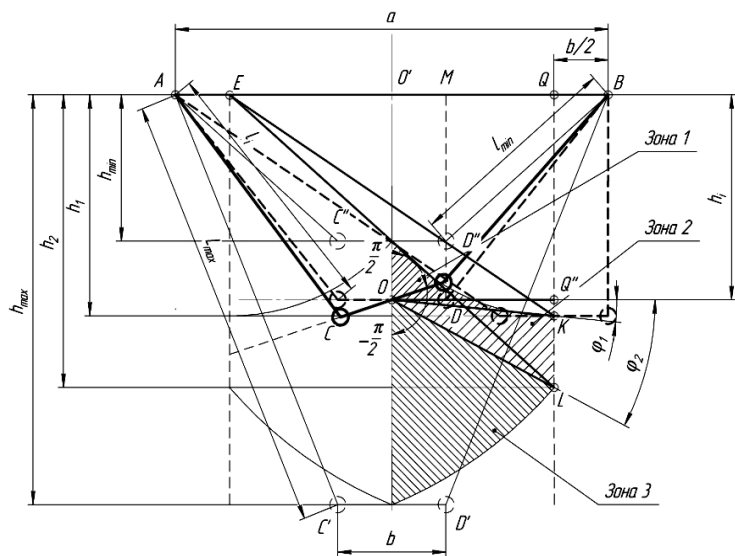
$m = \frac{a}{L_{\max}}$ – відношення відстані між верхніми опорами нерухомої платформи до

максимальної довжини штанг;

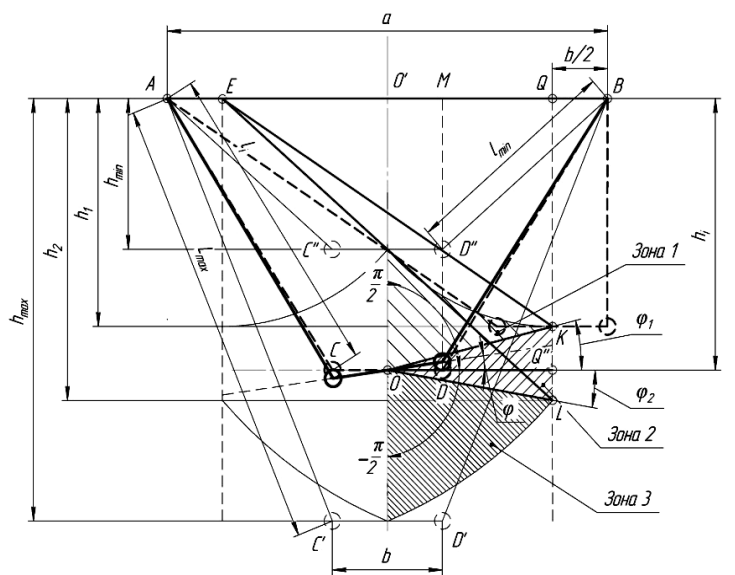
Вісь симетрії МПС з т. О в її центрі вибирається в якості вихідного положення переміщення рухомої платформи. В процесі обробки рухома платформа може нахилитися на кут φ до $\frac{\pi}{2}$, тобто діапазон зміни кута φ від $-\frac{\pi}{2}$ до $\frac{\pi}{2}$ (рис.2), обмеживши переміщення рухомої платформи умовою, що штанги не переходять за вертикальне положення.

Висота розміщення рухомої платформи в довільному положенні h_i визначається за формулою:

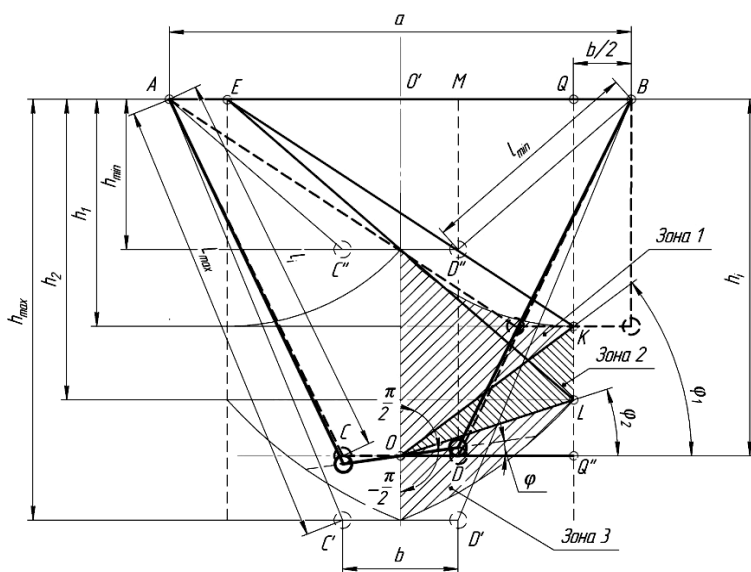
$$h_i = \sqrt{(BD \cdot i_i)^2 - \left(\frac{AB - CD}{2}\right)^2};$$



a)



б)



в)

Рисунок 2 – Розрахункові схеми

Джерело: розроблено авторами [7]

де $MB = \frac{AB-CD}{2} = \frac{a-b}{2}$ та $BD = l_i = BD' \cdot i_i = L_{\max} \cdot i_i$ – довжини сторін трикутника MBD (рис.2) ;
 $i_i = \frac{BD}{L_{\max}} = \frac{l_i}{L_{\max}}$ – відношення поточної довжини штанг до максимальної можливої;

Підставляючи розміри МПС отримаємо :

$$h_i = \sqrt{(L_{\max} \cdot i_i)^2 - \left(\frac{a-b}{2}\right)^2}. \quad (2)$$

Згідно до вище наведених обмежень та залежно від зміни кута φ , за годинниковою стрілкою, зону обслуговування розділимо на три зони, а також відносно висоти h_i на три інтервали (рис.2) у наступних діапазонах. Тоді граничні значення h_i для першої зони будуть: $h_{1в}$ - верхнє значення , $h_{1н}$ - нижнє значення. Величини цих значень $h_{1в} = \sqrt{l_{\min}^2 - \left(\frac{a-b}{2}\right)^2}$, $h_{1н} = l_{\min}$. Для другої зони верхнє значення висоти дорівнює нижньому. Значення першої зони – $h_{1н} = h_{2в}$ нижнє значення цієї зони $h_{2н} = \sqrt{L_{\max}^2 - (a-b)^2}$ для третьої зони $h_{2н} = h_{3в}$ нижнє значення цієї зони $h_{3н} = \sqrt{L_{\max}^2 - \left(\frac{a-b}{2}\right)^2}$.

Визначимо кути, які є межами зон: у випадку коли права штанга відведена в крайнє праве положення та знаходиться у максимально втягнутому стані l_{\min} , кут лінії траєкторії переміщення точки центру платформи позначимо φ_1 та визначаємо за формулою:

$$\varphi_1 = \arctg \frac{h_i - QK}{OQ''} = \arctg \frac{h_i - l_{\min}}{\left(\frac{a-b}{2}\right)}.$$

У випадку коли права штанга знаходиться в крайньому правому положенні, а ліва штанга досягає максимального значення довжини L_{\max} , кут лінії траєкторії переміщення точки центру платформи позначимо φ_2 .

Для визначення кута φ_2 розглянемо трикутник EQI (рис.2), де величина його сторін: $EL=L_{\max}$; $EQ = a - b$;

$$QL = \sqrt{EL^2 - EQ^2} = \sqrt{L_{\max}^2 - (a-b)^2} ;$$

із трикутника $OQ''L$:

$$Q''L = h_i - QL ;$$

Тоді кут нахилу платформи в цьому положенні буде:

$$\varphi_2 = \arctg \frac{Q''L}{OQ''} = \arctg \frac{h_i - \sqrt{L_{\max}^2 - (a-b)^2}}{\left(\frac{a-b}{2}\right)}. \quad (3)$$

Для першої зони $\frac{\pi}{2} > \varphi \geq \varphi_1$ (рис.3), рівняння довжини відрізка лінії (траєкторії), по якій відбувається переміщення центру ВО, визначатиметься таким чином:

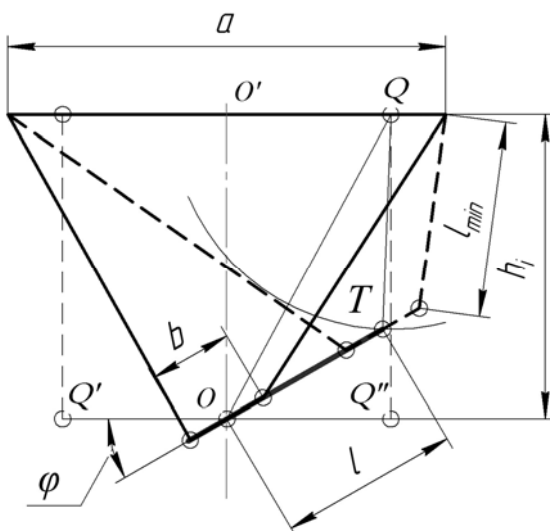


Рисунок 3 – Схема розрахунку зони 1

Джерело: розроблено авторами [7]

З трикутника $O'QO$ маємо:

$$\angle O'QO = \operatorname{arctg} \frac{(a-b)}{2 \cdot h_i},$$

$$|OQ| = \sqrt{\left(\frac{a-b}{2}\right)^2 + h_i^2}.$$

Визначимо кут TOQ :

$$\angle TOQ = 90^\circ - \angle \varphi - \angle O'QO = \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) - \operatorname{arctg} \frac{a-b}{2 \cdot h_i}.$$

За теоремою синусів визначаємо кут OTQ :

$$\frac{|TQ|}{\sin \angle TOQ} = \frac{|OQ|}{\sin \angle OTQ};$$

$$\angle OTQ = \arcsin \frac{|OQ| \cdot \sin \angle TOQ}{|TQ|} = \arcsin \frac{\sqrt{\left(\frac{a-b}{2}\right)^2 + h_i^2} \cdot \sin\left[\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) - \operatorname{arctg} \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right]}{l_{\min}}.$$

Знаходимо кут OQT :

$$\angle OQT = \pi - \angle TOQ - \angle OTQ;$$

$$\angle OQT = \pi - \left[\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) - \operatorname{arctg} \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right] - \arcsin \frac{\sqrt{\left(\frac{a-b}{2}\right)^2 + h_i^2} \cdot \sin\left[\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) - \operatorname{arctg} \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right]}{l_{\min}};$$

$$\angle OQT = \left(\frac{\pi}{2} + \varphi + \operatorname{arctg} \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right) - \arcsin \frac{\sqrt{\left(\frac{a-b}{2}\right)^2 + h_i^2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} + \varphi - \operatorname{arctg} \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right)}{l_{\min}}.$$

За теоремою синусів визначаємо сторону TO :

$$\frac{|TO|}{\sin \angle OQT} = \frac{|TQ|}{\sin \angle TOQ}; TO = |TQ| \cdot \frac{\sin \angle OTQ}{\sin \angle TOQ};$$

$$TO = l_{\min} \cdot \frac{\sin\left(\left(\frac{\pi}{2} + \varphi + \arctg \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right) - \arcsin \frac{\sqrt{\left(\frac{a-b}{2}\right)^2 + h_i^2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} + \varphi - \arctg \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right)}{l_{\min}}\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi - \arctg \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right)};$$

Позначимо довжину відрізка в першій зоні l_1 :

$$l_1 = l_{\min} \cdot \frac{\cos\left(\left(\pm \varphi + \arctg \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right) \mp \arcsin \frac{\sqrt{\left(\frac{a-b}{2}\right)^2 + h_i^2} \cdot \cos\left(\varphi + \arctg \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right)}{l_{\min}}\right)}{\cos\left(\varphi + \arctg \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right)}; \quad (4)$$

До другої зони $\varphi_1 \geq \varphi \geq \varphi_2$ (рис.4), рівняння довжини відрізка лінії (траєкторії) по якій відбувається переміщення центру BO , визначатиметься:

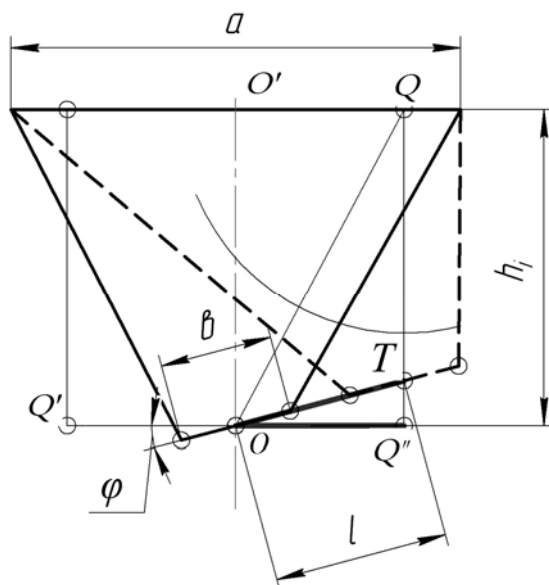


Рисунок 4 – схема розрахунку зони 2

Джерело: розроблено авторами [7]

З трикутника TOQ визначаємо сторону TO (рис.4)

$$TO = \frac{Q'O}{\cos(\angle Q'OT)} = \frac{a-b}{2 \cdot \cos \varphi}.$$

Позначимо довжину відрізка другій зоні l_2 :

$$l_2 = \frac{a-b}{2 \cdot \cos \varphi}. \quad (5)$$

Для третьої зони $\varphi_2 \leq \varphi < -\frac{\pi}{2}$ (рис.5), рівняння довжини відрізка лінії (траєкторії), по якій відбувається переміщення центру BO , визначатиметься:

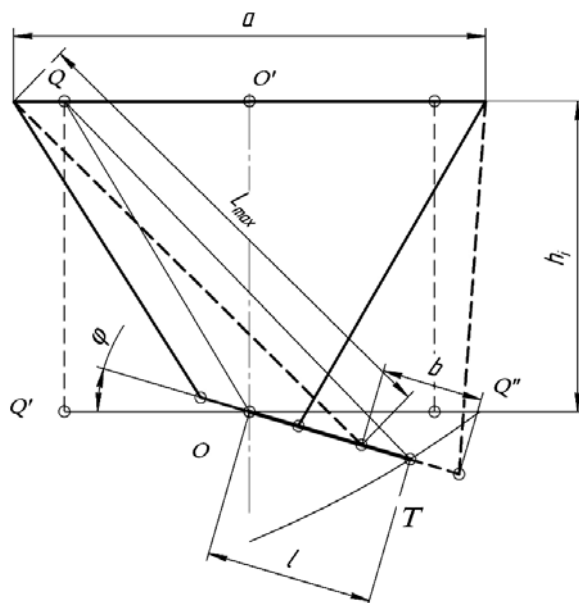


Рисунок 5 – схема розрахунку зони 3

Джерело: розроблено авторами [7]

З трикутника $O'QO$ (рис.5) маємо:

$$\angle O'QO = \arctg \frac{a-b}{2 \cdot h_i};$$

$$|OQ| = \sqrt{\left(\frac{a-b}{2}\right)^2 + h_i^2}.$$

Знаходимо кут TOQ :

$$\angle TOQ = \angle TOQ' + \angle Q'OQ,$$

$$\angle TOQ = (\pi + \varphi) + \left(\frac{\pi}{2} - \arctg \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right) = \frac{3\pi}{2} + \varphi - \arctg \frac{a-b}{2 \cdot h_i}.$$

За теоремою синусів визначаємо кут OTQ :

$$\frac{|TQ|}{\sin \angle TOQ} = \frac{|OQ|}{\sin \angle OTQ};$$

$$\angle OTQ = \arcsin \frac{|OQ| \cdot \sin \angle TOQ}{|TQ|} = \arcsin \frac{\sqrt{\left(\frac{a-b}{2}\right)^2 + h_i^2} \cdot \sin\left(\frac{3\pi}{2} + \varphi - \arctg \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right)}{L_{\max}}.$$

Знаходимо кут OQT :

$$\angle OQT = \pi - \angle TOQ - \angle OTQ;$$

$$\angle OQT = \pi - \left(\frac{3\pi}{2} + \varphi - \arctg \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right) - \arcsin \frac{\sqrt{\left(\frac{a-b}{2}\right)^2 + h_i^2} \cdot \sin\left(\frac{3\pi}{2} + \varphi - \arctg \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right)}{L_{\max}};$$

$$\angle OQT = \left(\frac{\pi}{2} - \varphi + \arctg \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right) - \arcsin \frac{\sqrt{\left(\frac{a-b}{2}\right)^2 + h_i^2} \cdot \sin\left(\frac{3\pi}{2} + \varphi - \arctg \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right)}{L_{\max}}.$$

За теоремою синусів визначаємо сторону TO :

$$\frac{|TO|}{\sin \angle OQT} = \frac{|TQ|}{\sin \angle TOQ}; \quad TO = |TQ| \cdot \frac{\sin \angle OTQ}{\sin \angle TOQ};$$

$$TO = L_{\max} \cdot \frac{\sin\left(-\frac{\pi}{2} - \varphi + \operatorname{arctg} \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right) - \arcsin \frac{\sqrt{\left(\frac{a-b}{2}\right)^2 + h_i^2} \cdot \sin\left(\frac{3\pi}{2} + \varphi - \operatorname{arctg} \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right)}{L_{\max}}}{\sin\left(\frac{3\pi}{2} + \varphi - \operatorname{arctg} \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right)}.$$

Позначимо довжину відрізка в третій зоні l_3 :

$$l_3 = L_{\max} \cdot \frac{\cos\left(\mp \varphi + \operatorname{arctg} \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right) \pm \arcsin \frac{\sqrt{\left(\frac{a-b}{2}\right)^2 + h_i^2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi + \operatorname{arctg} \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right)}{L_{\max}}}{\cos\left(-\varphi + \operatorname{arctg} \frac{a-b}{2 \cdot h_i}\right)}. \quad (6)$$

Сумою визначається загальна довжина переміщення l :

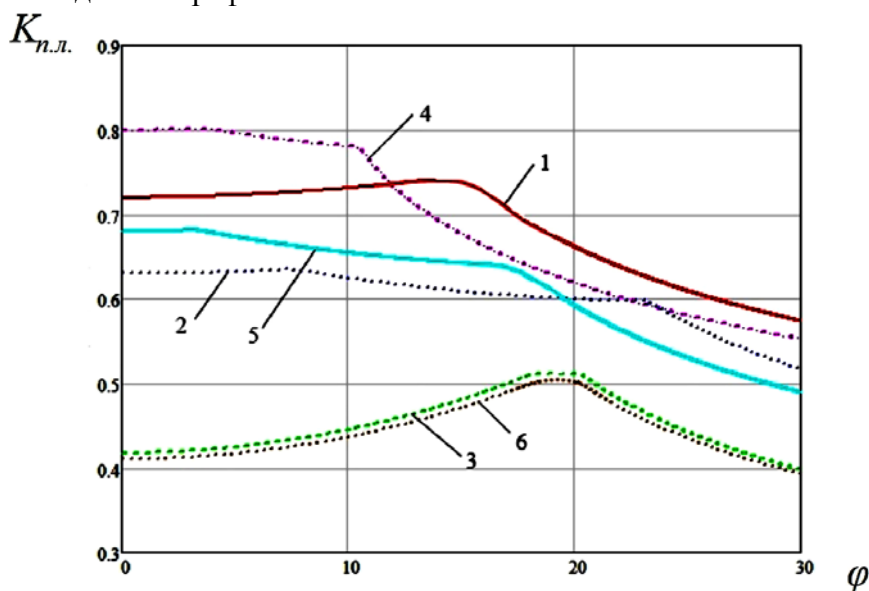
$$l = l_i + l_j. \quad (7)$$

Згідно цього K_{nl} визначається як:

$$K_{nl} = \frac{l_i + l_j}{L_{\max}}. \quad (8)$$

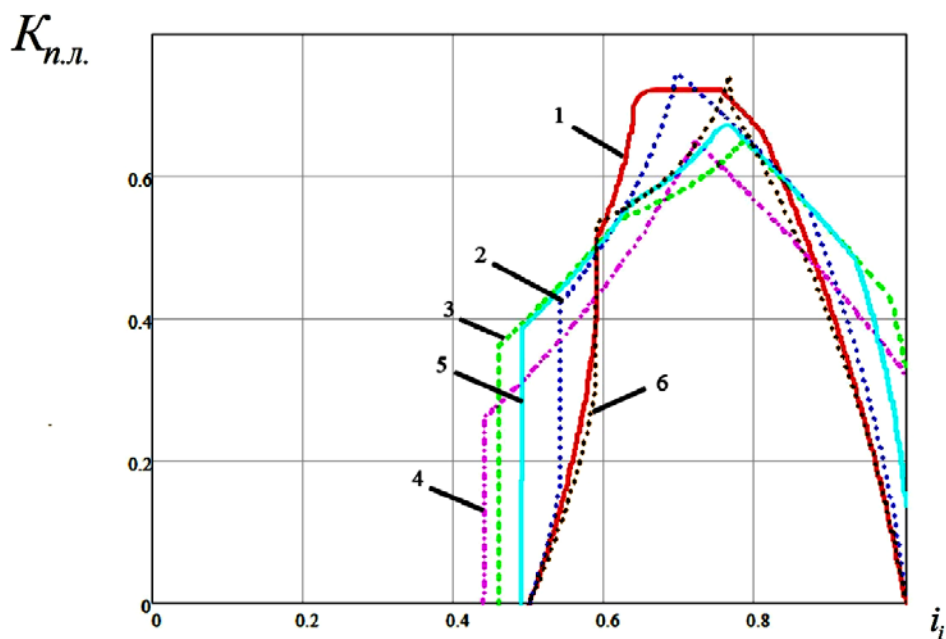
За даними рівняннями будемо графіки. Розглянемо вплив основних геометричних параметрів на рухові можливості МПС.

Вплив показника рухових можливостей штанг (i) та конструктивно – геометричних показників (n , m) на коефіцієнт лінійних переміщень (K_{nl}). Результати цих досліджень наведені на графіках 6 – 9.



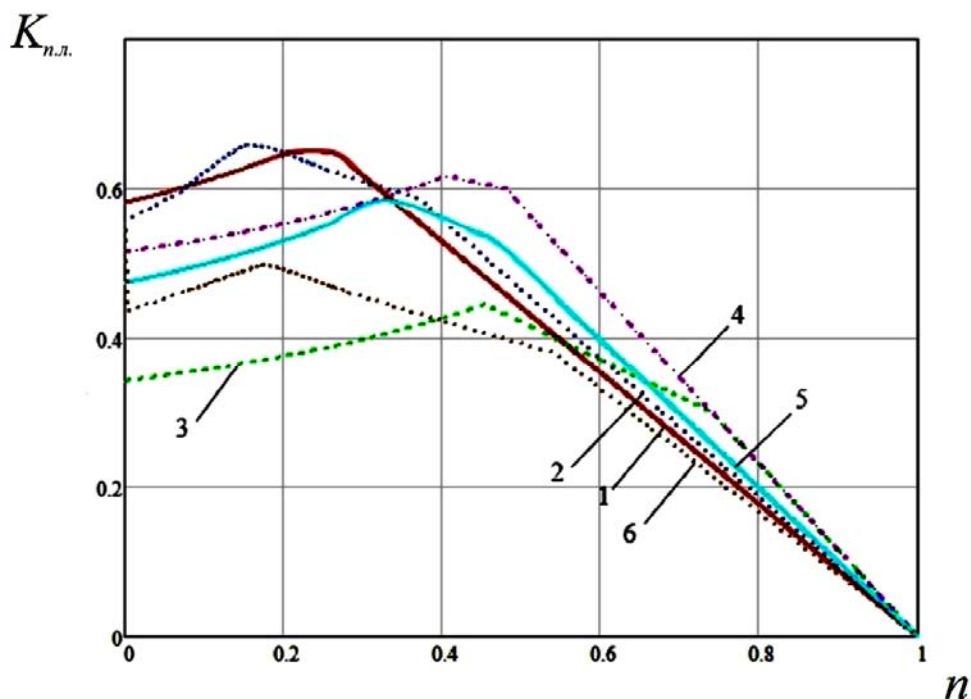
- 1) $m=0.8$ $n=0.1$ $i_{\min}=0.5$ $i_i=0.7$; 2) $m=0.9$ $n=0.2$ $i_{\min}=0.6$ $i_i=0.8$; 3) $m=1.0$ $n=0.3$ $i_{\min}=0.7$ $i_i=0.9$;
4) $m=1.0$ $n=0.1$ $i_{\min}=0.5$ $i_i=0.7$; 5) $m=0.9$ $n=0.2$ $i_{\min}=0.6$ $i_i=0.8$; 6) $m=0.8$ $n=0.3$ $i_{\min}=0.7$ $i_i=0.9$;

Рисунок 6 – Графік впливу кута нахилу на відносне переміщення
Джерело: розроблено авторами [7]



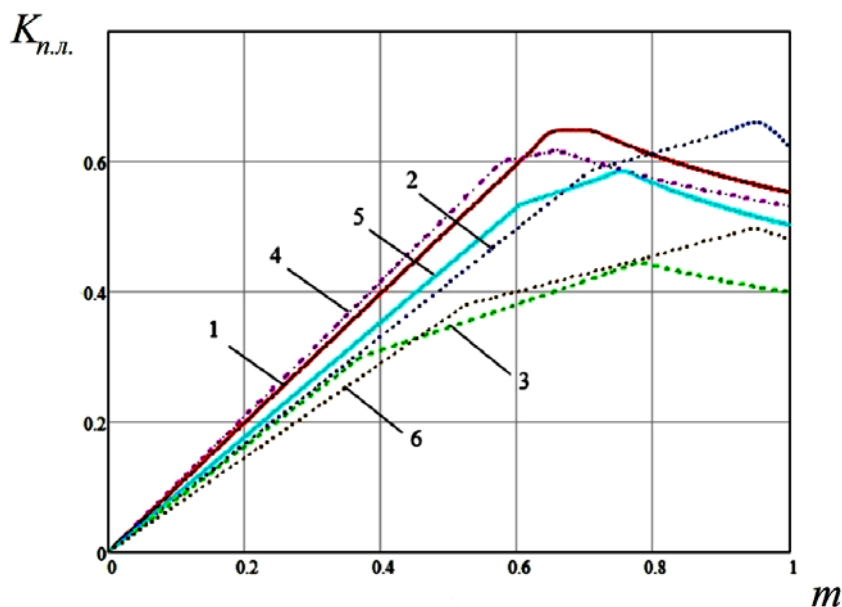
- 1) $\varphi=25^0$ $m=0.8$ $n=0,1$ $i=0.5$; 2) $\varphi=15^0$ $m=0.9$ $n=0,2$ $i=0.5$; 3) $\varphi=30^0$ $m=1.0$ $n=0,3$ $i=0.5$;
 4) $\varphi=30^0$ $m=1.0$ $n=0,1$ $i=0.5$; 5) $\varphi=25^0$ $m=0.9$ $n=0,2$ $i=0.5$; 6) $\varphi=15^0$ $m=0.8$ $n=0,3$ $i=0.5$;

Рисунок 7 – Графік впливу рухових можливостей штанг на відносне переміщення
 Джерело: розроблено авторами [7]



- 1) $\varphi=25^0$ $m=0.8$ $i_{\min}=0.5$ $i_i=0.7$; 2) $\varphi=15^0$ $m=0.9$ $i_{\min}=0.6$ $i_i=0.8$; 3) $\varphi=30^0$ $m=1.0$ $i_{\min}=0.7$ $i_i=0.9$;
 4) $\varphi=30^0$ $m=0.8$ $i_{\min}=0.5$ $i_i=0.7$; 5) $\varphi=25^0$ $m=0.8$ $i_{\min}=0.6$ $i_i=0.8$; 6) $\varphi=15^0$ $m=0.8$ $i_{\min}=0.7$ $i_i=0.9$;

Рисунок 8 – Графік впливу відношення відстані між верхніми та нижніми опорами МПС, на відносне переміщення
 Джерело: розроблено авторами [7]



- 1) $\varphi=25^{\circ}$ $n=0,1$ $i_{\min}=0,5$ $i_i=0,7$; 2) $\varphi=15^{\circ}$ $n=0,2$ $i_{\min}=0,6$ $i_i=0,8$; 3) $\varphi=30^{\circ}$ $n=0,3$ $i_{\min}=0,7$ $i_i=0,9$;
 4) $\varphi=30^{\circ}$ $n=0,1$ $i_{\min}=0,5$ $i_i=0,7$; 5) $\varphi=25^{\circ}$ $n=0,2$ $i_{\min}=0,6$ $i_i=0,8$; 6) $\varphi=15^{\circ}$ $n=0,3$ $i_{\min}=0,7$ $i_i=0,9$;

Рисунок 9 – Графік впливу відношення максимального переміщення штанг до розміру нерухомої платформи, на відносне переміщення

Джерело: розроблено авторами [7]

З приведених залежностей видно, що вплив рухових можливостей штанг на відносне переміщення надає приріст показника переміщення на ділянці показника від 0,45 до 0,65, далі йде ділянка на яку впливає кут нахилу лінії переміщення, при зменшенні якого збільшується переміщення, на ділянці 0,8 до 1 переміщення знову зменшується, це обумовлено складною геометрією зони обслуговування робочого простору верстату з МПС.

Щодо впливу відношення розмірів рухомої до нерухомої платформи, то на відносне переміщення маємо, що при збільшенні показника i збільшується початковий показник відносного переміщення, при значенні показника n починаючи з 0.6 його величина зменшується у всіх випадках.

Вплив відношення максимального переміщення штанг до розміру нерухомої платформи, на відносне переміщення має зворотний до попереднього характер. При збільшенні показника m збільшується показник відносного переміщення, при подальшому збільшенні показника m видно відчутне зменшення переміщення показника i при значенні менше 0.6.

Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування. Кіровоград: КНТУ, 2007. 420 с.
2. Струтинський В. Б., Кириченко А. М. Кінематичні залежності верстата з механізмом паралельної структури „БІГЛАЙД”. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2008. №1 (50). С. 45-50.
3. Павленко І.І., Валявський І.А. Рухові характеристики верстатів з паралельною кінематикою. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровогр. нац. техн. ун-ту*. 2008. Вип. 21. С.304-3010.
4. Ширинкин М.А. Структурный анализ пространственных механизмов параллельной структуры с четырьмя и шестью степенями свободы. *Машиностроение и инженерное образование*. 2011. №2 С. 17-21.
5. Павленко І.І., Вахніченко Д.В., Годунко М.О. Аналіз впливу конструктивних параметрів МПК на рух платформи під кутом. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровогр. нац. техн. ун-ту*. 2011. Вип. 24, Ч. 1. С. 279–283.

6. Павленко І.І., Валявський І.А. Оцінка рухових можливостей гексаподу в напрямку перпендикулярному напрямку до осі його симетрії. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту.* 2009. Вип. 22. С. 3–10.
7. Павленко І.І., Костюк Є.С., Кислун О.А. Дослідження рухових можливостей МПС при здійсненні поперечного переміщення виконавчого органу під кутом. *Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві: зб. тез доповідей міжн. наук.-практ. конф.* Кіровоград: КНТУ, 2015. С. 165–168.
8. Angeles J. *Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Theory, Methods and Algorithms* (Second Ed.). Springer, 2002. 520 p.
9. Merlet J.-P. *Parallel Robots*. Kluwer Academic Publishers, 2000. 372 p.

References

1. Pavlenko, I.I. (2007). *Promyslovi roboty: osnovy rozrakhunku ta proektivannia [Industrial robots: basics of calculation and design]*. Kirovohrad: KNTU [in Ukrainian].
2. Strutinsky, V.B. & Kirichenko A.M. (2008). Kinemayichny zalezhnosti verstata z mehanizmom paralelnoi strukturi „Biglight” [Kinematic dependencies of a machine with a parallel structure mechanism biglight]. *Vibrations in technologies and technologies, Vol. 1 (50)*, 45-50 [in Ukrainian].
3. Pavlenko, I.I. & Valiavs'kyj, I.A. (2008). Rukhovi kharakterystyky verstativ z paralel'noiu kinematykoiu [Motor characteristics of machines with parallel kinematics]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zbirnyk nauk. prats' KNTU – Engineering in agricultural production, industry machine building, automation: Coll. Sciences. of KNTU, Vol. 21*, 304-310 [in Ukrainian].
4. Shirkin, M.A. (2011). Strukturniy analiz prostranstvennih mehanizmov paralelnoi strukturi s chetirmya i shesty stepenyami svobody [Structural analysis of spatial mechanisms of a parallel structure with four and six degrees of freedom]. *Mechanical Engineering and Engineering Education, Vol. 2*, 17-21 [in Russian].
5. Pavlenko, I.I., Vakhnichenko, D.V. & Hodunko, M.O. (2011). Analiz vplyvu konstruktyvnykh parametriv MPK na rukh platformy pid kutom [Research of influence of design data on corners in support MPK]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zbirnyk naukovykh prats' KNTU – Engineering in agricultural production, industry machine building, automation: Coll. Sciences. of KNTU, Vol. 24, 1*, 279–283 [in Ukrainian].
6. Pavlenko, I.I. & Valiavs'kyj, I.A. (2009). Otsinka rukhovykh mozhlyvostej heksapodu v napriamku perpendykuliarnomu napriamku do osi joho symetrii [Estimation of the motor capabilities of a hexapod in the direction perpendicular to the axis of its symmetry]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zbirnyk naukovykh prats' KNTU – Engineering in agricultural production, industry machine building, automation: Coll. Sciences. of KNTU, Vol. 22*, 3–10 [in Ukrainian].
7. Pavlenko, I.I., Kostiuk, Ye.S. & Kyslun, O.A. (2015). Doslidzhennia rukhovykh mozhlyvostej MPS pry zdijsnenni poperechnoho peremischennia vykonavchoho orhanu pid kutom [Investigation of the motor capabilities of the IPU during the transverse movement of the executive body at an angle]. *Problems of energy efficiency and automation in industry and agriculture : Mizhn. nauk.-prakt. konf. – International Scientific and Practical Conference.* (pp. 165-168). Kirovohrad: KNTU [in Ukrainian].
8. Angeles, J. (2002). *Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Theory, Methods and Algorithms* (Second Ed.). Springer [in English].
9. Merlet, J.-P. (2000). *Parallel Robots*. Kluwer Academic Publishers [in English].

Ivan Pavlenko, Prof., DSci, **Maksym Hodunko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleg Kyslun**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Evhen Kostyuk**, post-graduate

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Research Motor Capabilities of the Executive Authority (MP) PKM When Making Cross Motion Angle

For the manufacture of parts of complex shapes, it becomes necessary to move the cutting tool along the line at a certain angle. For this, machines equipped with mechanisms of parallel structure are used. Only a study of the movable capabilities of these mechanisms makes it possible to introduce them into production. The studies focus on the transverse movement of the center of the moving platform of the parallel structure mechanism for a hexapod machine, as a material point moving along a line depending on the angle of contact of the tool and the perpendicular to the plane of the work surface (axis of symmetry of the mechanism).

To determine the possible positions of the center of the moving platform, we consider a generalized scheme of the parallel structure mechanism. Given the restrictions on movement, the area of possible positions is divided into zones: Zrp - without a cutting tool; Zri - the zone of positions of the top of the instrument. The part

that is being processed is installed on the technological device, which is placed on the basis of a parallel structure mechanism. Parameters of a machine with a parallel structure mechanism: a , b - distance between the supports of the stationary carrier system and the executive body, respectively; L_{max} is the maximum length of the kinematic links; l_{min} is the minimum length of the kinematic links; l_i is the current length of the kinematic links; l is the magnitude of the transverse movement; φ is the angle of inclination of the executive body; h_i is the current position of the executive body of the mechanism of the parallel structure in height. The assessment of motor capabilities is determined by the displacement index, which is the ratio of the actual displacement value l to the theoretically possible one (taken equal to the maximum rod length L_{max}).

From the above dependencies it is seen that the influence of the motor capabilities of the rods on the relative displacement provides an increase in the displacement index in the indicator section from 0.45 to 0.65, then the section that is affected by the slope of the displacement line, with a decrease in which the displacement in the area of 0.8 up to 1 movement decreases again, this is due to the complex geometry of the service area of the working space of the machine with a parallel structure mechanism. On the effect of the ratio of the sizes of the movable to the fixed platform on the relative displacement, we have that with an increase in the indicator, the initial indicator of the relative displacement also increases, with a value of the exponent n starting from 0.6 its value decreases in all cases. The influence of the ratio of the maximum displacement of the rods to the size of the fixed platform, on the relative displacement has the opposite of the previous character. With an increase in the indicator m , the relative displacement indicator increases, with a further increase in the indicator m , it can be seen that significantly decreases the displacement indicator and with a value less than 0.6.

parallel structure mechanism, machine tool, hexapod

Одержано (Received) 04.07.2020

Прорецензовано (Reviewed) 06.08.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.787.4

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).129-135](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).129-135)

В.О. Дзюра, доц., канд. техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

e-mail: volodymyrdzyura@gmail.com

Класифікація частково регулярних мікрорельєфів, сформованих на торцевих поверхнях тіл обертання

В статті проведено аналіз відомих класифікацій регулярних мікрорельєфів по наукових публікаціях та нормативних документах. Проаналізовані параметри за якими класифікують регулярні мікрорельєфи і їх характеристики. Встановлено відсутність інформації про класифікацію частково регулярних мікрорельєфів, що сформовані на торцевих поверхнях тіл обертання як нового класу мікрорельєфів. Запропонована класифікація розкриває множину варіантів реалізації частково регулярних мікрорельєфів, що сформовані на торцевих поверхнях тіл обертання та їх характеристики.

частково регулярний мікрорельєф, канавка, профіль, класифікація, параметр, ознака

В.О. Дзюра, доц., канд. техн. наук

Тернопольский государственный технический университет имени Ивана Пулюя, г. Тернополь, Украина

Классификация частично регулярных микрорельеф, сформированных на торцевых поверхности тел вращения

В статье проведен анализ известных классификаций регулярных микрорельефов по научным публикациям и нормативным документам. Проанализированы параметры по которым классифицируют регулярные микрорельефы и их характеристики. Установлено отсутствие информации о классификации частично регулярных микрорельефов, сформированных на торцевых поверхностях тел вращения как нового класса микрорельефов. Предложенная классификация раскрывает множество вариантов реализации частично регулярных микрорельефов, сформированных на торцевых поверхностях тел вращения и их характеристики.

частично регулярный микрорельеф, канавка, профиль, классификация, параметр, признак

Постановка проблеми. У сучасних машинах та інструментальному технологічному оснащенні існує цілий ряд деталей, які свої функціональні призначення виконують торцевими плоскими або конічними поверхнями. До таких деталей відносяться: конічні диски варіаторів автоматичних трансмісій автомобілів та зернозбиральних комбайнів, деталі торцевих конічних і осьових підшипників [1], гребені турбокомпресорів магістральних газопроводів [2], вирубні і витяжні пуансони штампів, матриці і пуансони пресформ, клапани газорозподільчих механізмів двигунів внутрішнього згорання та інші.

До робочих поверхонь таких деталей ставляться підвищені вимоги до їх зносостійкості, що у кінцевому рахунку забезпечує підвищення їх роботоздатності і довговічності.

Одним із перспективних і ефективних методів покращення фізико-механічних властивостей робочих поверхонь вищезгаданих деталей є метод поверхневого пластичного деформування вібраційним обкочуванням, який забезпечує формування регулярних мікрорельєфів із зміцненням цих поверхонь.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фундаментальні дослідження в напрямку класифікації регулярних мікрорельєфів (РМ), визначення параметрів і встановлення їх впливу на якісні показники функціональних поверхонь деталей машин здійснено науковою школою під керівництвом Ю.Г. Шнейдера [3, 4] і регламентовано діючим стандартом ГОСТ 24773-81.

В роботі [4] вперше подана класифікація способів утворення заглиблень на поверхнях деталей машин і приладів. За цією класифікацією ці заглиблення поділяють на два види: дискретні і неперервні. До дискретного виду віднесені заглиблення утворені такими способами: свердлінням за розміткою або в кондукторі; вихрове точіння; вихрове фрезерування; вібродинамічне обкочування і травлення через трафарет. До неперервного виду утворення заглиблень на поверхнях деталей машин віднесено наступні способи: проточування кільцевих і гвинтових канавок; проточування канавок складної форми за копіром; фрезерування канавок складної форми за копіром або з використанням верстатів з ЧПК; накатування профільним роликком; вібраційне обкочування; травлення після вібраційного обкочування.

Більш детальну класифікацію регулярних мікрорельєфів (РМ) сформованих вібраційним обкочуванням і її особливості запропоновано Шнейдером Ю.Г. [4]. Відповідно до [4] РМ поділяють на:

- класи – з елементами увігнутої форми і елементами випуклої форми;
- групи – із системами канавок і повністю нові мікрорельєфи;
- види – з канавками, які дотикаються, не дотикаються, перетинаються, сітчасті, синусоїдальні;
- типи – чотирикутні, шестикутні.

Діючий стандарт [5] регламентує класифікацію РМ дещо узагальнену, щодо повністю регулярних мікрорельєфів (ПРМ) і більш детальну відносно частково регулярних мікрорельєфів (ЧРМ). Згідно з ГОСТ 24773-81 ЧРМ поділяються на дві групи з: дискретними регулярними мікронерівностями (ДРМ) і неперервними регулярними мікронерівностями (НРМ). До ДРМ відносять регулярні мікронерівності границя яких являє собою замкнуту лінію. До НРМ віднесено регулярно розміщені мікронерівності границя яких являють собою дві незамкнуті лінії.

Окремої уваги заслуговує аналіз дослідження процесів формування РМ здійснений київською науковою школою під керівництвом Киричика П.О. [5–7]. Особливістю цих досліджень є те, що для забезпечення підвищення експлуатаційних властивостей робочих поверхонь деталей машин вперше було реалізовано поєднання дії різних фізико-технічних чинників. Формування РМР здійснювалось при одночасній взаємодії таких факторів: поверхнева пластична деформація і одночасне зміцнення; лазерне опромінювання зони деформування і комбінований вплив прозорих

деформуючих елементів та тепловий імпульсний удар; комплексна оздоблювально-зміцнююча обробка. Для реалізації запропонованих технологічних процесів утворення РМР, враховуючи наявність різноманітного існуючого технологічно-інструментального оснащення, вперше запропонована класифікація пристроїв та деформуючих елементів. В основу цієї класифікації покладено технологічне забезпечення утворення РМР на робочих поверхнях деталей машин і їх експлуатаційні властивості.

Існуючі НРН на циліндричних і частково на плоских поверхнях досить повно і детально досліджені і роботах [3, 4, 5, 8]. В результаті встановлені параметри і характеристики ПРМ і ЧРМ.

Що стосується класифікації ЧРМ, що сформовані на торцевих поверхнях тіл обертання (ТПТО) і кінематики їх формування, то на даний час у науковій літературі ця проблема практично не висвітлена.

Тому запропоновані дослідження усувають цю прогалину і дозволяють створити класифікацію ЧРМ, які сформовані на ТПТО і обґрунтувати параметри таких мікрорельєфів, що в кінцевому результаті є основою для створення технологічних процесів формування ЧРМ на ТПТО.

Постановка завдання. Метою статті є здійснення класифікації частково регулярних мікрорельєфів, які сформовані на торцевих поверхнях тіл обертання.

Виклад основного матеріалу. При класифікації ЧРМ на ТПТО прийняті такі допущення.

1. Відношення частоти осциляцій деформуючого елемента і частоти обертання заготовки – величина постійна.

2. Сторони канавки (елемента поверхні з ЧРМ) V-подібного вигляду еквідистантно розміщені від осьової лінії регулярної мікронерівності приймаємо як прямі лінії.

3. Кутовий крок ЧРМ на ТПТО величина постійна.

Класифікація ЧРМ на ТПТО побудована у вигляді ієрархічної системи: клас – ознаки класифікації – підознака – характеристики цих підознак, яка структуризована на основі кінематики технологічного процесу формування ЧРМ.

Ознаками класифікації запропоновано прийняти: способи формування ЧРМ; форму осьової лінії НРМ; взаємне розташування суміжних канавок; взаємне розміщення осьових ліній НРМ; форми канавок.

Кожна із цих ознак поділяється на певні підознаки, які складаються із відповідних характеристик, що виражаються елементами режиму вібраційного обкочування, розмірними параметрами елементів канавок, їх взаємним розміщенням.

Слід також відзначити, що запропонована класифікація містить підхід загальноприйнятої класифікації РМ згідно [3], зокрема за формою та видами канавок. (рис. 1).

Окрім цього ця класифікація дозволяє згенерувати велику кількість видів ЧРМ, що формуються на ТПТО як вібраційним та і ротаційним методами. Кожна із запропонованих класифікаційних ознак чинить суттєвий вплив на геометричні параметри сформованого ЧРМ і, відповідно, на експлуатаційні властивості поверхні, на якій він сформований.

Необхідно відзначити, що внаслідок певних особливостей кінематики формування ЧРМ для ТПТО, окрім параметрів регламентованих в ГОСТ 24773-81 запропоновані параметри, які враховують саме ці особливості технологічного процесу формування ЧРМ на ТПТО.

Такими особливостями кінематики технологічного процесу формування ЧРМ на ТПТО є формування осьових ліній неперервних регулярних мікронерівностей у вигляді концентричних кіл, Архімедової та золотої спіралей. Тому одним із головний ознак класифікації ЧРМ сформованих на ТПТО будуть рівняння цих ліній.

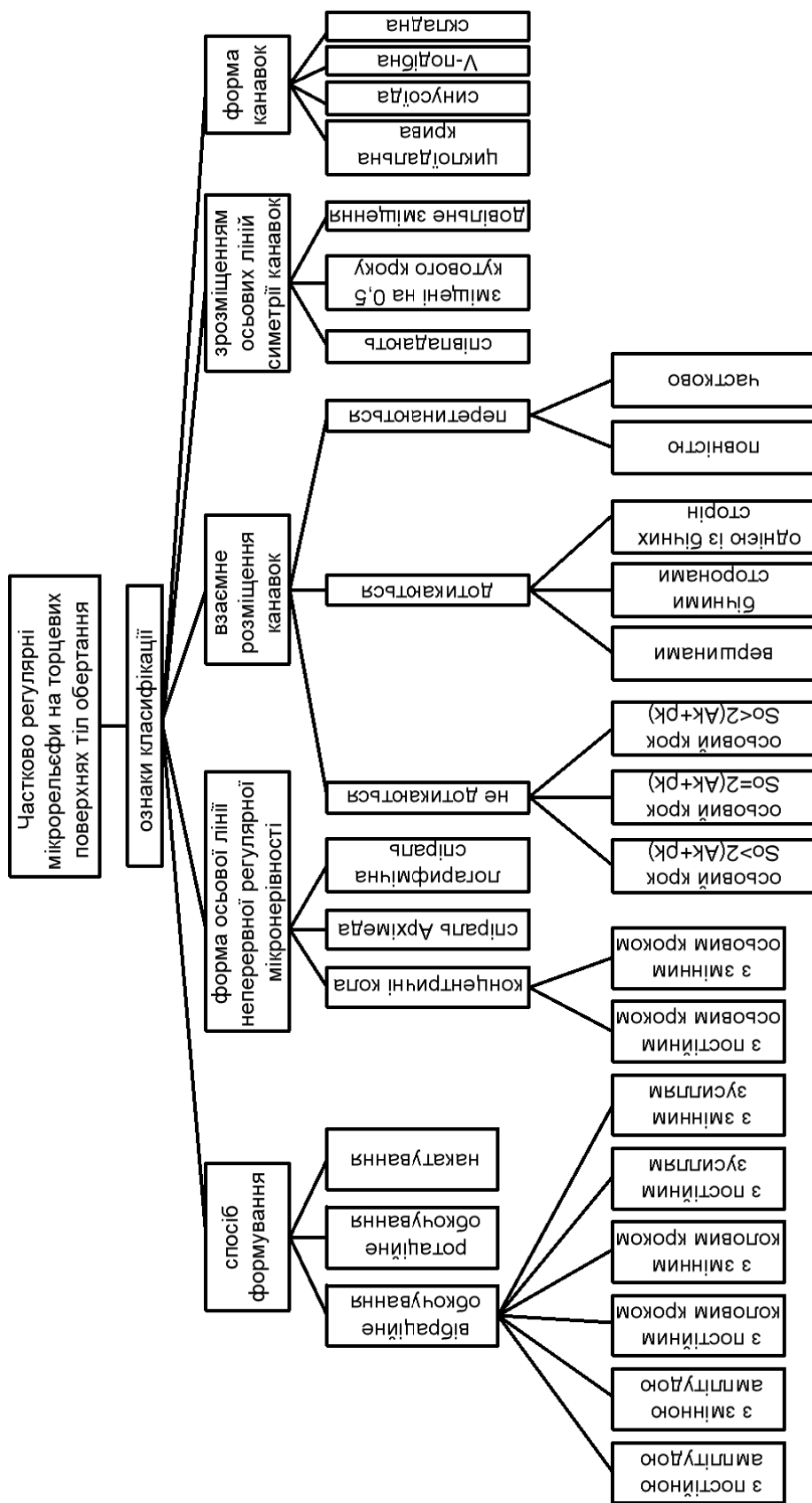


Рисунок 1 – Класифікація частково регулярних мікрорельєфів, сформованих на торцевих поверхнях тіл обертання
Джерело: розроблено автором на підставі особисто

Враховуючи особливості кінематики формування ЧРМ на ТПТО, які полягають в одночасному здійсненні відповідних погоджених рухів: обертового ТПТО, зворотно-поступального (осциляційного) і радіального деформуючого елемента на різних відстанях від центра ТПТО, при однакових за величиною кутових кроках будуть різними колові кроки НРМ (рис. 2). У випадку, коли осьові лінії НРМ являють собою концентричні кола із різними радіусами, то такий параметр, як признак класифікації, осьовий крок S_o нерівностей може бути як постійним так і змінним.

Для осьових ліній НРМ у вигляді спіралей: логарифмічної чи Архімеда величини осьових кроків S_o будуть змінними або постійними відповідно.

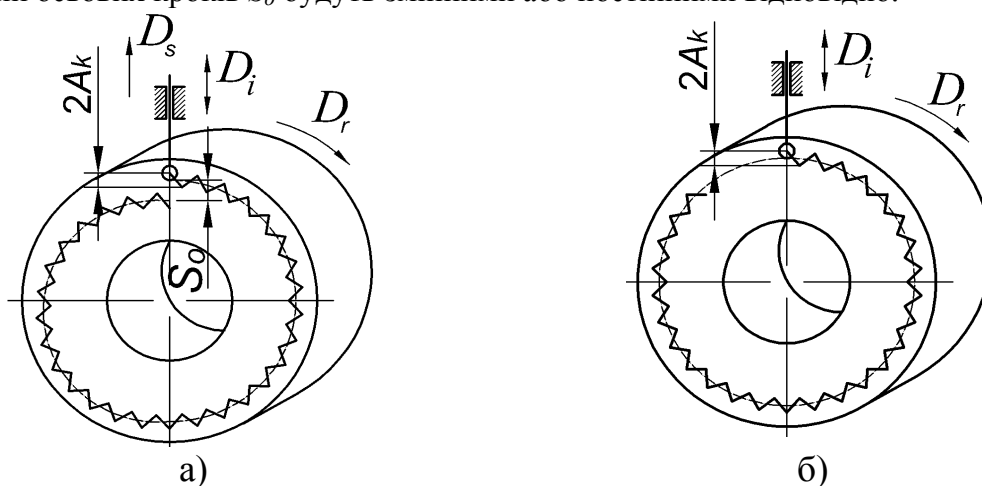


Рисунок 2 – Технологічні схеми формування ЧРМ на ТПТО із осьовими лініями неперервних регулярних мікронерівностей у вигляді: а) спіралі Архімеда; б) концентричного кола
Джерело: розроблено автором за підставі [3]

На основі вищеподаного, ЧРМ сформовані на ТПТО запропоновано додатково класифікувати за характером як дискретної зміни радіусів колових кроків осьових ліній НРМ при концентричних колах так і при постійній зміні радіусів осьових ліній НРМ, виконаних у вигляді золотої спіралі та спіралі Архімеда.

Окрім цього необхідно враховувати характер зміни величини кутових кроків ЧРМ.

Додаткова класифікація ЧРМ сформованих на ТПТО, за характером зміни радіусів концентричних кіл r_i і осьового кроку S_{oi} проілюстровано на рис. 3.

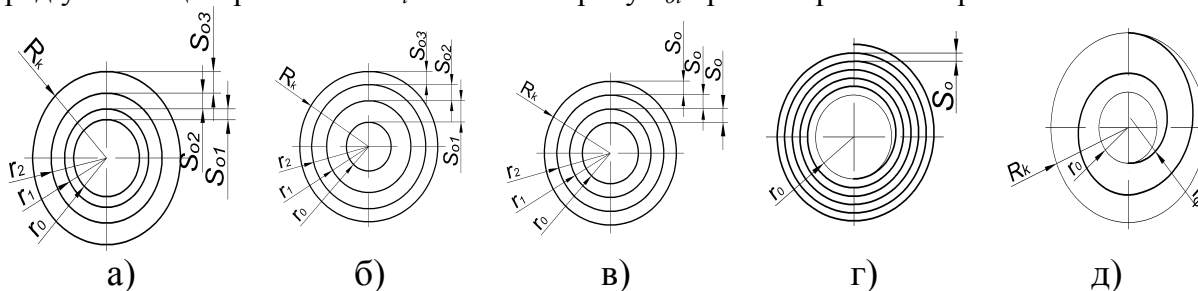


Рисунок 3 – Класифікація ЧРМ сформованих на ТПТО за характером дискретної і неперервної зміни радіусів r колових і спіральних осьових ліній НРМ і осьових кроків S_o
Джерело: розроблено автором особисто

У випадку виконання осьових ліній НРМ у вигляді концентричних кіл з дискретним змінним і зростаючим від центра ТПТО до периферії радіусом r_i і дискретно зростаючим осьовим кроком S_{oi} мікронерівностей (рис. 3.а), ознакою класифікації є умова $S_{o1} = r_1 - r_2 < S_{o2} = r_2 - r_1 < S_{o3} = R_k - r_2$

де S_{o1}, S_{o2}, S_{o3} – відповідно дискретно зростаючі осьові кроки, мм;
 r_1, r_2 – біжучі значення радіусів осьових ліній НРМ, мм;

r_o і R_k – відповідно найменше і кінцеве значення радіусів осьових ліній НРМ, які встановлюються на основі аналізу конструкції поверхні деталі, якій потрібно формувати ЧРМ.

У випадку виконання осьових ліній НРМ у вигляді концентричних кіл з дискретним змінним і зростаючим від центра ТПТО до периферії осьовим кроком S_o , (рис. 3.б) ознакою класифікації є умова: $S_{o1} = r_1 - r_2 > S_{o2} = r_2 - r_1 > S_{o3} = R_k - r_2$.

У випадку виконання осьових ліній НРМ у вигляді концентричних кіл з дискретним змінним і зростаючим від центра ТПТО до периферії радіусом r і постійним за величиною осьовим кроком $S_o = \text{const}$, (рис. 3.в) ознакою класифікації є умова: $S_o = r_1 - r_0 = r_2 - r_1 = R_k - r_2 = \text{const}$.

Для ЧРМ сформованих на ТПТО коли осьова лінія НРМ виконана у вигляді спіралі Архімеда з постійним осьовим кроком (рис.3.г) $S_o = \text{const}$ ознака класифікації набуде вигляду:

$$r_\phi = \frac{S_o \cdot \phi \cdot \pi}{180^\circ}; \quad \phi_o = \frac{r_o \cdot 180^\circ}{\pi \cdot S_o} \text{ (град)}; \quad \phi_k = \frac{r_k \cdot 180^\circ}{\pi \cdot S_o} \text{ (град)}; \quad z_{S_o} = \frac{(R_k - r_k) \cdot 180^\circ}{\pi \cdot S_o}.$$

де r_ϕ – біжуче значення радіуса осьової лінії НРМ виконаної у вигляді Архімедової спіралі;

z_{S_o} – кількість осьових кроків.

У випадку виконання осьових ліній НРМ у вигляді «золотої» спіралі Архімеда (рис.2.д) ознака класифікації матиме вигляд:

$$r = \frac{a \cdot \phi \cdot e^{0,3} \cdot \pi}{180^\circ}; \quad \phi_o = \frac{r_o \cdot 180^\circ}{0,3 \cdot a \cdot \pi} \text{ (град)}; \quad \phi_k = \frac{R_k \cdot 180^\circ}{0,3 \cdot a \cdot \pi} \text{ (град)}.$$

де a – постійна константа.

Висновки:

1. В результаті аналізу літературних джерел встановлено відсутність наукових досліджень і практичних реалізацій в області класифікації формування ЧРМР на ТПТО, що значно знижує якісні показники деталей машин з функціональними торцевими поверхнями.

2. Вперше запропонована класифікація ЧРМ сформованих на ТПТО, здійснена на основі особливостей кінематики технологічного процесу формування ЧРМ, яка може бути основою для створення математичних моделей ЧРМР і визначення відносної площі віброобкочування.

3. Вперше отримані аналітичні залежності для визначення параметра класифікації ЧРМ сформованого на ТПТО за характером зміни радіусів осьових ліній НРМ і їх осьових кроків.

Список літератури

1. Воронков Б. Д. Подшипники сухого трения. 2-е изд., перераб. и доп. Л.; Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. 224 с.
2. Устройство и эксплуатация газотурбинных установок : учебное пособие / под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. Тюмень : ТюмГНГУ, 2015. 434 с.
3. Шнейдер Ю. Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства. Л.: Машиностроение, 1972. 241 с.
4. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. 2-е изд., перераб. и доп. Л. : Машиностроение, 1982. 248 с.
5. Киричок П.О. Технологічне забезпечення якості та експлуатаційних властивостей виробів при оздоблювально-зміцнюючій обробці: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.02.08. Київ, 1995. 32 с.
6. Киричок П.О., Несхозівський А.В. Дослідження впливу параметрів микрорельєфу на якість обробки деталі експлуатаційні характеристики поліграфічного обладнання. *Технологічні комплекси*. 2007. № 3–4. С. 74–80.

7. Киричок П. О., Попов І. В. Класифікація пристроїв для оздоблювально-зміцнюючої обробки деталей поліграфічного обладнання. *Технологія і техніка друкарства : зб. наук. праць*. 2011. Вип. 2(32). С. 181–185.
8. Табенкин А.Н., Тарасов С.Б., Стаканов С.Н. Шероховатость, волнистость, профиль. *Международный опыт / под ред. канд. техн. наук Н.А. Табачниковой*. СПб.: Изд-во Политехн, ун-та, 2007. 136 с.

References

1. Voronkov, B.D. (1979). *Dry friction bearings*. (2nd ed.). Leningrad: Mashinostroenie [in Russian].
2. Zemenkova, Yu.D (Eds.). (2015). *The device and operation of gas turbines*. Tjumen' : TjumGNGU [in Russian].
3. Schneider, Yu. G. (1972). *Obrazovanie reguljarnyh mikrorel'efov na detaljah i ih jekspluatacionnye svoystva. [Formation of regular microreliefs on details and their operational properties]*. Leningrad: Mashinostroenie [in Russian].
4. Schneider, Yu.G. (1982). *Operational properties of details with a regular microrelief*. (2nd ed.). Leningrad: Mashinostroenie [in Russian].
5. Kuruchok, P.O. (1995). Tekhnologichne zabezpechennia yakosti ta ekspluatatsijnykh vlastyvostrych vyrobiv pry ozdobljuval'no-zmitsniuiuchij obrobtisi [Technological assurance of quality and operational properties of products at finishing and strengthening processing]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" [in Ukrainian].
6. Kuruchok, P.O. & Neskhozievsky, A.B. (2007). Doslidzhennia vplyvu parametriv mikrorel'iefu na yakist' obrobky detalii ekspluatatsijni kharakterystyky polihrafichnoho obladnannia [Investigation of the influence of microrelief parameters on the quality of detail processing and operational characteristics of printing equipment]. *Tekhnologichni komplekxy – Technological complexes, Vol.3–4*, 74–80. [in Ukrainian].
7. Kyrychok, P.O. & Popov, I.V. (2011). Klyasyfikatsiia prystroiv dlia ozdobljuval'no-zmitsniuiuchoi obrobky detalij polihrafichnoho obladnannia [Classification of devices for finishing and strengthening processing of details of printing equipment]. *Tekhnologhiia i tekhnika drukarstva : zb. nauk. prats' – Technology and printing technology: a collection of scientific papers, Vol. 2 (32)*, 181–185. [in Ukrainian].
8. Tabenkin, A.N., Tarasov, S.B. & Stakanov, S.N. (2007). *Roughness, undulation, profile. International experience*. N.A. Tabachnikovo (Ed.). SPb.: Izd-vo Politehn, un-ta [in Russian].

Volodymyr Dzyura, Assoc. Prof., PhD tech sci.

Ternopil Ivan Puluji National Technical University, Ternopil, Ukraine

Classification of Partially Regular Microreliefs Formed on the End Surfaces of Rotary Bodies

The aim of the article is to classify partially regular microreliefs that are formed on the end surfaces of rotating bodies.

The article analyzes the known classifications of regular microreliefs in scientific publications and regulations. The parameters by which regular microreliefs are classified and their characteristics are analyzed. The lack of information on the classification of partially regular microreliefs formed on the end surfaces of rotating bodies as a new class of microreliefs has been established. The proposed classification reveals a set of options for the implementation of partially regular microreliefs formed on the end surfaces of bodies of rotation and their characteristics.

For the first time the classification of partially regular microreliefs that are formed on the end surfaces of rotating bodies is offered, carried out on the basis of features of kinematics of technological process. It can be a basis for creation of their mathematical models and definition of the relative area of vibro-rolling.

Signs of classification are proposed to take: methods of forming a partially regular microrelief; the shape of the centerline of continuous regular micro-irregularities; mutual arrangement of adjacent grooves; mutual placement of axial lines of continuous regular micro-inequalities; groove shapes.

Each of these features is divided into certain sub-features, which consist of the corresponding characteristics, which are expressed by the elements of the mode of vibration rolling, the dimensional parameters of the elements of the grooves, their mutual placement.

For the first time, analytical dependences were obtained to determine the parameter of partially regular microreliefs classification formed on the end surfaces of rotating bodies by the nature of the change in the radii of the axial lines and their axial steps.

partially regular microrelief, groove, profile, classification, parameter, feature

Одержано (Received) 23.07.2020

Прорецензовано (Reviewed) 10.08.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.577:658

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).136-142](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).136-142)**М.В. Босий**, ст. викл., **О.В. Кузик**, доц., канд. техн. наук*Центральнoукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна**e-mail: bosiytv@ukr.net*

Ефективність циклу теплового насоса для теплопостачання

В статті проведено аналіз ефективності застосування теплового насоса в системах теплопостачання при використанні різних джерел теплової енергії. Представлено результати дослідження ефективності застосування теплового насоса при використанні природних вод як джерела низькопотенційної теплової енергії. Виконано енергетичний і ексергетичний аналіз показників ефективності теплового насоса, робочим тілом якого є фреон R134a. Енергетичну ефективність циклу теплового насоса оцінювали коефіцієнтом перетворення теплового насоса. Термодинамічну ефективність теплового насоса в системах теплопостачання розглядали за допомогою ексергетичного ККД, який є одним із основних показників ефективності процесів і циклів теплового насоса. Наведено розрахунок ексергетичного коефіцієнта корисної дії для діапазону температури навколишнього середовища від +10 до -10 °С.

тепловий насос, коефіцієнт перетворення теплового насоса, система теплопостачання, низькопотенційне джерело енергії

Н.В. Босий, ст.препод., **А.В. Кузык**, доц., канд. техн. наук*Центральнoукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Эффективность цикла теплового насоса для теплоснабжения

В статье проведен анализ эффективности применения теплового насоса в системах теплоснабжения при использовании различных источников тепловой энергии. Представлены результаты исследования эффективности применения теплового насоса при использовании природных вод как источника низкопотенциальной тепловой энергии. Выполнен энергетический и эксергетический анализ показателей эффективности теплового насоса, рабочим телом которого является фреон R134a. Энергетическую эффективность цикла теплового насоса определяли коэффициентом преобразования теплового насоса. Термодинамическую эффективность теплового насоса в системах теплоснабжения оценивали с помощью эксергетического КПД, который является одним из основных показателей эффективности процессов и циклов теплового насоса. Приведен расчет эксергетического коэффициента полезного действия для диапазона температуры окружающей среды от +10 до -10 °С.

тепловой насос, коэффициент преобразования теплового насоса, система теплоснабжения, низкопотенциальный источник энергии

Постановка проблеми. Наразі в галузі теплозабезпечення перспективним вважається використання новітньої теплонасосної технології як альтернативних джерел теплопостачання [1,2]. Тому важливим завданням є аналіз ефективності теплових процесів в системах теплопостачання із застосуванням теплонасосних технологій. Це дасть змогу оцінити ефективність теплового насоса (ТН) на основі використання енергетичного і ексергетичного методів для проектування вискоефективного енерготехнологічного обладнання [3-5].

Основна системна перевага теплових насосів у порівнянні з іншими теплоджерелами полягає в можливості використання у теплопостачанні потоків низькопотенційних природних джерел теплоти і вторинних енергоресурсів. В умовах функціонування досить активного ринку теплогенеруючого устаткування з широким спектром конструктивних рішень, режимних параметрів, опцій і цін необхідно сформулювати комплексний підхід і певну базу знань для вибору раціональних рішень в області теплопостачання в будь-якому секторі економіки і побуту [7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теплові насоси – це компактні, економічні та екологічно чисті системи опалення, що дозволяють отримувати теплоту для гарячого водопостачання та опалення приміщень за рахунок використання теплоти низькопотенційного джерела зовнішнього повітря, ґрунту, ґрунтових, артезіанських та термальних вод; природних вод річок, озер, морів; промислових та очищених побутових стоків; вод технологічних циклів. Витративши 1кВт електричної енергії, можна отримати 3-5 кВт теплової енергії для опалення [6-8].

Завдяки високій енергоефективності теплових насосів все більше роблять вибір на користь таких систем для опалення приміщень і нагрівання води [4].

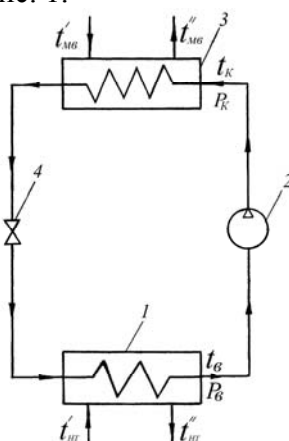
Тепловий насос переносить теплоту від більш холодного тіла до більш нагрітого завдяки випаровуванню і конденсації, при використанні практично всіх джерел низькопотенційної теплоти. Теплонасосні установки доцільно використовувати в системах теплопостачання тому, що вони показали свою ефективність завдяки передачі споживачеві в 3...5 разів більше енергії, ніж витрачають на її передачу. Крім того, в теплових насосах використовуються екологічно чисті технології практично без викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище [5,7,15].

Найбільшого використання теплонасосні установки набувають для теплопостачання, гарячого водопостачання житлових і виробничих будівель, забезпечення тепловою енергією потрібного потенціалу ряду технологічних процесів – це, наприклад, сушіння, дистиляція, тепла обробка; тепло- та холодопостачання сільськогосподарських об'єктів (молочно-товарних ферм, фруктосховищ, зерносховищ та ін.).

Постановка завдання. Метою статті є дослідження ефективності використання парокомпресійного циклу теплового насоса в системі теплопостачання.

Виклад основного матеріалу. При застосуванні парокомпресійного циклу ТН можна отримати теплоносій з температурою 55...75 °С. Найбільш ефективним робочим тілом парокомпресійного циклу ТН при заданих умовах є фреон R134a [3]. При виборі фреону для ТН важливим є діапазон робочих температур. Коефіцієнт перетворення теплоти μ теплового насоса визначається властивостями фреону [3,4,7]. При виборі найбільш ефективного робочого тіла для ТН необхідно враховувати екологічні, енергетичні та економічні аспекти [7,15].

Найбільшого поширення набули парокомпресійні теплові насоси, в яких в якості робочого агента, використовуються фреони. Схема парокомпресійного циклу теплового насоса наведена на рис. 1.



1 – випарник; 2 – компресор; 3 – конденсатор; 4 – дросельний вентиль

Рисунок 1 – Схема парокомпресійного циклу теплового насоса

Джерело: розроблено автором на підставі [5]

Тепловий насос працює за таким принципом: рідкий фреон, відбираючи теплоту від низькопотенційного джерела, нагрівається і переходить в газоподібний стан у випарнику 1. Далі, газоподібний фреон надходить до компресора 2 де його тиск підвищується від 0,3 до 2,0 МПа. При такому стискуванні температура фреона різко збільшується. Саме на цьому етапі відбувається перетворення енергії великого об'єму газу з низькою температурою в малий об'єм газу з високою температурою до 75-95°C. При цьому, загальна енергія газу до і після компресора 2 залишається незмінною. Теплова енергія газу (фреону) в конденсаторі 3 передається в систему теплоспоживання. Передача теплоти відбувається внаслідок охолодження фреону і переходу його з газоподібного в рідкий стан, при цьому теплоносії опалювального контуру нагрівається до 60-70°C. Фреон, як і раніше, знаходиться під тиском 2,0 МПа. Потім відбувається зниження тиску до 0,3 МПа дросельним вентилем 4. В результаті падіння тиску відбувається значне охолодження фреону до 0-3°C, і з такою температурою він знову потрапляє у випарник 1. У випарнику 1 під дією підведеної до нього низькопотенційної теплоти фреон переходить у газоподібний стан, а за допомогою конденсатора 3 перетворюється у рідкий стан і цикл знову повторюється.

Проведемо аналіз ефективності теплового насоса, робочим тілом якого є холодоагент R134a [3]. Для холодоагента R134a температура випаровування становить $t_B = 2...5^\circ\text{C}$, а конденсації – $t_K = 70^\circ\text{C}$. Природна вода на вході у випарник має температуру $t'_{HT} = 8...10^\circ\text{C}$, а на виході з нього – $t''_{HT} = 4...6^\circ\text{C}$. Температура мережевої води (теплоносія) на вході в конденсатор становить $t'_{MB} = 35^\circ\text{C}$, а на виході з нього – $t''_{MB} = 70^\circ\text{C}$.

Для визначення показників ефективності парокомпресійного циклу ТН використовуємо наступні показники і рівняння:

– роботу стиснення в компресорі

$$l_{CT} = h_2 - h_1, \quad (1)$$

де h_1 та h_2 – ентальпія робочого тіла на вході та на виході з компресора, кДж/кг;

– рівняння теплового балансу ТН циклу

$$q_B + l_{CT} = q_K, \quad (2)$$

де q_B – енергія, яка отримана при випаровуванні у випарнику ТН, кДж/кг;

l_{CT} – робота стиснення в компресорі, кДж/кг;

q_K – енергія, яка отримана при конденсації в конденсаторі ТН, кДж/кг;

– теплове навантаження ТН

$$q_{TH} = q_K, \quad (3)$$

де q_K – енергія, що отримана при конденсації робочого тіла в конденсаторі ТН, кДж/кг;

– питому енергію, яка спожита електродвигуном компресора ТН

$$W = l_{CT} / \eta_{em} \eta_e, \quad (4)$$

де η_{em} – ККД електромеханічний; η_e – ККД електричний.

Енергетична ефективність парокомпресійного циклу ТН визначається коефіцієнтом перетворення

$$\mu = q_K / l_{CT}. \quad (5)$$

На рис. 2 наведено приклад циклу роботи ТН в $p-h$ діаграмі для робочого тіла R134a. Лінія 4-1'' відповідає процесу кипіння R134a у випарнику ТН при температурі кипіння $+2^\circ\text{C}$ (т. 4 – хладон у стані вологої насиченої пари; т. 1'' – суха насичена пара; лінія 1''-1 – регенеративний підігрів насичених парів хладону теплотою гарячого рідкого хладону до стану перегрітої пари; лінія 1-2 – відповідає адиабатній (у реальному циклі політропній) роботі стиснення хладону в компресорі. Процес 2-2''-3 – відведення теплоти високому потенціалу – технологічній (мережевій) воді (конденсація хладона

при температурі конденсації $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$). Процес 3-4 – дроселювання хладону до тиску, що відповідає температурі кипіння.

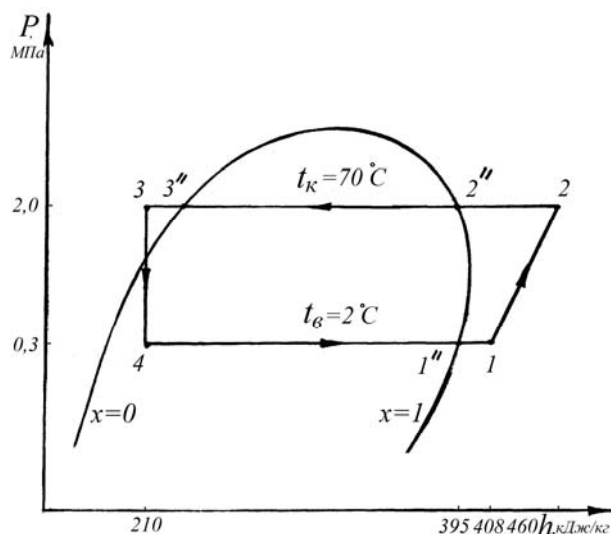


Рисунок – 2 – Цикл роботи ТН в p - h діаграмі для робочого тіла R134a

Джерело: розроблено автором на підставі [5]

Аналіз парокompресійного циклу ТН з фреоном R134a, дав можливість визначити показники ефективності циклу, які наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Показники ефективності парокompресійного циклу ТН

Фреон	Питоме теплове навантаження у випарнику q_v , кДж/кг	Питоме теплове навантаження у конденсаторі q_k , кДж/кг	Коефіцієнт перетворення μ
R134a	198	250	4,8

Джерело: розроблено автором на підставі [5]

Виходячи з розрахунків парокompресійного циклу ТН, можна зробити висновок, що ефективність роботи ТН тим вища, чим вищий коефіцієнт перетворення ТН. Визначено, що найбільш перспективним є ексергетичний метод аналізу, що дає можливість оцінити термодинамічну досконалість ТН та визначити ефективність роботи ТН при використанні робочого агента R134a. Для цього розглянемо сукупність необхідних формул [3,5-15] для проведення експериментального аналізу:

– ексергія e_v , віддана низькопотенційним теплоносієм у випарнику, кДж/кг:

$$\ddot{e}_v = \tau_v q_v; \quad (6)$$

де τ_v – ексергетична температура низькопотенційного теплоносія

$$\tau_v = \frac{T_{\text{ср.нт.}} - (t_0 + 273)}{T_{\text{ср.нт.}}}; \quad (7)$$

де t_0 – температура навколишнього середовища, К

– середня логарифмічна температура низькопотенційного теплоносія, К

$$T_{\text{ср.нт.}} = \frac{t'_{\text{нт}} - t''_{\text{нт}}}{\ln \frac{t'_{\text{нт}} + 273}{t''_{\text{нт}} - 273}}; \quad (8)$$

– ексергія e_k , отримана високопотенційним джерелом у конденсаторі, кДж/кг

$$e_k = \tau_k q_k; \quad (9)$$

де τ_k – ексергетична температура високопотенційного теплоносія;

$$\tau_k = \frac{T_{\text{ср.мв.}} - (t_0 + 273)}{T_{\text{ср.мв.}}}; \quad (10)$$

– середня логарифмічна температура гарячого теплоносія, К

$$T_{\text{ср.мв.}} = \frac{t''_{\text{МВ}} - t'_{\text{МВ}}}{\ln \frac{t''_{\text{МВ}} + 273}{t'_{\text{МВ}} - 273}}; \quad (11)$$

– ексергія електроенергії, що витрачається на привід компресора, кДж/кг

$$e_e = \frac{l_{\text{ст}}}{\eta_{\text{е.м.}} \eta_e}; \quad (12)$$

– ексергетичний ККД η_e ТН визначається, як відношення ексергії вихідних потоків до ексергії вхідних потоків

$$\eta_e = \frac{e_{\text{вих}}}{e_{\text{вх}}} = \frac{e_k}{e_b + e_{\text{ел}}}. \quad (13)$$

Результати ексергетичного аналізу парокompресійного циклу ТН з фреоном R134a в залежності від температури навколишнього середовища наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати ексергетичного аналізу парокompресійного циклу ТН

Температура навк. серед. $t_{\text{нс.}}$, °С	Ексергія e_b , кДж/кг	Ексергія e_k , кДж/кг	Ексергетичний ККД η_e
10	8,38	37,56	0,50
0	14,55	43,48	0,53
-10	20,02	50,37	0,56

Джерело: розроблено автором на підставі [5]

Висновки:

1. Проведено енергетичний і ексергетичний аналіз показників ефективності теплового насоса, робочим тілом якого є фреон R134a з коефіцієнтом перетворення $\mu=4,8$. Визначено, що такий тепловий насос є надійним, високоефективним, екологічно безпечним джерелом енергії для використання у системах тепlopостачання.

2. З'ясовано, що теплонасосна система опалення буде завжди споживати менше первинної енергії, ніж традиційні системи опалення у разі використання природніх вод як низькотемпературного джерела теплоти для теплового насоса.

3. Визначено, що ефективність парокompресійного циклу теплового насоса значною мірою залежить від температури низькопотенційних джерел теплоти. Енергетичного ефекту від застосування теплового насоса можна досягти за рахунок одержання теплоти із мінімальними втратами енергії.

4. Показано, що застосування теплового насоса у системах тепlopостачання зменшує викиди парникових газів в порівнянні із звичайними видами тепlopостачання, що є актуальним для екологічного стану навколишнього середовища.

Список літератури

1. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы. Москва: Энергоиздат. 1982. 224 с.

2. Драганов Б.Х., Долінський А.А., Міщенко А.В., Письменний С.М. Теплотехніка: підручник.; за ред. Драганова Б.Х. Київ: «ІНКОС», 2005. 504 с.
3. Трубаев П.А. Гришко Б.М. Тепловые насосы: учеб. пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 134 с.
4. Хайнрих Г., Найорк Х., Нестлер В. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения: пер. с нем. Москва: Стройиздат, 1985. 351 с.
5. Ткаченко С.Й., Остапенко О.П. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2009. 176 с.
6. Остапенко О.П. Холодильна техніка та технологія. Теплові насоси: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2015. 123 с.
7. Арсеньев В.М. Теплонасосная технология энергосбережения. Суми: Вид-во СДУ, 2009. 251 с.
8. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. Москва: Энергоиздат, 1981. 320 с.
9. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа. Москва: Энергия, 1973. 296 с.
10. Мартыновский В.С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов; под ред. Бродянского В.М. Москва: Энергия, 1979. 288 с.
11. Арсеньев В.М., Гречаненко В.А. Эксергетическая оценка эффективности теплонасосной технологии энергосбережений. *Вісник Сумського державного університету*. 2002. №9(42). С.81-85.
12. Эксергетические расчеты технических систем: справочное пособие / под ред. Долинского А.А. и Бродянского В.М. Киев: Наукова думка, 1991. 360 с.
13. Денисова А.Е., Боднар И.А., Денисова А.С. Теплонасосные системы с использованием грунтовых вод для систем теплоснабжения. *PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE*. 2015. №2(28). С.67-75.
14. Денисова А.Е., Бірюк В.Ю. Аналіз парокомпресійного циклу теплонасосних станцій теплопостачання. *Праці ОНПУ*. 2012. №1(38). С.125-128.
15. Арсеньев В.М., Мелейчук С.С. Теплові насоси:основи теорії і розрахунку: навч. посібн. Суми.СДУ, 2018. 364 с.

References

1. Ray D., McMill D. (1982). *Teplovye nasosy [Heat pumps]*. Moscow: Energoizdat [in Russian].
2. Draganov, B.H., Dolinsky, A.A., Mishchenko, A.V. & Written, E.M. (2005). *Теплотехніка [Heat engineering]*. Draganova B.H. (Ed.). Kyiv: INCOS [in Ukrainian].
3. Trubaev, P.A. &Grishko, B.M. (2010). *Teplovye nasosy [Heat pumps]*. Belgorod: BSTU Publishing House [in Russian].
4. Heinrich, G., Nayork, H. & Nestler, W. (1985). *Teplonasosnye ustanovki dlja otoplenija i gorjachego vodosnabzhenija [Heat pump installations for heating and hot water supply]*. (Trans.) Moscow: Stroyizdat [in Russian].
5. Tkachenko, S.Y. & Ostapenko, O.P. (2009). *Parokompresijni teplonasosni ustanovky v systemakh teplopostachannia [Steam compression heat pump installations in heat supply systems]*. Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].
6. Ostapenko, O.P. (2015). *Kholodyl'na tekhnika ta tekhnolohiia. Teplovi nasosy [Refrigeration equipment and technology. Heat pumps]*. Vinnytsia: VNTU, 2015. [in Ukrainian].
7. Arsenyev, V.M. (2009). *Teplonasosnaja tehnologija energozberezhenija [Heat pump technology of energy saving]*. Sumy: SDU Publishing House [in Russian].
8. Sokolov, E.Y., Brodyansky, V.M. (1981). *Jenergeticheskie osnovy transformacii tepla i processov ohlazhdenija [Energy bases of heat transformation and cooling processes]*. Moscow: Energoizdat [in Russian].
9. Brodyansky, V.M. (1973). *Jeksergeticheskij metod termodinamicheskogo analiza [Exergetic method of thermodynamic analysis]*. Moscow: Energy [in Russian].
10. Martynovsky, V.S. (1979). *Cikly, shemy i harakteristiki termotransformatorov [Cycles, schemes and characteristics of thermal transformers]*. Brodyansky, V.M. (Ed.) Moscow: Energy [in Russian].
11. Arsenyev, V.M. & Grechanenko, V.A. (2002). *Jeksergeticheskaja ocenka jeffektivnosti teplonasosnoj tehnologii jenergosberezhenij [Exergetic evaluation of the efficiency of heat pump technology of energy savings]*. *Visnik Sums'kogo derzhavnogo universitetu – Bulletin of Sumy State University, №9 (42)*, 81-85 [in Russian].
12. Dolinsky, A.A. & Brodyansky, V.M. (Eds.). (1991). *Jeksergeticheskie raschety tehniceskijh sistem [Exergetic calculations of technical systems]*. Kiev: Naukova Dumka [in Russian].
13. Denisova, A.E., Bodnar, I.A. & Denisova, A.S., (2015). *Teplonasosnye sistemy s ispol'zovaniem gruntovyh vod dlja sistem teplosnabzhenija [Heat pump systems using groundwater for heat supply systems]*, *PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE – PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE, 2 (28)*, 67-75 [in Russian].

14. Denisova, A.E. & Biryuk, V.Y. (2012). Analiz parokompresijnoho tsykladu teplotonosnykh stantsij teplopостachannia [Analysis of the steam compression cycle of heat pump heat supply stations]. *Pratsi ONPU – Proceedings of the ONPU, 1 (38)*, 125-128 [in Ukrainian].
15. Arsenyev, V.M. & Meleichuk, S.S. (2018). *Teplovi nasosy: osnovy teorii i rozrakhunku [Heat pumps: the basics of the theory and design]*. Sumi, SDU [in Ukrainian].

Mykola Bosiy, Sen. Lect., **Olexandr Kuzyk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Heat Pump Cycle Efficiency for Heat Supply

The aim of the article is to analyze the literature and scientific publications on the effectiveness of the heat pump in heat supply systems and to study the efficiency of using the steam compression cycle of a heat pump in a heat supply system. To conduct energy and exergy analysis of heat pump efficiency indicators, the working fluid of which is freon R134a, when using natural waters as a source of low-potential thermal energy.

The article analyzes the literature sources and scientific publications on the effectiveness of the heat pump in heat supply systems. The results of research of efficiency of application of the heat pump in systems of heat supply at use of natural waters as a source of low-potential thermal energy are presented. Energy and exergy analysis of heat pump efficiency indicators, the working fluid of which is R134a freon, was performed. The energy efficiency of the heat pump cycle was determined by the conversion factor of the heat pump. The thermodynamic efficiency of the heat pump in heat supply systems was evaluated using exergetic efficiency, which is one of the main indicators of the efficiency of heat pump processes and cycles. The calculation of energy indicators of the heat pump, such as: specific heat load in the evaporator and condenser, as well as the conversion factor of the heat pump. The calculation of exergetic efficiency for ambient temperature from +10 to -10 °C.

Thus, the energy and exergy analysis of the efficiency of the heat pump, the working fluid of which is Freon R134a with a conversion factor $\mu = 4.8$. This indicates that the heat pump is a reliable, highly efficient, environmentally friendly source of energy for use in heating systems. A heat pump heating system will always consume less primary energy than traditional heating systems if natural water is used as a low-temperature heat source for the heat pump. The efficiency of the steam compression cycle of the heat pump largely depends on the temperature of low-potential heat sources. The use of HV in heating systems reduces greenhouse gas emissions compared to conventional types of heat supply, which is relevant to the ecological state of the environment.

heat pump, heat pump transformation coefficient, heat supply system, low potential energy source

Одержано (Received) 13.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 17.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 681.513.5

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).143-162](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).143-162)

О.П. Лобок, доц., канд. фіз.-мат. наук, **Б.М. Гончаренко**, проф., д-р техн. наук
Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна
e-mail: GoncharenkoBN@i.ua

Л.Г. Віхрова, проф., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Зведення задачі мінімаксного керування лінійними нестационарними системами до H^∞ – робастного шляхом динамічної гри

В роботі розв'язана задача синтезу мінімаксного керування для динамічних, описаних системою лінійних диференціальних рівнянь (з врахуванням стану, керувань, збурень та початкових умов, з наведеним рівнянням спостереження включно) об'єктів, що функціонують у відповідності з інтегрально-квадратичним критерієм якості в умовах невизначеності.

Припускалося, що зовнішні збурення, похибки та початкові умови належать певній множині невизначеностей. Задача пошуку оптимального керування у вигляді зворотного по виходу об'єкта зв'язку, який мінімізує критерій функціонування, представлена у вигляді мінімаксної задачі оптимального керування за умов невизначеностей. За відсутності готових шляхів розв'язання показано зведення даної задачі до задачі H^∞ -керування при найбільш несприятливих збуреннях, а крім того і до динамічної ігрової задачі з нулевою сумою та визначеною ціною гри, та наведена стратегія її розв'язання, що пропонує шлях до нових результатів.

Завдання пошуку оптимального керування і початкового стану, які максимізують критерій якості, розглянуто в рамках оптимізаційної задачі, яку розв'язано методом множників Лагранжа після введення допоміжної скалярної функції – гамільтоніана. Показано, що для знаходження максимального значення критерію може бути використана або необхідна умова екстремуму першого роду, що залежить від співвідношення першої варіації критерію та перших варіацій векторів керування і початкового стану або також необхідна умова екстремуму другого роду, що залежить від знаку другої варіації. Приведені для перших та других варіацій формули, які можуть використовуватися для розрахунків.

Запропоновано задачу пошуку керування розв'язувати в два етапи: пошук проміжного розв'язку при фіксованих значеннях векторів керування та похибки і наступний пошук остаточного оптимального керування. Розглянуто також розв'язання H^∞ -оптимального керування на нескінченному часі з врахуванням сигналу з виходу компенсатора, а також – розв'язання відповідних матричних алгебраїчних рівнянь типу Рікатті.

мінімаксне керування, робастність, системи з невизначеностями, оптимізація, динамічна гра, матрична форма

А.П. Лобок, доц., канд. фіз.-мат. наук, **Б.М. Гончаренко**, проф., д-р техн. наук
Національний університет пищевих технологій, г. Киев, Украина

Л.Г. Віхрова, проф., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Украина

Сведение минимаксной задачи управления линейной нестационарной системой к H^∞ - робастному путем динамической игры

В работе решена задача синтеза минимаксного управления для динамических, описанных системой линейных дифференциальных уравнений с учетом состояния, управления, возмущений, начальных условий и приведенного уравнения наблюдения включительно, объектов, функционирующих в соответствии с интегрально-квадратичным критерием качества.

Предполагалось, что внешние возмущения, погрешности и начальные условия принадлежат некоторому множеству неопределенностей. Задача поиска оптимального управления в виде обратной по выходу связи, которая минимизирует критерий функционирования, представлена в виде минимаксной задачи оптимального управления в условиях неопределенности. При отсутствии готовых путей решения показано сведение данной задачи к задаче H^∞ -управления при наиболее неблагоприятных возмущениях, а кроме того, к динамической игровой задаче с нулевым суммой и определенной ценой игры, и приведена стратегия ее решения, предлагающая путь к новым результатам.

Задача поиска оптимального управления и начального состояния, которые максимизируют критерий качества, рассмотрена в рамках оптимизационной задачи, решенной методом множителей Лагранжа после введения вспомогательной скалярной функции - гамильтониана. Показано, что для нахождения максимального значения критерия может быть использовано или необходимое условие экстремума первого рода, которое зависит от соотношения первой вариации критерия и первых вариаций векторов управления и начального состояния или также необходимое условие экстремума второго рода, которое зависит от знака второй вариации. Для первых и вторых вариаций приведены формулы, которые могут использоваться для расчетов.

Предложено задачу поиска минимаксного управления решать в два этапа: поиск промежуточного решения при фиксированных значениях векторов управления и погрешности и последующий поиск окончательного оптимального управления. Рассмотрено также нахождение оптимального управления на бесконечном отрезке времени с учетом сигнала с выхода компенсатора, а также – решения соответствующих матричных уравнений типа Рикатти.

минимаксное управления, робастность, системы с неопределенностями, оптимизация, динамическая игра, матричная форма

Постановка проблеми. Початково основними результатами досліджень лінійних систем автоматичного керування були поняття стійкості та її критеріїв на базі характеристичних поліномів. Згодом з розвитком радіотехніки та електронних автоматичних систем основними стали частотні методи досліджень, які пізніше поширилися на імпульсні, дискретні та нелінійні системи у зв'язку з розвитком обчислювальної техніки. Прогрес космонавтики привів до досліджень автоматичних систем у просторі станів, виникла ідея оптимізації систем керування з одночасною оптимізацією їх показників якості.

Наступний прогрес дозволив об'єднати частотні з методами досліджень простору станів, що крім оптимізаційних дало можливість розв'язувати задачі з будь-якими невизначеностями – робастне керування. При цьому невизначеність частотної характеристики об'єктів керування обмежена в H^∞ -нормі і може задаватись як в параметричній, так і у матричній формі при описі в просторі станів [1].

Для умов невизначеностей плідним є застосування мінімаксного підходу, коли знаходиться оптимальний регулятор за станом об'єкта, який функціонує в умовах невизначеності так, що він забезпечує мінімізацію максимальної похибки (відхилення поточного стану системи від заданого або бажаного) з множини можливих значень з врахуванням найбільш несприятливих збурень, що можуть діяти на об'єкт або систему. Проте шлях розв'язання вказаної задачі не завжди є очевидним [2], а його пошук вимагає додаткових досліджень.

Розглянемо динамічний об'єкт, описуваний наступною системою диференціальних рівнянь [3]

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + B(t)u(t) + F_w(t)w(t), & t_0 < t < T, \\ x(t_0) = F_0x_0, \end{cases} \quad (1)$$

де $x(t) \in R^{n_x}$ – вектор стану; $u(t) \in R^{n_u}$ – вектор керування; $w(t) \in R^{n_w}$ – невідомий вектор зовнішніх збурень, що діють на об'єкт; $x_0 \in R^{n_0}$ – невідомий вектор початкових умов; $A(t) \in R^{n_x \times n_x}$, $B(t) \in R^{n_x \times n_u}$, $F_w(t) \in R^{n_x \times n_w}$, $F_0 \in R^{n_x \times n_0}$ – задані матриці відповідних розмірностей.

Нехай над об'єктом проводяться спостереження, які описуються рівнянням

$$y(t) = C(t)x(t) + F_v(t)v(t), \quad (2)$$

де $y(t) \in R^{n_y}$ – результат спостереження; $v(t) \in R^{n_v}$ – невідомі похибки (завади) вимірювань; $C(t) \in R^{n_y \times n_x}$, $F_v(t) \in R^{n_y \times n_v}$ – відомі матриці.

Розглянемо і виберемо інтегрально-квадратичний критерій якості функціонування об'єкта у вигляді

$$I(u) = \int_{t_0}^T \left(x^T(t)G_x(t)x(t) + u^T(t)G_u(t)u(t) \right) dt + x^T(T)G_f x(T), \quad (3)$$

де $G_x(t) \in R^{n_x \times n_x}$, $G_u(t) \in R^{n_u \times n_u}$, $G_f \in R^{n_x \times n_x}$ – задані симетричні вагові матриці, причому припускається, що вони задовільняють умови $G_x(t) = G_x^T(t) \geq 0$, $G_u(t) = G_u^T(t) > 0$, $G_f = G_f^T \geq 0$.

Тут " T " – означає операцію транспонування матриці, $G = G^T$ – означає, що матриця G симетрична, $G > 0$ ($G \geq 0$) – умова позитивної (невід'ємної) визначеності матриці, тобто матриця G має позитивні або невід'ємні власні значення.

Щодо невідомого вектора зовнішніх збурень $w(t)$, вектора похибок вимірювань $v(t)$ і вектора початкових умов x_0 передбачається, що вони належать до наступної множини допустимих збурень (невизначеностей)

$$\Omega_\xi = \left\{ \xi : \xi = (w(t), v(t), x_0), w(t) \in L_2(t_0, T), v(t) \in L_2(t_0, T), x_0 \in R^{n_0}; \|\xi\|^2 \leq 1 \right\}, \quad (4)$$

де норма $\|\xi\|$ векторнозначної функції ξ визначається наступним виразом

$$\|\xi\|^2 = \int_{t_0}^T \left(w^T(t)R_w(t)w(t) + v^T(t)R_v(t)v(t) \right) dt + (x_0 - \hat{x}_0)^T R_0 (x_0 - \hat{x}_0), \quad (5)$$

в якому $R_w(t) \in R^{n_w \times n_w}$, $R_v(t) \in R^{n_v \times n_v}$, $R_0 \in R^{n_0 \times n_0}$ – задані вагові матриці, причому $R_w(t) = R_w^T(t) \geq 0$, $R_v(t) = R_v^T(t) > 0$, $R_0 = R_0^T \geq 0$, $\hat{x}_0 \in R^{n_0}$ – відомий вектор, в околі якого знаходиться невідомий вектор x_0 початкової умови [4].

Крім цього в (4) через $L_2(t_0, T)$ позначена множина інтегрованих з квадратом векторних функцій, тобто

$$L_2(t_0, T) = \left\{ f(t) \in R^n : \int_{t_0}^T f^T(t)f(t)dt = \int_{t_0}^T \|f(t)\|^2 dt < \infty \right\}.$$

Постановка завдання. Сформулюємо тепер постановку задачі. Завдання полягає в тому, щоб знайти оптимальне керування $u(t)$ у вигляді зворотного зв'язку по виходу $y(t)$, яке мінімізує функціонал (3) при найбільш несприятливих збуреннях $\xi = (w(t), v(t), x_0)$, що діють на об'єкт і в каналі спостереження.

Формалізовано це завдання можна представити у вигляді мінімаксної задачі оптимального керування

$$\inf_u \sup_{\xi \in \Omega_\xi} I(u), \quad (6)$$

де $I(u)$ – функціонал виду (3);

Ω_ξ – множина допустимих невизначеностей (4).

Розв'язування даного завдання зручно звести до задачі H^∞ -керування. Для цього спочатку перетворимо відповідним чином критерій якості (3), а потім розглянемо доцільність деяких припущень, що дозволяють розв'язати задачу.

Виклад основного матеріалу. Відомо [5], що будь-яку симетричну невід'ємно визначену матрицю можна факторизувати, тобто представити у вигляді $G = G^{1/2} \cdot G^{1/2}$, де симетрична матриця $G^{1/2}$ може бути знайдена за допомогою процедури Холецкого або через власні значення і вектора матриці

G . Тож уявімо вагові матриці $G_x(t)$, $G_u(t)$, G_f функціоналу (3) у вигляді

$$G_x(t) = G_x^{1/2}(t) \cdot G_x^{1/2}(t), \quad G_u(t) = G_u^{1/2}(t) \cdot G_u^{1/2}(t), \quad G_f = G_f^{1/2} \cdot G_f^{1/2}. \quad (7)$$

Тоді критерій (3) можна перетворити таким чином

$$\begin{aligned} I(u) &= \int_{t_0}^T \left(x^T(t) G_x^{1/2}(t) G_x^{1/2}(t) x(t) + u^T(t) G_u^{1/2}(t) G_u^{1/2}(t) u(t) \right) dt + x^T(T) G_f^{1/2} G_f^{1/2} x(T) = \\ &= \int_{t_0}^T z^T(t) z(t) dt + z^T(T) z(T) = \|z\|^2, \end{aligned}$$

де позначено

$$z(t) = \begin{pmatrix} G_x^{1/2}(t) x(t) \\ G_u^{1/2}(t) u(t) \end{pmatrix}, \quad z(T) = G_f^{1/2} x(T),$$

а норма $\|z\|^2$ визначена для вектора $z = \begin{pmatrix} z(t) \\ z(T) \end{pmatrix}$.

Вектор $z(t)$ можна представити і так

$$z(t) = \begin{pmatrix} G_x^{1/2}(t) \\ 0 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ G_u^{1/2}(t) \end{pmatrix} u(t) \quad (8)$$

і інтерпретувати його спільно з вектором $z(T)$ як регульовані величини.

Оскільки система (1) лінійна, то існує лінійний оператор, який відображає (перетворює) вектор зовнішніх входніх впливів, що діють на систему і канал спостереження, в вектор регульованих величин z , тобто $z = R(\xi)$. З огляду на це, перетворимо вираз (6) $\sup_{\xi \in \Omega_\xi} I(u)$, який описує найбільш негативний вплив збурень на

об'єкт керування в сенсі зростання значення критерію (3)

$$\sup_{\xi \in \Omega_\xi} I(u) = \sup_{\xi \in \Omega_\xi} \|z\|^2 = \sup_{\|\xi\|^2 \leq 1} \|R(\xi)\|^2 = \sup_{\|\xi\| \leq 1} \|R(\xi)\|^2 = \sup_{\xi, \xi \neq 0} \frac{\|R(\xi)\|^2}{\|\xi\|^2}. \quad (9)$$

Якщо позначити останній вираз (9) через γ^2 , тобто

$$\sup_{\xi, \xi \neq 0} \frac{\|R(\xi)\|^2}{\|\xi\|^2} = \gamma^2$$

то отримаємо очевидну нерівність

$$\frac{\|R(\xi)\|^2}{\|\xi\|^2} < \gamma^2 \quad \forall \xi (\|\xi\| \neq 0) \quad \text{або} \quad \frac{\|z\|^2}{\|\xi\|^2} < \gamma^2 \quad \forall \xi (\|\xi\| \neq 0), \quad (10)$$

ліва частина якого може інтерпретуватися як відносна енергія вихідного сигналу z на вхідний вплив ξ , а права частина γ^2 – як граничне (максимально допустиме) значення цієї енергії.

Нерівність (10) лежить в основі теорії H^∞ -керування [6]. Задача пошуку керування $u(t)$, що забезпечує виконання нерівності (10) при заданому значенні γ^2 , відома як задача гасіння зовнішніх збурень [7]. Таким чином, вихідна задача мінімаксного керування тепер буде зведена до задачі H^∞ -керування.

Далі, відповідно до загальної методики пошуку H^∞ -керування, вводимо в розгляд функціонал

$$J(u, \xi) = \|z\|^2 - \gamma^2 \|\xi\|^2 = I(u) - \gamma^2 \|\xi\|^2, \quad (11)$$

для якого знайдемо точку (u^*, ξ^*) , що задовольняє умову

$$J(u^*, \xi^*) = \min_u \max_\xi J(u, \xi). \quad (12)$$

Вектор u^* – це шукане керування, при якому виконується нерівність (10) при заданому значенні γ^2 , а ξ^* – найбільш несприятливі збурення.

Якщо керування u розглядати в якості конструктора, який намагається мінімізувати втрати, а збурення ξ – як природу, яка протистоїть конструктору і намагається максимізувати його втрати, то маємо динамічну ігрову задачу. Вона належить до класу диференціальних ігор з нульовою сумою і ціною гри, описуваної функціоналом $J(u, \xi)$. Якщо (u^*, ξ^*) – сідлова точка ігрової задачі, тобто точка, яка задовольняє умову

$$J(u^*, \xi) \leq J(u^*, \xi^*) \leq J(u, \xi^*),$$

то співвідношення (12) визначає верхнє значення ціни гри.

Для розв'язування задачі (12) перетворимо попередньо функціонал (11). Підставляючи вирази (3) і (5) в (11), і враховуючи, що $\xi = (w, v, x_0)$, отримаємо

$$J(u, v, w, x_0) = x^T(T)G_f x(T) - \gamma^2 (x_0 - \hat{x}_0)^T R_0 (x_0 - \hat{x}_0) + \\ + \int_{t_0}^T \left[x^T(t)G_x(t)x(t) + u^T(t)G_u(t)u(t) - \gamma^2 (w^T(t)R_w(t)w(t) + v^T(t)R_v(t)v(t)) \right] dt. \quad (13)$$

Тоді задача (12) перетворюється до наступного виразу

$$J(u^*, v^*, w^*, x_0^*) = \min_u \max_v \max_w \max_{x_0} J(u, v, w, x_0). \quad (14)$$

Розв'язування задачі (14) розіб'ємо на два етапи:

а) спочатку розв'яжемо проміжне завдання

$$J_0(u, v) = J(u, v, w^*, x_0^*) = \max_w \max_{x_0} J(u, v, w, x_0) \quad (15)$$

при фіксованих векторах u і v ;

б) потім знайдемо остаточне оптимальне керування шляхом розв'язання наступної динамічної ігрової задачі

$$J(u^*, v^*, w^*, x_0^*) = \min_u \max_v J(u, v, w^*, x_0^*). \quad (16)$$

Ще раз перетворимо функціонал (13). Для цього, виражаючи вектор завад $v(t)$ з рівняння спостережень (2) і підставляючи його в (13), отримуємо

$$J(u, v, w, x_0) = \|x(T)\|_{G_f}^2 - \gamma^2 \|x_0 - \hat{x}_0\|_{R_0}^2 + \int_{t_0}^T \left[\|x(t)\|_{G_x(t)}^2 + \|u(t)\|_{G_u(t)}^2 - \gamma^2 \left(\|w(t)\|_{R_w(t)}^2 + \|y(t) - C(t)x(t)\|_{R(t)}^2 \right) \right] dt, \quad (17)$$

де

$$R(t) = (F_v^{-1}(t))^T R_v(t) F_v^{-1}(t). \quad (17.1)$$

Оскільки параметри оптимізації завдання (15) різномірні, тобто $w(t)$ – вектор-функція, а x_0 – вектор сталих, то для розв'язування цієї оптимізаційної задачі скористаємося методами варіаційного числення, а саме, використаємо необхідні і достатні умови екстремуму функціоналу (15), в яких фігурують і перша, і друга варіації. То ж зупинемося на методиці їх обчислення.

Варіація критерію якості задачі оптимального керування

Нехай керований об'єкт описується системою диференціальних рівнянь [8]

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = \frac{dx(t)}{dt} = f(x, u, t), & t_0 < t \leq T, \\ x(t_0) = h(x_0), \end{cases} \quad (18)$$

де $x = x(t)$ – вектор стану, $u = u(t)$ – вектор керування, $f(x, u, t)$, $h(x_0)$ – відомі аналітичні вектор-функції відповідних розмірностей.

Розглянемо критерій якості функціонування об'єкта в наступному вигляді

$$J(u, x_0) = \varphi(x_0, x(T)) + \int_{t_0}^T g(x, u, t) dt, \quad (19)$$

де $\varphi(x_0, x(T))$, $g(x, u, t)$ – задані скалярні функції.

Завдання пошуку оптимального керування $u(t)$ і початкового стану x_0 , які максимізують критерій (19), розглянемо в рамках оптимізаційної задачі

$$J(u, x_0) \rightarrow \max_{u, x_0}. \quad (20)$$

Для її розв'язку скористаємося методом множників Лагранжа, відповідно до якого введемо в якості критерію допоміжний функціонал

$$I(u, x_0, \lambda) = \varphi(x_0, x(T)) + \int_{t_0}^T g(x, u, t) dt + \int_{t_0}^T \lambda^T(t) (f(x, u, t) - \dot{x}) dt, \quad (21)$$

де $\lambda(t)$ – вектор-стовпчик множників Лагранжа.

Для зручності введемо також допоміжну скалярну функцію $H(x, u, \lambda, t)$, яку називають гамільтоніаном

$$H(x, u, \lambda, t) = g(x, u, t) + \lambda^T(t) f(x, u, t). \quad (22)$$

і беручи до уваги позначення (22), перетворимо функціонал (21)

$$I(u, x_0, \lambda) = \varphi(x_0, x(T)) - \lambda^T(T) x(T) + \lambda^T(t_0) h(x_0) + \int_{t_0}^T (H(x, u, \lambda, t) + \dot{\lambda}^T(t) x(t)) dt. \quad (23)$$

Для знаходження максимального значення функціоналу $I(u, x_0, \lambda)$ використана необхідна умова екстремуму першого роду, а саме, для того, щоб функціонал $I(u, x_0, \lambda)$ сягав свого екстремального значення, необхідно, щоб його варіація $\delta I(u, x_0, \lambda) = 0$ дорівнювала нулю для всіх варіацій $\delta u(t), \delta x_0$ і а вони не оберталися одночасно в нуль [9].

Знайдемо першу варіацію критерію (23), що відповідає варіаціям вектора керування і початкової умови x_0 (при фіксованих t_0 і T)

$$\delta I(u, x_0, \lambda) = \left(\frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x_0} + \frac{\partial h^T(x_0)}{\partial x_0} \lambda(t_0) \right)^T \delta x_0 + \left(\frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x(T)} - \lambda(T) \right)^T \delta x(T) + \int_{t_0}^T \left[\left(\frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial x} + \dot{\lambda}(t) \right)^T \delta x(t) + \left(\frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial u} \right)^T \delta u(t) \right] dt, \quad (24)$$

де $\delta x(t)$ – варіація стану $x(t)$, відповідна варіаціям початкового стану δx_0 і керування $\delta u(t)$.

Відзначимо, що при отриманні варіації (24) були використані наступні формули обчислення перших варіацій

$$\begin{aligned} \delta \varphi(x_0, x(T)) &= \left(\frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x_0} \right)^T \delta x_0 + \left(\frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x(T)} \right)^T \delta x(T), \\ \delta H(x, u, \lambda, t) &= \left(\frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial x} \right)^T \delta x(t) + \left(\frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial u} \right)^T \delta u(t), \\ \delta \left(h^T(x_0) \lambda(t_0) \right) &= \left(\frac{\partial h^T(x_0)}{\partial x_0} \lambda(t_0) \right)^T \delta x_0 = \lambda^T(t_0) \left(\frac{\partial h^T(x_0)}{\partial x_0} \right)^T \delta x_0. \end{aligned}$$

З огляду на довільність варіацій δx_0 та $\delta u(t)$ (що не обертаються в нуль одночасно), з необхідної умови екстремуму ($\delta I(u, x_0, \lambda) = 0$) функціонала $I(u, x_0, \lambda)$ випливає

$$\frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial x} + \dot{\lambda}(t) = 0, \quad \frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial u} = 0, \quad (25)$$

$$\frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x_0} + \frac{\partial h^T(x_0)}{\partial x_0} \lambda(t_0) = 0, \quad \frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x(T)} - \lambda(T) = 0, \quad (26)$$

І при цьому ж з (25) випливає також, що

$$\dot{\lambda}(t) = - \frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial x} = - \frac{\partial g(x, u, t)}{\partial x} - \frac{\partial f^T(x, u, t)}{\partial x} \lambda(t), \quad (27)$$

$$\frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial u} = \frac{\partial g(x, u, t)}{\partial u} + \frac{\partial f^T(x, u, t)}{\partial u} \lambda(t) = 0. \quad (28)$$

Таким чином, початковий стан x_0 і вектор керування $u(t)$ необхідно і напевно визначаються з рівнянь

$$\frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x_0} + \frac{\partial h^T(x_0)}{\partial x_0} \lambda(t_0) = 0, \quad (29)$$

$$\frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial u} = \frac{\partial g(x, u, t)}{\partial u} + \frac{\partial f^T(x, u, t)}{\partial u} \lambda(t) = 0, \quad (30)$$

де вектори $x(t)$ та $\lambda(t)$ саме і є розв'язками наступної системи сполучених рівнянь (двоточкової крайової задачі)

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = f(x, u, t), & t_0 < t \leq T, \\ x(t_0) = h(x_0), \end{cases} \quad (31)$$

$$\begin{cases} \dot{\lambda}(t) = -\frac{\partial f^T(x, u, t)}{\partial x} \lambda(t) - \frac{\partial g(x, u, t)}{\partial x}, \\ \lambda(T) = \frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x(T)}. \end{cases} \quad (32)$$

Для розв'язання даної оптимізаційної задачі також може бути використана необхідна умова екстремуму другого роду [10]: для того, щоб функціонал (21) досягав максимального значення, необхідно, щоб друга варіація $\delta^2 I(u, x_0, \lambda)$ була непозитивною, тобто $\delta^2 I(u, x_0, \lambda) \leq 0$ для всіх, що одночасно не обертаються в нуль варіацій аргументів $\delta u(t)$ і δx_0 .

Відзначимо, що друга варіація $\delta^2 I(u, x_0, \lambda)$ визначається наступною квадратною формою

$$\begin{aligned} \delta^2 I(u, x_0, \lambda) = & \delta x_0^T \left[\frac{\partial}{\partial x_0} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_0} + \frac{\partial h^T(x_0)}{\partial x_0} \lambda(t_0) \right)^T \right] \delta x_0 + \\ & + \delta x^T(T) \left[\frac{\partial}{\partial x(T)} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x(T)} \right)^T \right] \delta x(T) + \\ & + \int_{t_0}^T \left\{ \delta x^T(t) \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^T \right] \delta x(t) + \delta x^T(t) \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H}{\partial u} \right)^T \right] \delta u(t) + \right. \\ & \left. + \delta u^T(t) \left[\frac{\partial}{\partial u} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^T \right] \delta x(t) + \delta u^T(t) \left[\frac{\partial}{\partial u} \left(\frac{\partial H}{\partial u} \right)^T \right] \delta u(t) \right\} dt, \end{aligned} \quad (33)$$

де $H = H(x, u, \lambda, t)$ – функція Гамільтона виду (22).

Достатня умова екстремуму функціоналу $I(u, x_0, \lambda)$ визначається нерівністю $\delta^2 I(u, x_0, \lambda) < 0$.

Для знаходження варіацій були використані формули векторного диференціювання [11].

Нагадаємо також другу необхідну умову екстремуму функціоналу, що використовує другу варіацію $\delta^2 I(u, x_0, \lambda)$ (і яка буде використовуватися в подальшому). Для того, щоб функціонал $I(u, x_0, \lambda)$ сягав свого екстремального значення, необхідно, щоб друга варіація $\delta^2 I(u, x_0, \lambda)$ була $\delta^2 I(u, x_0, \lambda) \leq 0$ для всіх варіацій δx_0 і $\delta u(t)$, що одночасно не обертаються в нуль.

При пошуку другої варіації функціоналу надалі будемо також використовувати такі формули [12].

Зокрема, для скалярної функції векторного аргументу друга варіація визначається наступною квадратною формою

$$\delta^2 f(x) = \delta x^T \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f(x)}{\partial x} \right)^T \right] \delta x.$$

Розв'язок допоміжної оптимізаційної задачі (продовження)

Повернемося тепер до задачі пошуку максимального значення функціоналу (17). Для розв'язання цього завдання використовуємо метод множників Лагранжа, відповідно до якого введемо в розгляд функціонал

$$L(w, x_0, \lambda) = J(u, v, w, x_0) + \int_{t_0}^T \lambda^T(t) (A(t)x(t) + B(t)u(t) + F_w(t)w(t) - \dot{x}(t)) dt, \quad (34)$$

де $\lambda(t)$ – вектор множників Лагранжа, а функціонал $J(u, v, w, x_0)$ визначається за формулою (17).

Далі використовуємо необхідну умову екстремуму першого роду для функціоналу (34) ($\delta L(u, w, x_0) = 0$). З огляду на те, що для нашої оптимізаційної задачі функції $f(x, w, t)$, $h(x_0)$, $\varphi(x_0, x(T))$, $g(x, w, t)$ дорівнюють

$$\begin{aligned} f(x, w, t) &= A(t)x(t) + B(t)u(t) + F_w(t)w(t), \quad h(x_0) = F_0 x_0, \\ \varphi(x_0, x(T)) &= x^T(T)G_f x(T) - \gamma^2 (x_0 - \hat{x}_0)^T R_0 (x_0 - \hat{x}_0), \\ g(x, w, t) &= x^T(t)G_x(t)x(t) + u^T(t)G_u(t)u(t) - \gamma^2 w^T(t)R_w(t)w(t) - \\ &\quad - \gamma^2 (y(t) - C(t)x(t))^T R(t)(y(t) - C(t)x(t)), \\ R(t) &= (F_v^{-1}(t))^T R_v(t)F_v^{-1}(t), \end{aligned}$$

розв'язок задачі $\max_{x_0, w} L(u, w, x_0)$ в силу необхідної умови екстремуму 1-го порядку знаходиться з рівнянь

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x_0} + \frac{\partial h^T(x_0)}{\partial x_0} \lambda(t_0) &= 0, \\ \frac{\partial g(x, w, t)}{\partial w} + \frac{\partial f^T(x, w, t)}{\partial w} \lambda(t) &= 0, \end{aligned}$$

які перетворюються до вигляду

$$\begin{aligned} F_0^T \lambda(t_0) - 2\gamma^2 R_0 (x_0 - \hat{x}_0) &= 0, \\ -2\gamma^2 R_w(t)w(t) + F_w^T(t)\lambda(t) &= 0. \end{aligned}$$

Звідси знаходимо співвідношення, які задовольняють шукані вектори $w(t)$ і x_0

$$x_0 = \frac{1}{2} \gamma^{-2} R_0^{-1} F_0^T \lambda(t_0) + \hat{x}_0, \quad (35)$$

$$w(t) = \frac{1}{2} \gamma^{-2} R_w^{-1}(t) F_w^T(t) \lambda(t), \quad (36)$$

де вектор-функція $\lambda(t)$ є розв'язком наступної системи сполучених рівнянь

$$\begin{cases} \frac{d\lambda(t)}{dt} = -\frac{\partial f^T(x, w, t)}{\partial x} \lambda(t) - \frac{\partial g(x, w, t)}{\partial x}, \\ \lambda(T) = \frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x(T)}. \end{cases}$$

Ця система після перетворень зводиться до наступної

$$\begin{cases} \frac{d\lambda(t)}{dt} = -A^T(t)\lambda(t) - 2G_x(t)x(t) - 2\gamma^2 C^T(t)R(t)(y(t) - C(t)x(t)), \\ \lambda(T) = 2G_f x(T), \end{cases} \quad (37)$$

де $x(t)$ – розв’язок системи

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + B(t)u(t) + F_w(t)w(t), & t_0 < t < T, \\ x(t_0) = F_0x_0, \end{cases} \quad (38)$$

Після підстановки співвідношень (35) і (36) в рівняння (38), отримаємо двоточкову крайову задачу

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x(t) \\ \lambda(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A(t) & \frac{1}{2}\gamma^{-2}F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t) \\ -2G_x(t) + 2\gamma^2C^T(t)R(t)C(t) & -A^T(t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(t) \\ \lambda(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B(t)u(t) \\ -2\gamma^2C^T(t)R(t)y(t) \end{pmatrix}, \quad (39)$$

з крайовими умовами

$$x(t_0) = \frac{1}{2}\gamma^{-2}F_0R_0^{-1}F_0^T\lambda(t_0) + F_0\hat{x}_0, \quad \lambda(T) = 2G_f x(T). \quad (40)$$

При отриманні рівнянь (35), (36) і системи (37) були використані наступні формули

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x_0} &= -2\gamma^2 R_0(x_0 - \hat{x}_0), & \frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x(T)} &= 2G_f x(T), \\ \frac{\partial g(x, w, t)}{\partial x} &= 2G_x x - 2\gamma^2(C^T R C x - C^T R y), & \frac{\partial g(x, w, t)}{\partial w} &= -2\gamma^2 R_w w, \\ \frac{\partial}{\partial x} f^T(x, w, t)\lambda &= A^T \lambda, & \frac{\partial}{\partial w} f^T(x, w, t)\lambda &= F_w^T \lambda, & \frac{\partial}{\partial x_0} h^T(x_0)\lambda(t_0) &= F_0^T \lambda(t_0). \end{aligned}$$

Оскільки крайова задача (39) є лінійною, то можна припустити, що розв’язок можна буде подати у вигляді

$$x(t) = \hat{x}(t) + \frac{1}{2}\gamma^{-2}P(t)\lambda(t), \quad (41)$$

де $\hat{x}(t)$ і $P(t)$ – невідомі вектор і матриця, що підлягають визначенню.

Диференціюючи (41) і використовуючи спряжену систему (37), отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}\gamma^{-2} \left[\dot{P}(t) - PA^T - \gamma^{-2}PG_xP + PC^T RCP - AP - F_w R_w^{-1} F_w^T \right] \lambda + \\ + \left[-\gamma^{-2}PG_x\hat{x} + PC^T RC\hat{x} - PC^T R y + \dot{\hat{x}} - A\hat{x} - Bu \right] = 0 \end{aligned} \quad (42)$$

Якщо покласти

$$\dot{P} = AP + PA^T - P(C^T R C - \gamma^{-2}G_x)P + F_w R_w^{-1} F_w^T, \quad (43)$$

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + \gamma^{-2}PG_x\hat{x} + PC^T R(y - C\hat{x}), \quad (44)$$

то (42) перетвориться в тотожність.

Знайдемо тепер початкові умови для рівнянь (43) і (44). Для цього підставимо в (41) $t = t_0$ і отримаємо вираз для початкових умов

$$x(t_0) = \hat{x}(t_0) + \frac{1}{2}\gamma^{-2}P(t_0)\lambda(t_0).$$

З огляду на (35) і початкові умови (37), останнє співвідношення перетворимо до вигляду

$$F_0 \hat{x}_0 + \frac{1}{2} \gamma^{-2} F_0 R_0^{-1} F_0^T \lambda(t_0) = \hat{x}(t_0) + \frac{1}{2} \gamma^{-2} P(t_0) \lambda(t_0),$$

звідки отримаємо

$$P(t_0) = F_0 R_0^{-1} F_0^T, \quad \hat{x}(t_0) = F_0 \hat{x}_0.$$

Таким чином, для визначення $P(t)$ і $\hat{x}(t)$ отримуємо наступні

$$\text{рівняння} \begin{cases} \dot{P} = AP + PA^T - P(C^T RC - \gamma^{-2} G_x)P + F_w R_w^{-1} F_w^T, \\ P(t_0) = F_0 R_0^{-1} F_0^T, \end{cases} \quad (45)$$

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + \gamma^{-2} P G_x \hat{x} + PC^T R(y - C\hat{x}), \\ \hat{x}(t_0) = F_0 \hat{x}_0. \end{cases} \quad (46)$$

Далі зробимо заміну змінних

$$\mu(t) = \frac{1}{2} \gamma^{-2} \lambda(t)$$

і представимо оптимальні вектори x_0 і $w(t)$ у вигляді

$$x_0 = R_0^{-1} F_0^T \mu(t_0) + \hat{x}_0, \quad (47)$$

$$w(t) = R_w^{-1}(t) F_w^T(t) \mu(t), \quad (48)$$

где $\mu(t)$ – розв’язок наступної системи рівнянь

$$\begin{cases} \frac{d\mu(t)}{dt} = -A^T(t)\mu(t) - \gamma^{-2} G_x(t)x(t) - C^T(t)R(t)(y(t) - C(t)x(t)), \\ \mu(T) = \gamma^{-2} G_f x(T). \end{cases} \quad (49)$$

Перетворимо тепер систему (49) до виду, що залежить не від стану $x(t)$, а від $\hat{x}(t)$. Враховуючи, що

$$x(t) = \hat{x}(t) + P(t)\mu(t), \quad (50)$$

початкові умови для системи (49) перетворимо таким

$$\text{чином } \mu(T) = \gamma^{-2} G_f (\hat{x}(T) + P(T)\mu(T)),$$

звідки

$$\mu(T) = (\gamma^2 E - G_f P(T))^{-1} G_f \hat{x}(T).$$

Тоді сама система (49) приймає вигляд

$$\frac{d\mu(t)}{dt} = (-A^T(t) - \gamma^{-2} G_x(t)P(t) + C^T(t)R(t)C(t)P(t))\mu(t) - \gamma^{-2} G_x(t)\hat{x}(t) - C^T(t)R(t)(y(t) - C(t)\hat{x}(t)).$$

В результаті отримаємо

$$\begin{cases} \frac{d\mu(t)}{dt} = (-A^T(t) - \gamma^{-2} G_x(t)P(t) + C^T(t)R(t)C(t)P(t))\mu(t) - \gamma^{-2} G_x(t)\hat{x}(t) - \\ - C^T(t)R(t)(y(t) - C(t)\hat{x}(t)), \\ \mu(T) = (\gamma^2 E - G_f P(T))^{-1} G_f \hat{x}(T). \end{cases} \quad (51)$$

Використовуємо тепер необхідні умови оптимальності другого роду. Для цього знайдемо другу варіацію функціонала (34).

$$\delta^2 L(u, w, x_0) = -2\gamma^2 \delta x_0^T R_0 \delta x_0 + 2\delta x^T(T) G_f \delta x(T) + \int_{t_0}^T \left\{ \delta x^T(t) (G_x(t) - \gamma^2 C^T(t) R(t) C(t)) \delta x(t) - \gamma^2 \delta w^T(t) R_w(t) \delta w(t) \right\} dt, \quad (52)$$

де $\delta x(t)$ – розв’язок рівняння в варіаціях

$$\begin{cases} \delta \dot{x}(t) = A(t) \delta x(t) + F_w(t) \delta w(t), \\ \delta x(t_0) = F_0 \delta x_0. \end{cases} \quad (53)$$

Перетворимо співвідношення (52). Додамо до $\delta^2 L(u, w, x_0)$ вираз, що тотожно дорівнює нулю

$$-2\gamma^2 \left[\delta x^T(t) P^{-1}(t) \delta x(t) \Big|_{t_0}^T - \int_{t_0}^T \frac{d}{dt} (\delta x^T(t) P^{-1}(t) \delta x(t)) dt \right] = 0.$$

Тоді отримаємо

$$\begin{aligned} \delta^2 L(u, w, x_0) &= -2\gamma^2 \delta x_0^T R_0 \delta x_0 + 2\delta x^T(T) G_f \delta x(T) + \\ &+ 2 \int_{t_0}^T \left\{ \delta x^T(t) (G_x(t) - \gamma^2 C^T(t) R(t) C(t)) \delta x(t) - \gamma^2 \delta w^T(t) R_w(t) \delta w(t) \right\} dt - \\ &- 2\gamma^2 \delta x^T(T) P^{-1}(T) \delta x(T) + 2\gamma^2 \delta x^T(t_0) P^{-1}(t_0) \delta x(t_0) + 2\gamma^2 \int_{t_0}^T \left\{ (\delta x^T(t) A^T(t) + \right. \\ &\left. + \delta w^T(t) F_w^T(t)) P^{-1}(t) \delta x(t) + \delta x^T(t) P^{-1}(t) (A(t) \delta x(t) + F_w(t) \delta w(t)) - \right. \\ &- \left. \delta x^T(t) P^{-1}(t) (AP + PA^T - P(C^T RC - \gamma^2 G_x) P + F_w R_w^{-1} F_w^T) P^{-1}(t) \delta x(t) \right\} dt = \\ &= 2\gamma^2 \delta x_0^T \left[F_0^T (F_0 R_0^{-1} F_0^T)^{-1} F_0 - R_0 \right] \delta x_0 + 2\delta x^T(T) [G_f - \gamma^2 P^{-1}(T)] \delta x(T) - \\ &- 2\gamma^2 \int_{t_0}^T (\delta w(t) - R_w^{-1}(t) F_w^T(t) P^{-1}(t) \delta x(t))^T R_w(t) (\delta w(t) - R_w^{-1}(t) F_w^T(t) P^{-1}(t) \delta x(t)) dt. \end{aligned} \quad (54)$$

Зауважимо, що в цих перетвореннях було використано матричне рівняння

$$\frac{dP^{-1}(t)}{dt} = -P^{-1}(t) \frac{dP(t)}{dt} P^{-1}(t).$$

з якого випливає

$$(R_0 - F_0^T (F_0 R_0^{-1} F_0^T)^{-1} F_0) \delta x_0 = 0. \quad (55)$$

А з (48) і (50) виходить

$$w(t) = R_w^{-1}(t) F_w^T(t) P^{-1}(t) (x(t) - \hat{x}(t)),$$

звідки

$$\delta w(t) = R_w^{-1}(t) F_w^T(t) P^{-1}(t) \delta x(t). \quad (56)$$

З огляду на (55) і (56), друга варіація функціонала $\delta^2 L(u, w, x_0)$ набуде вигляду

$$\delta^2 L(u, w, x_0) = 2\delta x^T(T) [G_f - \gamma^2 P^{-1}(T)] \delta x(T).$$

Якщо матриця $G_f - \gamma^2 P^{-1}(T)$ буде негативно визначеною, тобто

$$G_f - \gamma^2 P^{-1}(T) < 0, \quad (57)$$

то $\delta^2 L(u, w, x_0) < 0$, і значить, величини x_0 і $w(t)$, що визначаються співвідношеннями (47), (48), задовольняють не тільки необхідні, але й достатні умови екстремуму функціонала $L(u, w, x_0)$, тобто пара $(x_0, w(t))$ максимізує функціонал $L(u, w, x_0)$, а значить, і функціонал $J(u, v, w, x_0)$ при фіксованих керуванні u і збуренні v .

Знайдемо тепер значення функціоналу $J_0(u, v) = J(u, v, w, x_0)$ на екстремалях $(x_0, w(t))$, тобто при оптимальних значеннях x_0 и $w(t)$

$$J_0(u, v) = x^T(T)G_f x(T) - \gamma^2 \mu^T(t_0)F_0 R_0^{-1} F_0^T \mu(t_0) + \int_{t_0}^T \left\{ x^T(t)G_x(t)x(t) + u^T(t)G_u(t)u(t) - \gamma^2 \mu^T(t)F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t)\mu(t) - \gamma^2 (y(t) - C(t)x(t))^T R(t)(y(t) - C(t)x(t)) \right\} dt.$$

Додаючи до цього виразу нульове значення

$$-\gamma^2 \left[\mu^T(t)P(t)\mu(t) \Big|_{t_0}^T - \int_{t_0}^T \frac{d}{dt} (\mu^T(t)P(t)\mu(t)) dt \right] = 0,$$

Одержим

$$J_0(u, v) = x^T(T)G_f x(T) - \gamma^2 \mu^T(t_0)F_0 R_0^{-1} F_0^T \mu(t_0) + \int_{t_0}^T \left\{ x^T(t)G_x(t)x(t) + u^T(t)G_u(t)u(t) - \gamma^2 \mu^T(t)F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t)\mu(t) - \gamma^2 (y(t) - C(t)x(t))^T R(t)(y(t) - C(t)x(t)) \right\} dt - \gamma^2 \mu^T(T)P(T)\mu(T) + \gamma^2 \mu^T(t_0)P(t_0)\mu(t_0) + \gamma^2 \int_{t_0}^T \left\{ (-A^T(t)\mu(t) - \gamma^{-2}G_x(t)x(t) + C^T(t)R(t)(C(t)x(t) - y(t)))^T P(t)\mu(t) + \mu^T(t)P(t)(-A^T(t)\mu(t) - \gamma^{-2}G_x(t)x(t) + C^T(t)R(t)(C(t)x(t) - y(t))) + \mu^T(t)(A(t)P(t) + P(t)A^T(t) - P(t)(C^T(t)R(t)C(t) - \gamma^{-2}G_x(t))P(t) + F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t))\mu(t) \right\} dt.$$

І після ряду подальших перетворень приходимо до виразу

$$J_0(u, v) = x^T(T)G_f x(T) - \gamma^2 \mu^T(T)P(T)\mu(T) + \int_{t_0}^T \left\{ \hat{x}^T(t)G_x(t)\hat{x}(t) + u^T(t)G_u(t)u(t) - \gamma^2 (y(t) - C(t)\hat{x}(t))^T R(t)(y(t) - C(t)\hat{x}(t)) \right\} dt \quad (58)$$

Враховуючи, що

$$\mu(T) = (\gamma^2 E - G_f P(T))^{-1} G_f \hat{x}(T),$$

знайдем $x(T)$

$$x(T) = P(T)\mu(T) + \hat{x}(T) = \left[E + P(T)(\gamma^2 E - G_f P(T))^{-1} G_f \right] \hat{x}(T) = (E - \gamma^{-2} P(T)G_f)^{-1} \hat{x}(T).$$

Тоді можна тотожно отримати

$$\begin{aligned}
& x^T(T)G_f x(T) - \gamma^2 \mu^T(T)P(T)\mu(T) = \hat{x}^T(T) \left[(E - \gamma^{-2}G_f P(T))^{-1} G_f \times \right. \\
& \times (E - \gamma^{-2}P(T)G_f)^{-1} - \gamma^2 G_f (\gamma^2 E - P(T)G_f)^{-1} P(T) (\gamma^2 E - G_f P(T))^{-1} G_f \left. \right] \hat{x}(T) = \\
& = \hat{x}^T(T) (G_f^{-1} - \gamma^{-2}P(T))^{-1} \left[G_f^{-1} (G_f^{-1} - \gamma^{-2}P(T))^{-1} - \gamma^{-2}P(T) (G_f^{-1} - \gamma^{-2}P(T))^{-1} \right] \hat{x}(T) = \\
& = \hat{x}^T(T) (G_f^{-1} - \gamma^{-2}P(T))^{-1} \hat{x}(T).
\end{aligned}$$

Підставляючи останній вираз в функціонал (58) і роблячи заміни змінних

$$\hat{v}(t) = y(t) - C(t)\hat{x}(t), \quad (59)$$

$$S_T = (G_f^{-1} - \gamma^{-2}P(T))^{-1}, \quad (60)$$

остаточно перетворимо функціонал до вигляду

$$\begin{aligned}
J_0(u, \hat{v}) = \hat{x}^T(T)S_T \hat{x}(T) + \int_{t_0}^T \{ \hat{x}^T(t)G_x(t)\hat{x}(t) + u^T(t)G_u(t)u(t) - \gamma^2 \hat{v}^T(t)R(t)\hat{v}(t) \} dt.
\end{aligned} \quad (61)$$

Тепер нам належить розв'язати мінімаксну задачу

$$\min_u \max_{\hat{v}} J_0(u, \hat{v}) \quad (62)$$

за умови, що $\hat{x}(t)$ задовольняє систему

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = A_\gamma(t)\hat{x}(t) + B(t)u(t) + Q_v(t)\hat{v}(t), \\ \hat{x}(t_0) = F_0 \hat{x}_0. \end{cases} \quad (63)$$

де

$$A_\gamma(t) = A(t) + \gamma^{-2}P(t)G_x(t), \quad Q_v(t) = P(t)C^T(t)R(t). \quad (64)$$

Для розв'язання цього завдання скористаємося результатами теорії лінійно-квадратичних диференціальних ігор.

Лінійно-квадратична диференціальна ігрова задача двох осіб

Розглянемо систему

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + B_1(t)u_1(t) + B_2(t)u_2(t), \\ x(t_0) = x_0, \end{cases}$$

з критерієм

$$J(u_1, u_2) = x^T(T)Q_f x(T) + \int_{t_0}^T \{ x^T(t)Q(t)x(t) + u_1^T(t)R_1(t)u_1(t) - u_2^T(t)R_2(t)u_2(t) \} dt,$$

де $x(t)$ – стан системи; $u_1(t)$, $u_2(t)$ – функції керування.

Матриці, що формують систему, і вагові матриці критерію відомі.

Необхідно знайти керування $u_1(t)$ і $u_2(t)$ з умови $\min_{u_1} \max_{u_2} J(u_1, u_2)$.

Вище був отриманий наступний результат. Оптимальна стратегія керування визначається функціями виду

$$u_1(t) = -R_1^{-1}(t)B_1^T(t)K(t)x(t), \quad u_2(t) = R_2^{-1}(t)B_2^T(t)K(t)x(t),$$

де $K(t)$ – розв'язок матричного диференціального рівняння

$$\begin{cases} \frac{dK(t)}{dt} = -A^T(t)K(t) - K(t)A(t) + K(t)(S_1(t) - S_2(t))K(t) - Q(t), \\ K(T) = Q_f, \end{cases}$$

в якому

$$S_i(t) = B_i(t)R_i^{-1}(t)B_i^T(t), \quad i = 1, 2.$$

При цьому мінімаксне значення критерію дорівнює

$$\min_{u_1} \max_{u_2} J(u_1, u_2) = x_0^T K(t_0) x_0.$$

Застосовуючи цей результат до задачі (61) - (64), отримуємо її розв'язок у вигляді

$$u(t) = -G_u^{-1}(t)B^T(t)S(t)\hat{x}(t), \quad (65)$$

$$\hat{v}(t) = \gamma^{-2}R^{-1}(t)Q_v^T(t)S(t)\hat{x}(t) = \gamma^{-2}C(t)P(t)S(t)\hat{x}(t), \quad (66)$$

$$J_0(u, \hat{v}) = \hat{x}_0^T F_0^T S(t_0) F_0 \hat{x}_0, \quad (67)$$

де $S(t)$ – розв'язок матричного диференціального рівняння виду

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -A_\gamma^T(t)S(t) - S(t)A_\gamma(t) - G_x(t) + \\ \quad + S(t)(B(t)G_u^{-1}(t)B^T(t) - \gamma^{-2}Q_v(t)R^{-1}(t)Q_v^T(t))S(t), \\ S(T) = S_T, \end{cases} \quad (68)$$

Підставляючи (65), (66) в (46) і (51), отримаємо

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = (A(t) + \gamma^{-2}P(t)G_x(t))\hat{x}(t) - \\ \quad - (B(t)G_u^{-1}(t)B^T(t) - \gamma^{-2}P(t)C^T(t)R(t)C(t)P(t))S(t)\hat{x}(t), \\ \hat{x}(t_0) = F_0\hat{x}_0. \end{cases} \quad (69)$$

$$\begin{cases} \frac{d\mu(t)}{dt} = - (A(t) + \gamma^{-2}P(t)G_x(t))^T \mu(t) + C^T(t)R(t)C(t)P(t)(\mu(t) - \gamma^{-2}S(t)\hat{x}(t)) - \\ \quad - \gamma^{-2}G_x(t)\hat{x}(t), \\ \mu(T) = (\gamma^2 E - G_f P(T))^{-1} G_f \hat{x}(T) = \gamma^{-2} S_T \hat{x}(T). \end{cases} \quad (70)$$

Позначимо тепер праву частину другого рівняння системи (70) як

$$\eta(t) = \gamma^{-2}S(t)\hat{x}(t)$$

і знайдемо рівняння, яке задовольняє $\eta(t)$.

Використовуючи (68) і (69), можна показати, що

$$\begin{cases} \frac{d\eta(t)}{dt} = \gamma^{-2} \left(\frac{dS(t)}{dt} \hat{x}(t) + S(t) \frac{d\hat{x}(t)}{dt} \right) = - (A(t) + \gamma^{-2}P(t)G_x(t))^T \eta(t) - \gamma^{-2}G_x(t)\hat{x}(t), \\ \eta(T) = \gamma^{-2}S_T \hat{x}(T) \end{cases} \quad (71)$$

Зіставляючи рівняння (70) і (71), приходимо до висновку, що $\mu(t) = \eta(t)$, $t \in [t_0, T]$, звідки випливає

$$\mu(t) = \gamma^{-2}S(t)\hat{x}(t). \quad (72)$$

Підставимо тепер $u(t)$ і $\mu(t)$, що визначаються за формулами (65) і (72), в рівняння (39). Тоді, з урахуванням співвідношення (50), будемо мати

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t)\mu(t) - B(t)G_u^{-1}(t)B^T(t)S(t)\hat{x}(t) = \\ \quad = A(t)x(t) + \left(\gamma^{-2}F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t) - B(t)G_u^{-1}(t)B^T(t)\right)S(t)\hat{x}(t), \\ x(t_0) = \hat{x}(t_0) + \gamma^{-2}P(t_0)S(t_0)\hat{x}(t_0) = \left(E + \gamma^{-2}P(t_0)S(t_0)\right)\hat{x}(t_0). \end{cases} \quad (73)$$

Позначимо

$$h(t) = \left(E + \gamma^{-2}P(t)S(t)\right)\hat{x}(t).$$

Тоді, з урахуванням рівнянь (45), (68), (69), можна показати, що

$$\begin{cases} \frac{dh(t)}{dt} = A(t)h(t) + \left(\gamma^{-2}F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t) - B(t)G_u^{-1}(t)B^T(t)\right)S(t)\hat{x}(t), \\ h(t_0) = \left(E + \gamma^{-2}P(t_0)S(t_0)\right)\hat{x}(t_0). \end{cases} \quad (74)$$

Порівнюючи системи (73) і (74), приходимо до висновку, що $x(t) = h(t)$, $t \in [t_0, T]$, і значить,

$$x(t) = \left(E + \gamma^{-2}P(t)S(t)\right)\hat{x}(t). \quad (75)$$

Знайдемо тепер оптимальне значення для збурення в каналі вимірювання. З огляду на рівняння спостереження (2), і співвідношення (59), (66), (75), отримаємо

$$\begin{aligned} v(t) &= F_v^{-1}(t)(y(t) - C(t)x(t)) = F_v^{-1}(t)(\hat{v}(t) + C(t)\hat{x}(t) - C(t)x(t)) = \\ &= F_v^{-1}(t)\left(\gamma^{-2}C(t)P(t)S(t)\hat{x}(t) + C(t)\left(\hat{x}(t) - \left(E + \gamma^{-2}P(t)S(t)\right)\hat{x}(t)\right)\right) = 0. \end{aligned} \quad (76)$$

Таким чином, оптимальне збурення $v(t) = 0$.

З огляду на співвідношення (72), перетворимо також оптимальні збурення x_0 і $w(t)$, що визначаються за формулами (47) і (48)

$$x_0 = R_0^{-1}F_0^T\mu(t_0) + \hat{x}_0 = \gamma^{-2}R_0^{-1}F_0^T S(t_0)F_0\hat{x}_0 + \hat{x}_0 = \left(E + \gamma^{-2}R_0^{-1}F_0^T S(t_0)F_0\right)\hat{x}_0, \quad (77)$$

$$w(t) = R_w^{-1}(t)F_w^T(t)\mu(t) = \gamma^{-2}R_w^{-1}(t)F_w^T(t)S(t)\hat{x}(t). \quad (78)$$

У співвідношеннях, які визначають оптимальний розв'язок задачі H^∞ -керування, використовується матриця, яка є розв'язком рівняння (68). Це рівняння можна розв'язати, знаючи матрицю $P(t)$, яка в свою чергу є розв'язком іншого матричного диференціального рівняння (45), тобто матриця $S(t)$ є залежною від матриці $P(t)$. Для того, щоб розірвати цю залежність введемо в розгляд наступну матрицю

$$Q(t) = S(t)\left(E + \gamma^{-2}P(t)S(t)\right)^{-1} = \left(E + \gamma^{-2}S(t)P(t)\right)^{-1} S(t) = \left(S^{-1}(t) + \gamma^{-2}P(t)\right)^{-1}. \quad (79)$$

З огляду на те, що $P(t)$ – розв'язок рівняння (45), а $S(t)$ – задовольняє рівняння (68), можна показати, що $Q(t)$ задовольняє матричне диференціальне рівняння виду

$$\begin{cases} \frac{dQ(t)}{dt} = -A^T(t)Q(t) - Q(t)A(t) - G_x(t) + \\ \quad + Q(t)\left(B(t)G_u^{-1}(t)B^T(t) - \gamma^{-2}F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t)\right)Q(t), \\ Q(T) = G_f, \end{cases} \quad (80)$$

Нескладно також показати, що умова обмеженості розв'язків (матриць) $P(t)$ та $S(t)$ і матричних диференціальних рівнянь (45) і (68)

$$G_f - \gamma^2 P^{-1}(T) < 0$$

еквівалентна такій умові

$$E - \gamma^{-2}Q(t)P(t) > 0, t \in [t_0, T]. \quad (81)$$

Тепер виразимо з рівняння (79) матрицю $S(t)$ через $Q(t)$

$$S(t) = \left(E - \gamma^{-2}Q(t)P(t)\right)^{-1} Q(t) = Q(t) \left(E - \gamma^{-2}P(t)Q(t)\right)^{-1} = \left(Q^{-1}(t) - \gamma^{-2}P(t)\right)^{-1}. \quad (82)$$

Тоді розв'язок задачі H^∞ -керування остаточно можна представити таким чином

$$u(t) = -G_u^{-1}(t)B^T(t)Q(t) \left(E - \gamma^{-2}P(t)Q(t)\right)^{-1} \hat{x}(t), \quad (83)$$

де член $\hat{x}(t)$ є розв'язком наступної системи

$$\begin{cases} \frac{d\hat{x}(t)}{dt} = A(t)\hat{x}(t) + B(t)u(t) + \gamma^{-2}P(t)G_x(t)\hat{x}(t) + P(t)C^T(t)R(t)(y(t) - C(t)\hat{x}(t)), \\ \hat{x}(t_0) = F_0\hat{x}_0. \end{cases} \quad (84)$$

І в свою чергу член $R(t)$ відповідно є

$$R(t) = (F_v^{-1}(t))^T R_v(t) F_v^{-1}(t).$$

Матриці $P(t)$ і $Q(t)$ задовольняють наступні матричні рівняння типу Ріккати

$$\begin{cases} \frac{dP(t)}{dt} = A(t)P(t) + P(t)A^T(t) + F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t) - \\ \quad - P(t)\left(C^T(t)R(t)C(t) - \gamma^{-2}G_x(t)\right)P(t), \\ P(t_0) = F_0R_0^{-1}F_0^T, \end{cases} \quad (85)$$

$$\begin{cases} \frac{dQ(t)}{dt} = -A^T(t)Q(t) - Q(t)A(t) - G_x(t) + \\ \quad + Q(t)\left(B(t)G_u^{-1}(t)B^T(t) - \gamma^{-2}F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t)\right)Q(t), \\ Q(T) = G_f, \end{cases} \quad (86)$$

Оптимальне H^∞ -керування відповідає мінімальному значенню γ_{\min}^2 параметра γ^2 , при якому виконується умова (нерівність)

$$E - \gamma^{-2}Q(t)P(t) > 0, t \in [t_0, T], \quad (87)$$

де симетричні позитивно визначені матриці $P(t)$ і $Q(t)$ задовольняють відповідно системи (85) і (86).

Підкреслимо, що системи (85) і (86) розв'язуються незалежно одна від одної в прямому і зворотному часі. При цьому параметр γ^2 не може бути обраний довільно. Він повинен задовольняти умову $\gamma^2 > \gamma_{\min}^2$. В іншому випадку матриці $P(t)$ і $Q(t)$ стають необмеженими. Відзначимо, що значення γ_{\min}^2 можна знайти чисельно, наприклад, методом половинного ділення відрізка.

Зауважимо також, що γ_{\min}^2 – це мінімальне значення критерію (3) при найбільш несприятливих збуреннях, що діють на систему і в каналі спостереження. При цьому найгірші збурення визначаються співвідношеннями

$$x_0 = (E - \gamma^{-2} R_0^{-1} F_0^T Q(t_0) F_0)^{-1} \hat{x}_0, \quad (88)$$

$$w(t) = \gamma^{-2} R_w^{-1}(t) F_w^T(t) (E - \gamma^{-2} Q(t) P(t))^{-1} Q(t) \hat{x}(t), \quad v(t) = 0. \quad (89)$$

Примітка. За допомогою координатного перетворення

$$x_c(t) = (E - \gamma^{-2} P(t) Q(t))^{-1} \hat{x}(t) \quad (90)$$

оптимальне H^∞ -керування можна представити у вигляді

$$u(t) = -G_u^{-1}(t) B^T(t) Q(t) x_c(t), \quad (91)$$

де $x_c(t)$ – виход компенсатора

$$\begin{cases} \frac{dx_c(t)}{dt} = Ax_c(t) + Bu(t) + \gamma^{-2} F_w R_w^{-1} F_w^T Q x_c(t) + (E - \gamma^{-2} P Q)^{-1} P C^T R (y(t) - Cx_c(t)), \\ x_c(t_0) = (E - \gamma^{-2} F_0 R_0^{-1} F_0^T Q(t_0))^{-1} F_0 \hat{x}_0, \end{cases} \quad (92)$$

або

$$\begin{cases} \frac{dx_c(t)}{dt} = A_c(t) x_c(t) + B_c(t) y(t), \\ x_c(t_0) = x_c^0, \end{cases} \quad (93)$$

в якому позначено

$$A_c(t) = A(t) - B(t) G_u^{-1}(t) B^T(t) Q(t) + \gamma^{-2} F_w(t) R_w^{-1}(t) F_w^T(t) Q(t) - (E - \gamma^{-2} P(t) Q(t))^{-1} P(t) C^T(t) R(t) C(t), \quad (94)$$

$$B_c(t) = (E - \gamma^{-2} P(t) Q(t))^{-1} P(t) C^T(t) R(t), \quad (95)$$

$$x_c^0 = (E - \gamma^{-2} F_0 R_0^{-1} F_0^T Q(t_0))^{-1} F_0 \hat{x}_0. \quad (96)$$

При цьому найгірші збурення, що діють на систему, визначаються співвідношенням

$$w(t) = \gamma^{-2} R_w^{-1}(t) F_w^T(t) Q(t) x_c(t). \quad (97)$$

Висновки. Таким чином, мета статті, продекларована на початку роботи, досягнута, запропоновані розв'язки задачі пошуку оптимального керування в якості зворотного зв'язку за виходом, яке мінімізує інтегрально-квадратичний критерій функціонування в умовах невизначеності за найбільш несприятливих збурень. Результати досліджень представлені у вигляді практичних формул, згідно з якими допустимі відповідні розрахунки при моделюванні процесів керування в розглянутому лінійному динамічному нестационарному об'єкті з невизначеностями. Теорія автоматичного керування рухається в напрямку ускладнення досліджуваних явищ,

процесів і зменшення інформації про систему керування, об'єкт, його особливості, властивості, характеристики, умови функціонування, невизначеності та зовнішні впливи. Враховуючи все вищезазначене, обраний напрям досліджень є перспективним і має високий рівень актуальності.

Список літератури

1. Баландин Д.В., Коган М.М. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств. М.: Физматлит, 2007. 281 с.
2. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Физматлит, 2004. 560 с.
3. Поляк Б.Т., Хлебников М.В. Управление линейными системами при внешних возмущениях: Техника линейных матричных неравенств. М.: ЛЕНАНД, 2014. 560 с.
4. Якубович В.А. Решение некоторых матричных неравенств, встречающихся в теории автоматического регулирования. *ДАН СССР*. 1962. Т. 143. №6. С. 1304-1307.
5. Boyd S., El Ghaoui L., Feron E., Balakrishnan V. *Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory*. Philadelphia: SIAM, 1994. 193 p.
6. Chilali M., Gahinet P. H^∞ design with pole placement constraints: An LMI approach. *IEEE Trans. Automat. Contr.*, 1996. vol.41, pp. 358–367.
7. Ghaoui L.E., Niculescu S.I. *Advances in linear matrix inequality methods in control*. Advances in Design and Control. Philadelphia, PA: SIAM, 2000. 372 p.
8. Masubuchi I., Ohara A., Suda N. LMI-based controller synthesis: A unified formulation and solution. *Int. J. Robust Nonlinear Contr.*, 1998, vol. 8, pp. 669–686.
9. Лобок О.П., Гончаренко Б.М., Савицька Н.М. Мінімаксне управління в лінійних динамічних системах із розподіленими параметрами. *Журнал «Наукові праці НУХТ»*. 2015. Том 21, № 6. С.16-26.
10. Кириченко Н.Ф. Минимаксное управление и оценивание в динамических системах. *Автоматика и телемеханика*. 1982. №1. С. 32-39
11. Лобок А.П. Минимаксные регуляторы в системах с распределенными параметрами. *Моделирование и оптимизация сложных систем: Вестн. Киев. универ.*. 1983. Вып.2. С. 62-67.
12. Васильев Ф.П. Методы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1981. 400 с.

References

1. Balandin, D.V. & Kogan, M.M. (2007). *Sintez zakonov upravlenija na osnove linejnyh matrichnyh neravenstv [Synthesis of control laws based on linear matrix inequalities]*. Moscow: Fizmatlit [in Russian].
2. Gantmaher, F.R. (2004). *Teorija matric [Matrix theory]*. Moscow: Fizmatlit [in Russian].
3. Poljak, B.T. & Hlebnikov, M.V. (2014). *Upravlenie linejnymi sistemami pri vneshnih vozmushhenijah: Tehnika linejnyh matrichnyh neravenstv [Control of linear systems under external disturbances: Technique of linear matrix inequalities]*. Moscow: LENAND [in Russian].
4. Jakubovich, V.A. (1962). Reshenie nekotoryh matrichnyh neravenstv, vstrechajushhihsja v teorii avtomaticheskogo regulirovanija [The solution of some matrix inequalities encountered in the theory of automatic regulation]. *DAN SSSR – DAN SSSU, Vol. 143, 6, 1304-1307* [in Russian].
5. Boyd, S., El Ghaoui, L., Feron, E. & Balakrishnan, V. (1994). *Linear Matrix Inequalities in System and Control*. Philadelphia: SIAM [in English].
6. Chilali, M. & Gahinet, P. (1996). H^∞ design with pole placement constraints: An LMI approach. *IEEE Trans. Automat. Contr., Vol.41, 358-367* [in English].
7. Ghaoui, L.E. & Niculescu, S.I. (2000). *Advances in linear matrix inequality methods in control*. Advances in Design and Control. PA: SIAM [in English].
8. Masubuchi, I., Ohara, A. & Suda, N. (1998). LMI-based controller synthesis: A unified formulation and solution. *Int. J. Robust Nonlinear Contr., Vol. 8, 669–686* [in English].
9. Lobok, O.P., Honcharenko, B.M. & Savits'ka, N.M. (2015). Minimaksne upravlinnia v linijnykh dynamichnykh systemakh iz rozpodilenyj parametramy [Minimax control in linear dynamic systems with distributed parameters]. *Zhurnal «Naukovi pratsi NUKhT» – The Journal “Scientific Works of National University of Food Technologies”, Vol. 21, 6, 16-26* [in Ukrainian].
10. Kirichenko, N.F. (1982). Minimaksnoe upravlenie i ocenivanie v dinamicheskikh sistemah. *Avtomatika i telemehaniка – Automation and Telemechanics, 1, 32-39* [in Russian].

11. Lobok, A.P. (1983). Minimaksnye reguljatory v sistemah s raspredelennymi parametrami. Vestn [Minimax controllers in distributed parameter systems]. *Modelirovanie i optimizacija slozhnyh system – Modelling and optimization of complex systems, Vol.2*, 62-67 [in Russian].
12. Vasil'ev, F.P. (1981). *Metody reshenija jekstremal'nyh zadach [Methods for solving extreme problems]*. Moskow: Nauka [in Russian].

Oleksij Lobok, Assos. Prof., PhD of Phys.& Math. Sci., **Boris Goncharenko**, Prof. DSc.

National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Larisa Vihrova, Prof. PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Reducing the Problem of Minimax Control of Linear non-Stationary Systems to a H^∞ - Robust One by the Way of Dynamic Game

The problem of synthesis of minimax control for the dynamic, described by the linear system of differential equations (taking into account the state, controls, perturbations and initial conditions, with the given equation of observation inclusive) of objects functioning in accordance with the integral-quadratic quality criterion in uncertainty is solved in the work.

External perturbations, errors, and initial conditions were assumed to belong to a number of uncertainties. The task of finding optimal control in the form of a feedback object that minimizes the performance criterion is presented in the form of a minimum maximal uncertainty control problem. In the absence of ready-made solution paths, this problem is reduced to a H^∞ -control problem under the most unfavorable disturbances, and in addition to a dynamic game problem with zero sum and a certain price for the game, and a strategy for solving it is proposed that offers a way to new results.

The problem of finding the optimal control and the initial state that maximize the quality criterion is considered in the framework of the optimization problem solved by the Lagrange multiplier method after introducing the auxiliary scalar function, the Hamiltonian. It is shown that to find the maximum value of the criterion, either the necessary condition of the extremum of the first kind can be used, which depends on the ratio of the first variation of the criterion and the first variations of the control vectors and the initial state, or also the necessary condition of the extremum of the second kind, which depends on the sign of the second variation. For the first and second variations, formulas are given that can be used for calculations.

It is suggested to solve the control search problem in two steps: search for an intermediate solution at fixed values of control vectors and errors, and then search for final optimal control. Consideration is also given to solving H^∞ -optimal control for infinite control time with respect to the signal from the compensator output, as well as solving the corresponding Riccati matrix algebraic equations.

minimax control, robustness, systems with uncertainties, optimization, dynamic game, matrix form

Одержано (Received) 20.02.2020

Прорецензовано (Reviewed) 15.04.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.74

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).163-169](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).163-169)

В.М. Ломакін, доц., канд. техн. наук, **В.В. Пукалов**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: vik284333@gmail.com

В.І. Дубодєлов, проф., д-р техн. наук, **М.С. Горюк**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.
Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, м. Київ, Україна

Автоматизація порційної розливки розплаву чавуну в кокіль при виробництві виливків деталей машин гірничорудної промисловості

Виконано аналіз основних параметрів дозування розплаву чавуну в металеві форми за допомогою магнітодинамічної установки МДН-6Ч. Розроблено принципову схему управління електромагнітними системами агрегату. Відпрацьовано технологію дозування і заливки металу в кокіль при виготовленні чавунних куль діаметром 40 і 120 мм.

чавун, розплав, магнітодинамічна установка, кокіль, схема управління

В.Н. Ломакин, доц., канд. техн. наук, **В.В. Пукалов**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна
В.И. Дубоделов, проф., д-р. техн. наук, **М.С. Горюк**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев, Украина

Автоматизация порционной заливки расплава чугуна в кокиль при производстве отливок деталей машин горнорудной промышленности

Проведен анализ основных параметров дозирования расплава чугуна в металлические формы с помощью магнитодинамической установки МДН-6Ч. Разработана принципиальная схема управления электромагнитными системами агрегата. Отработана технология дозирования и заливки металла в кокиль при изготовлении чугунных шаров диаметром 40 и 120 мм.

чугун, расплав, магнитодинамическая установка, кокиль, схема управления

Постановка проблеми. В умовах масового і крупносерійного виробництва литих виробів порційна розливка розплавів чавуну в металеві форми (кокілі), встановлені на ливарному конвеєрі, є однією з відповідальних технологічних операцій. При цьому для отримання необхідної структури і високої якості виливків слід забезпечити стабільність фізико-хімічних і ливарних властивостей рідкого металу, раціональні теплові параметри кокілів і режими заповнення їх ливникової системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із ефективних способів дозування розплавів чавуну в кокілі, встановлені на конвеєрі або карусельній машині, є застосування засобів магнітної гідродинаміки, зокрема магнітодинамічної установки моделі МДН-6Ч [1, 2], висока ефективність якої пояснюється високим ККД та можливістю незалежного управління температурою і швидкістю руху рідкого металу.

Поставка завдання. Задача дослідження полягала у вивченні процесу порційної розливки чавуну у металеві форми та забезпеченні високої точності дозування розплаву в рамках технології виготовлення литих чавунних молоткових тіл сферичної форми.

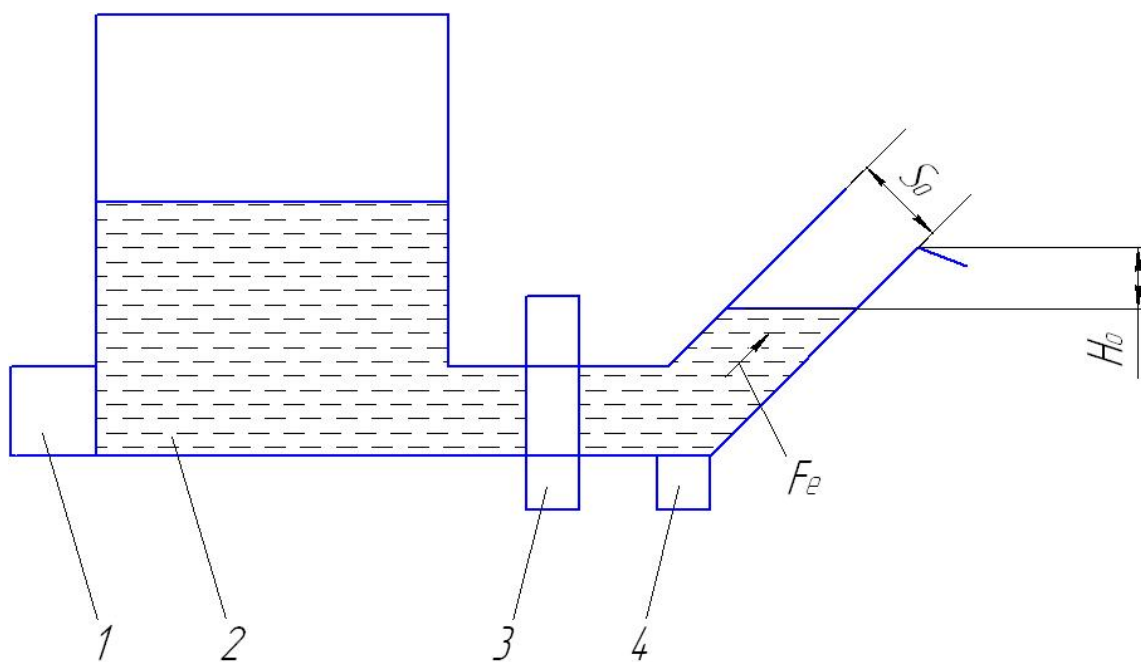
Виклад основного матеріалу. Висока продуктивність ливарного конвеєра при виготовленні литих куль обумовлює необхідність механізації і автоматизації всіх

технологічних операцій. Саме тому велике значення мають питання не тільки заливки, а й дозування рідкого металу в кокілі. Застосовувані для цієї мети методи і пристрої, поряд з механізацією процесу заливки, повинні забезпечити високу точність дозування. Це пов'язано з тим, що недолив рідкого металу в кокілі призводить до недостатнього підживлення виливків під час їх кристалізації і утворення раковин, зростання ливарного браку. У той же час перелив сплаву призводить до намерзання металу на поверхні кокілю, що вимагає додаткових трудовитрат по очищенню форм від скрапу, збільшення витрати металу і часу простою конвеєра.

Аналіз процесу заливки і дозування металу із застосуванням магнітодинамічної установки показує, що спосіб дозування за часом найбільш простий в реалізації і забезпечує достатню точність дозування [3, 4]. З урахуванням цього в даній роботі він був прийнятий за основу.

Маса порції металу $G_{\text{мет}}$ при дозуванні за часом за допомогою МГД-установки залежить від тривалості дозування τ_d , величини електромагнітної сили F_e , вихідного рівня металу на зливному носку H_0 і стабільності перетину S_0 прохідного отвору, через який видається порція рідкого металу.

Технологія дозованої заливки кокілів відпрацьовувалася в ливарному цеху з урахуванням раніше проведених теоретичних розрахунків теплових параметрів лиття та кристалізації литих чавунних куль [5, 6, 7], а також результатів моделювання процесу заповнення ливарних форм рідким металом. [8]. Експерименти проводилися у виробничих умовах із застосуванням магнітодинамічної установки для чавуну МДН-6Ч (рис. 1).



1 - електропривід; 2 - тигель; 3 - індуктор; 4 - електромагніт

Рисунок 1 – Схема установки МДН-6Ч і параметри дозування розплаву

Джерело: розроблено авторами

Рідкий метал із ванни МДН-6Ч подавали в кокілі по проміжному жолобу, який одним кінцем розташовувався біля зливного носка магнітодинамічної установки, а іншим - над ливниковою воронкою ливарної форми. Рідкий чавун в тигель установки заливали ливарними ковшами ємністю 1 т при температурі 1320-1340 ° С. Хімічний

склад чавуну знаходився в межах: 2.8-3.6% C; 1.2-1.8% Si; 0.5-0.9% Mn; до 0.1% S і P; 0.8-1.2% Cr.

При відпрацюванні технології дозування чавуну в кокіль був проведений аналіз основних факторів, що впливають на величину дози, і експериментально визначені режими роботи МГД-установки, які забезпечують необхідну точність дозування.

Час дозування металу τ_d є одним з основних параметрів, котрий визначається з умов процесу заливки і заповнення ливникової системи кокілю. Як показали дослідження, проведенні на моделях форм із органічного скла, час заповнення кокілів для виготовлення литих чавунних куль діаметром 40 мм має бути 7.3-7.5 с, а діаметром 120 мм - 16.0-16.2 с [8].

Виходячи з експериментально встановлених значень часу заливки кокілю, були прийняті інші параметри процесу: перетин отвору S_0 , через який видається порція металу, вихідний рівень металу на зливному носку установки H_0 і величина електромагнітної сили F_e . Ці параметри визначають витрату і гідродинаміку заповнення кокілю. Саме тому підтримка їх сталості при заливці кокілів є одною з головних вимог технології виготовлення якісних литих куль.

Виробничий досвід показує, що для збереження постійного перетину каліброваного отвору S_0 необхідно дотримуватися певних теплових умов, при яких футеровка зливного отвору добре прогривається, що виключає намерзання на ній металу та шлаку.

Були проведенні натурні експерименти для визначення раціональних теплових режимів роботи установки, які забезпечують хорошу рідкоплинність чавуну, виключають намерзання шлаку в зливному отворі і утворення скрапу на проміжному жолобі в умовах, що відповідають періодичній роботі конвеєра. При цьому вивчалися також електричні параметри індуктора установки, при яких забезпечується стабільна температура заливки форм протягом тривалого часу. Крім цього, визначалася можливість регулювання електричних параметрів і відповідно температури при зміні маси металу в тиглі установки.

Температуру металу в установці контролювали термопарою ТПР-30/6 з кварцовим наконечником і переносним мілівольтметром, а електричні параметри вимірювали приладами, розташованими на щиті управління установки.

Встановлено, що при температурі чавуну нижче 1340 °C на зливному носку установки МДН-6Ч утворюється кірки металу і шлаку. При цьому змінюється прохідний перетин контрольованого отвору, що призводить до зміни витрати і величини дози металу.

При температурі 1340-1360 °C чавун має хорошу рідкоплинність внаслідок чого при переливі його з установки в кокіль на зливному носку і проміжному жолобі не утворюється скрап. При цьому не змінюється гідродинаміка течії струменя рідкого металу, що сприяє отриманню стабільних по масі порцій металу.

Розлив металу при температурах вище 1360 °C характеризується тим, що процес дозування йде добре, але виливки не встигають повною мірою охолонути в кокілі, і при вибивці з ливарної форми деформуються. Для виключення цього недоліку необхідно збільшити час витримки виливків в кокілі, що не вигідно, оскільки знижується продуктивність ливарного конвеєра.

Проведені експерименти показали, що при температурі 1340-1360 °C процес розливання чавуну характеризується найбільшою стабільністю. При цьому вихідний рівень H_0 розливання металу на зливному носку слід підтримувати не менше 20-30 мм від порога зливу.

При оптимальній температурі розливання чавуну електричні параметри індуктора (напруга U_i , сила струму I_i , потужність P_i) знаходилися в межах $U_i = 250-300$ В, $I_i = 480-520$ А, $P_i = 140-160$ кВт. При зменшенні маси металу в тиглі МДН-6Ч за

допомогою схеми управління проводили перемикання індуктора з напруги 300 В на 250 В. При цьому потужність зменшувалася на 15-20 кВт, а температура металу залишалася в межах допуску технології розливання металу.

Величина електромагнітної сили P_e повинна бути такою, щоб забезпечити необхідну витрату при заповненні розплавом чавуну ливникової системи кокілю. В установці МДН-6Ч величина електромагнітної сили залежить від напруги живлення індуктора U_i і електромагніта $U_{ел}$. На практиці для спрощення системи управління на одній з електромагнітних систем, наприклад на індукторі, напруга живлення підтримується сталою, а величину електромагнітної сили регулюють зміною напруги на електромагніті $U_{ел}$.

Таким чином, аналіз вихідних параметрів, від яких залежить величина дози, показує, що зміна кожного з них призводить до відхилення величини порції металу від заданої. Для отримання стабільних результатів при дозуванні необхідно виключити зміну основних параметрів протягом тривалого часу. З цією метою була розроблена структурна схема управління електромагнітними системами установки МДН-6Ч, яка забезпечує незалежне регулювання кожного з визначальних параметрів дозування і підтримки їх в заданих межах (рис.2).

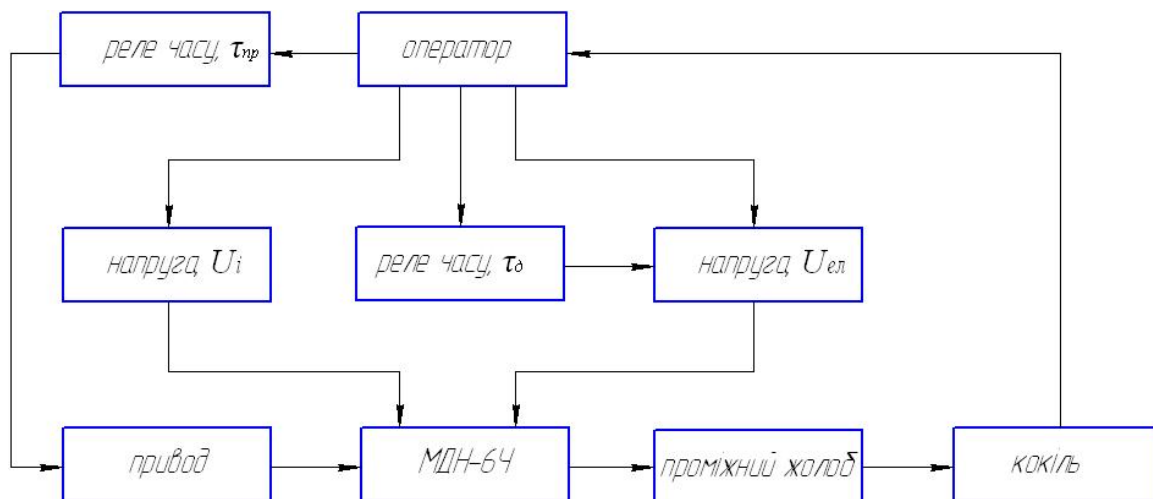


Рисунок 2 – Структурна схема управління електромагнітною системою МДН-6Ч

Джерело: розроблено авторами

З використанням прийнятої схеми дозування стало можливим розливання металу проводити при сталих параметрах електромагнітної системи і часу заливки τ_d , а зміну маси дози виконувати зміною вихідного рівня металу H_0 на зливному носку за рахунок варіювання часу ($\tau_{пр}$) включення приводу стабілізації H_0 .

Відпрацювання технології дозування і заливки металу в кокіль для виготовлення чавунних куль діаметром 40 і 120 мм проводили при напругі індуктора 300 В, а електромагніту - 220 В. Вихідний рівень металу на зливному носку був рівним 20 мм. Час заливки кокілів при виготовленні куль діаметром 40 мм становив 7,3 с, а куль діаметром 120 мм - 16,2 с. Час роботи електромеханічного приводу $\tau_{пр}$ встановили при виготовленні куль діаметром 40 мм - 0,35 с, а куль діаметром 120 мм - 0,75с. Витрата металу при виготовленні куль діаметром 40 і 120 мм знаходилась в межах 0,70-0,75 кг/с і 1,65-1,70 кг/с відповідно. Розливання металу проводили при температурах 1320-1340 °С і 1360-1380 °С.

Точність дозування визначали зважуванням металу залитих куль і ливникової системи кокілю (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати зважування маси виливків

Маса виливків Ø40 мм з ливниками в шістнадцятимісному кокільі, кг; (G _{мет} =5,37 кг)		Маса виливків Ø120 мм з ливниками в чотиримісному кокільі, кг; (G _{мет} =27,26 кг)	
при температурі чавуну 1320 °С	при температурі чавуну 1370 °С	при температурі чавуну 1330 °С	при температурі чавуну 1360 °С
5,14	5,22	27,03	26,83
5,37	5,49	27,46	27,21
4,99	5,47	28,00	27,46
5,15	5,18	27,23	27,34
5,64	5,23	26,82	27,23
5,51	5,52	26,91	27,64
5,57	5,32	27,05	27,70
5,84	5,26	27,25	26,92
5,45	5,46	27,71	27,01
5,27	5,43	27,43	27,09
5,32	5,29	27,18	27,13
4,91	5,21	26,79	27,30
5,04	5,47	27,01	27,14
5,20	5,53	27,36	27,28
5,73	5,42	27,47	27,06
5,04	5,17	27,84	27,14
4,91	5,51	27,47	27,25
5,15	5,45	26,93	27,18

Джерело: розроблено авторами

Математична обробка результатів дозування показала, що при виготовленні куль діаметром 40 мм при температурі 1320 °С похибка дозування дорівнює 10-11%. З підвищенням температури чавуну похибка дозування зменшується і при температурі металу 1370 °С становить 5-6%. При виготовленні куль діаметром 120 мм при температурі чавуну 1330 похибка дозування дорівнює 7-8%, а при температурі 1360°С - 3-4%.

Висновки. Проведене дослідження особливостей процесу заливки і дозування чавуну в кокіль дозволило розробити технологію порційної розливки розплавів чавуну, що забезпечило необхідну точність дозування та високу продуктивність конвеєрного виробництва молільних тіл.

Список літератури

1. Ефимов В.А., Анисович Г.А., Бабич В.Н. и др. Под общ. ред. В.А. Ефимова. Специальные способы литья: *Справочник*. М.: Машиностроение, 1991. 436 с.
2. МГД в литейном производстве и металлургии: *Сб. науч. трудов*. К.: Изд-во АН УССР. 1984. 111 с.
3. Дубоделов В. И., Погорский В. К., Должиков А. А. Интенсификация МГД-тепломассопереноса в индукционных канальных печах. Пермь-Киев: изд-во АН УССР, 1981. С. 53-56.
4. Крылов Ю. А., Рускол В. И., Филатов С. К. Автоматическое регулирование дозы в установке с погружньш МГД-насосом. *Литейное производство*. 1990. Вып. 12. С. 11-12.
5. Дубоделов В. И., Погорский В. К., Кропивний В. Н., Ломакин В. Н. Численное исследование кинетики затвердевания мелющих тел в металлических формах с естественным воздушным охлаждением. *Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету*. 1999. Вип. №4. С. 5-10.
6. Ломакін В.М., Клименко В.В., Пукалов В.В., Ломакін А.В. Дослідження впливу кінетики кристалізації на властивості кокільних виливків чавунних цильпесків. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту*. 2016. Вип. 29. С. 132-139.
7. Ломакін В.М., Клименко В.В., Пукалов В.В., Кузик О.В., Дубоделов В.І., Горюк М.С. Дослідження процесу затвердіння та прогнозування структури литих чавунних молільних тіл. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту*. 2018. Вип. 31. С. 66-74.

8. Дубоделов В. И., Гончар Б. С., Погорский В. К., Ломакин В. Н. Технологические особенности заливки металлических форм при изготовлении мелющих тел из чугуна. *Процессы литья*. 1999. Вып. 1. С. 41-47.

References

1. Efimov, V.A., Anisovich, G.A., Babich, V.N. et al. (1991). *Special'nye sposoby litja [Special casting methods]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
2. *MGD v litejnom proizvodstve i metallurgii. [Magnetic hydrodynamics in foundry and metallurgy]. Sbornik nauchnyh trudov.* (1984). K.: AN USSR [in Russian].
3. Dubodelov, V.I., Pogorskij, V.K., Dolzhikov, A.A. (1981). *Intencifikaciya MGD-teplomassoperenosa v indukcionnyh kanal'nyh pechah [Intensification of MHD heat and mass transfer in induction channel furnaces]*. Perm-Kiev: AN USSR [in Russian].
4. Krylov, Yu.A., Ruskol, V.I., Filatov, S.K. (1990). Avtomaticheskoe regulirovanie dozy v ustanovke s pogrugnym MGD-nasosom [Automatic dose control in a submersible MHD pump]. *Litejnoe proizvodstvo – Foundry, Vol 12*, 11-12. [in Russian].
5. Dubodelov, V.I., Pogorskij, V.K., Kropivnyj, V.M., Lomakin, V.M. (1999). Chislennoe issledovanie kinetiki zatverdevaniya melyushchih tel v metallicheskih formah s estestvennym vozdušnym ohlagdeniem [Numerical study of the solidification kinetics of grinding media in metallic forms with natural air cooling]. *Zbirnik naukovih prac' Kirovgrads'kogo derzhavnogo tehničnogo universitetu – Collection of scientific works of Kirovgrad State Technical University, Vol. 4*, 5-10 [in Russian].
6. Lomakin, V.M., Klymenko, V.V., Pukalov, V.V., Lomakin, A.V. (2016). Doslidžennya vplyvu kinytyky krystalizacii na vlastyvoli kokil'nyh vylyvkiv chavunnyh cyl'pebsiv [Investigation of the effect of crystallization kinetics on the properties of chill castings of cast iron grinding bodies]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zb. nauk. pr. Kirovohr. nats. tekhn. un-tu. – Collection of Scientific Works of KNTU. Engineering in agricultural production, industrial engineering, automation, Vol. 29*, 132-139 [in Ukrainian].
7. Lomakin, V.M., Klymenko, V.V., Pukalov, V.V., Kuzyk, O.V., Dubodelov, V.I., Goryuk, M.S. (2018). Doslidžennya procesu zatverdinnia ta prognozuvannia struktury lytyh chavunnyh molol'nyh til [Investigation of the process of solidification and prediction of the structure of cast iron grinding bodies]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zb. nauk. pr. Kirovohr. nats. tekhn. un-tu. – Collection of Scientific Works of KNTU. Engineering in agricultural production, industrial engineering, automation, Vol. 31*, 66-74. [in Ukrainian].
8. Dubodelov, V.I., Gonchar, B.S., Pogorskij, V.K. & Lomakin, V.M. (1999). Tekhnologicheskie osobennosti zalivki metallicheskih form pri izgotovlenii melyushchih tel iz chuguna [Technological features of pouring metal molds in the manufacture of grinding media from cast iron]. *Processy litja – Casting processes, Vol 1*, 41-47 [in Russian].

Viktor Lomakin, Assos. Prof., PhD tech. sci., **Viktor Pukalov**, Assos. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Viktor Dubodelov, Prof., DSc., **Maksim Goryuk**, PhD tech. sci., Senior Researcher

Physical and technological Institute of metals and alloys academy of sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Automation of Batch Casting of Cast Iron Melts in the Chill Mold in the Production of Castings of Machine Parts for the Mining Industry

The analysis of the basic parameters of the dosage of molten iron in metal forms using the magnetodynamic installation MDN-6CH. A schematic diagram has been developed for controlling the electromagnetic systems of the unit. The technology of dosing and pouring metal into the chill mold has been developed in the manufacture of cast iron balls with a diameter of 40 and 120 mm.

At the optimal casting temperature, the electrical parameters of the inductor (voltage U_i , current I_i , power R_i) were in the range $U_i = 250-300$ V, $I_i = 480-520$ A, $R_i = 140-160$ kW. When reducing the mass of metal in the crucible MDN-6CH using a control scheme made switching inductor from a voltage of 300 V to 250 V. The power was reduced by 15-20 kW, and the temperature of the metal remained within the tolerance of the technology of metal casting.

Using the adopted dosing scheme, it became possible to cast metal at constant parameters of the electromagnetic system and the time of pouring. The technology of dispensing and pouring metal into the mold for the production of cast iron balls with a diameter of 40 and 120 mm was carried out at an inductor voltage of 300 V, and the electromagnet - 220 V. The initial level of metal on the drain socket was equal to 20 mm. The molding time of molds in the manufacture of balls with a diameter of 40 mm was 7.3 s, and balls with a diameter of 120 mm - 16.2 s. The operating time of the electromechanical actuator was set in the manufacture of balls with a diameter of 40 mm - 0.35 s, and balls with a diameter of 120 mm - 0.75s. The consumption of metal in the

manufacture of balls with a diameter of 40 and 120 mm was in the range of 0.7-0.75 kg / s and 1.65-1.70 kg / s, respectively. The metal casting was carried out at temperatures of 1320-1340 ° C and 1360-1380 ° C. The dosage accuracy was determined by weighing the metal of the poured balls and the molding system of the mold.

Mathematical processing of the results of the dosing showed that in the manufacture of balls with a diameter of 40 mm at a temperature of 1320 ° C the error of dosing is 10-11%. With increasing iron temperature, the dosage error decreases and at a metal temperature of 1370 ° C is 5-6%. In the manufacture of balls with a diameter of 120 mm at a temperature of iron 1330, the dosage error is 7-8%, and at a temperature of 1360 ° C - 3-4%.

The study of the characteristics of the casting and dosing process of cast iron in the chill mold allowed us to develop the technology of casting cast iron melts, which provided the required metering accuracy and high productivity of the conveyor production of grinding bodies.

cast iron, melt, magnetodynamic installation, chill mold, control circuit

Одержано (Received) 16.04.2020

Прорецензовано (Reviewed) 14.05.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.937.5

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).169-174](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).169-174)

І.А. Березюк, доц., канд. техн. наук, **О.П. Голик**, доц., канд. техн. наук,

В.П. Солдатенко, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: sharovalovai@ukr.net

Динамічне проектування оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання для стрічкопилкового верстата

Запропоновано методологічні основи створення оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання для стрічкопилкового верстата на основі динамічного проектування. Використання новітніх методів структурної ідентифікації для визначення моделей динаміки «системи деревообробний верстат – процес різання» та діючого збурення, методів оптимального синтезу дозволяють забезпечити максимальну якість керування обробкою деревини на зазначеному верстаті при мінімальних затратах та заданих характеристиках оброблюваної поверхні.

стрічкопилковий верстат, структурна ідентифікація, спектральна щільність, передаточна функція, критерій якості, стохастичні збурення, оптимальна система стохастичної стабілізації

І.А. Березюк, доц., канд.техн.наук, **О.П. Голик**, доц., канд.техн.наук, **В.П. Солдатенко**, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Динамическое проектирование оптимальной системы стохастической стабилизации мощности резания для ленточнопильного станка

Предложены методологические основы построения оптимальной системы стохастической стабилизации мощности резания для ленточнопильного станка на основе динамического проектирования. Использование новых методов структурной идентификации для определения моделей динамики системы «деревообрабатывающий станок-процесс резания» и действующего возмущения, методов оптимального синтеза позволяют обеспечить максимальное качество управления обработкой древесины на данном станке при минимальных затратах и заданных характеристиках обрабатываемой поверхности.

ленточнопильный станок, структурная идентификация, передаточная функция, критерий качества, спектральная плотность, стохастические возмущения, оптимальная система стохастической стабилизации

Постановка проблеми. Останнім часом на підприємствах деревообробної галузі України відбувається стабільне нарощування обсягів виробництва. Важливе місце в структурі деревообробної промисловості займає лісопильне виробництво. Перед українськими лісопильними підприємствами на сучасному етапі стоїть задача переходу від екстенсивного розвитку до інтенсивного, при якому шляхом підвищення технічної культури виробництва та використання нових, високих технологій забезпечується значне підвищення продуктивності праці та споживчих властивостей продукції при мінімальних витратах сировини, енергії та трудових ресурсів.

На сьогоднішній день найбільш розповсюдженими лісопильним обладнанням є стрічкові пилорами. Розпилування деревини на пиломатеріали на верстатах даного класу є енергоємною та важливою операцією при виконанні первинної обробки деревини. Енергетичні затрати при цьому залежать від фізико – механічних властивостей деревини, енергетичних характеристик деревообробного верстату та режиму різання.

Ефективність технологічного процесу розпилування визначається успішністю отримання пиломатеріалів з заданими якістю поверхні, формою та розмірами при мінімально можливих витратах енергії, ресурсів, часу, коштів та залежить від багатьох факторів. Зокрема на неї суттєво впливають збурення, які діють під час обробки. Основними з них є анізотропія властивостей деревини, зміна стану ріжучого інструменту та обладнання.

Розробка нових ефективних принципів та методів побудови систем управління обробкою, що враховують динаміку збурень, які виникають в процесі обробки є складною актуальною науково-технічною задачею. Її вирішення сприятиме зменшенню собівартості і витрат енергії при виконанні обробки на стрічкопилкових верстатах, підвищенню продуктивності і забезпеченню конкурентоспроможності продукції деревообробної промисловості України на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досягти підвищення енергетичної ефективності процесу обробки можна за рахунок застосування систем управління процесом обробки на верстаті, які стабілізують силові параметри різання: потужність різання, зусилля різання, момент різання [1, 3]. Найбільшого розповсюдження для стрічкових пилорам, набули системи стабілізації потужності різання. Саме використання зазначених систем, як показано в працях [1, 3, 4, 5, 9], дозволить здійснити реалізацію енергозберігаючих режимів роботи на стрічкових пилорамах, підвищити якість та точність обробки, скоротити витрати сировини.

На сьогоднішній день відома значна кількість конструктивних рішень та схемних розробок, які відрізняються одна від одної кількістю параметрів, що контролюються, а також принципами побудови автоматичних регуляторів. Широкого розповсюдження набули системи стабілізації потужності різання з використанням паралельних та послідовних коректуючих пристроїв, адаптивних спостерігачів, упереджувальної корекції, системи із змінною уставкою.

Аналіз їх роботи показав, що кожна із наведених систем стабілізації володіє певними недоліками, зокрема низька швидкодія та значне перерегулювання; погіршення точності підтримання на заданому рівні регульованого параметру; забезпечення заданої якості обробки при значних енергетичних затратах. Це не дозволяє отримати максимальну якість керування. Рівень якості керування, який може бути досягнутий в системах побудованих на основі зазначених підходів є обмеженим, оскільки при виконанні розрахунків, як правило, вважають структуру використовують задану структуру моделі об'єкта керування та регулятора, а визначають тільки параметри [1, 3, 4, 5, 9].

Таким чином, обґрунтування методологічних основ та створення практичної технології побудови систем стабілізації потужності різання для стрічкопилкових

верстатів для забезпечення заданої якості оброблюваної поверхні з мінімальними енергетичними витратами в умовах виробництва, і, які б мали просту технічну реалізацію без внесення змін в конструкцію верстата, є актуальним складним науково-технічним завданням. Успішне розв'язання цього завдання пов'язане з використанням сучасних наукових підходів та обчислювальних алгоритмів, зокрема динамічного проектування [2, 7, 10, 11]. Це дозволить враховувати особливості динаміки верстату разом з приводами в реальних умовах функціонування, стохастичний характер зміни стану ріжучого інструменту, внутрішнього стану заготовки в процесі виконання обробки.

Постановка завдання. В даній роботі подано науково-обґрунтовані методологічні основи побудови оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання на основі динамічного проектування з урахуванням моделей системи «деревообробний верстат – процес різання» (ДВПР) та збурень визначених за результатами натурних випробувань її прототипу для досягнення максимальної якості процесу керування обробкою на стрічкопилкових верстатах.

Виклад основного матеріалу. Досягнення мети роботи пов'язане із розробкою нової технології створення систем зазначеного класу на основі динамічного проектування з урахуванням моделей динаміки об'єкту управління та збурень з використанням квадратичного критерію [2, 7, 8, 11].

Методологія побудови оптимальної системи стохастичної стабілізації на основі динамічного проектування містить наступні стадії (етапи)

- визначення моделей динаміки системи "деревообробний верстат – процес різання" та збурень, які виникають в процесі обробки за результатами експерименту в умовах виробництва;
- розробки процедури визначення структури та параметрів оптимального регулятора для зменшення впливу діючих в процесі обробки збурень;
- оцінювання якості системи при зміні фізико – механічних властивостей деревини та ріжучої здатності інструменту;
- визначити граничні рубежі якості синтезованої регулятором регулятором;
- визначити показники економічної ефективності на основі результатів проведених виробничих випробувань.

На першому етапі формулюються основні теоретичні засади нової технології побудови систем стабілізації потужності різання на основі динамічного проектування, пошук методів та алгоритмів для отримання моделей динаміки системи ДВПР та збурень, синтезу оптимального регулятора, аналізу якості системи, що проектується.

Застосування алгоритмів ідентифікації, синтезу та аналізу потребує виконання значного обсягу математичних операцій. Тому на другому етапі для здійснення таких розрахунків необхідно створити спеціальні програмні комплекси з використанням сучасних систем для математичних обчислень.

Метою третього етапу є отримання моделей динаміки системи ДВПР та збурюючого впливу. Вихідними даними для виконання цього етапу є записи вхідного та вихідного сигналів отримані в результаті проведення за спеціальною методикою натурних випробувань на стрічковій пилорамі в реальних експлуатаційних умовах. За результатами проведених досліджень виконується оцінка статистичних характеристик, визначаються спектральні щільності та взаємні спектральні щільності зазначених сигналів. Для проведення подальших розрахунків здійснюється апроксимація графіків спектральних та взаємних спектральних щільностей аналітичними виразами на класі дробово-раціональних функцій.

Після цього відповідно до розробленої на попередньому етапі методики виконується структурна ідентифікація моделей динаміки системи ДВПР та збурюючого

впливу. При цьому необхідно встановити, яким чином впливають фізико-механічні властивості деревини та стан полотна стрічкової пилки на структуру і параметри передаточної функції об'єкту управління та спектральної щільності збурення. З метою прийняття рішення про подальше використання отриманих результатів здійснюється аналіз якості ідентифікації згідно обраного критерію та за необхідності відбувається спрощення (редукування) математичних моделей.

На четвертому етапі виконується синтез оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання, розробка процедури отримання структури та параметрів регулятора. Вихідними даними для здійснення синтезу є моделі динаміки системи ДВПР та збурюючого впливу. Після знаходження передаточної функції регулятора відбувається обчислення обраного показника якості. На п'ятому етапі вирішуються задачі аналізу якості оптимальної системи стабілізації, визначення граничних рубежів якості системи з оптимальним регулятором.

На шостому етапі виконується розробка методики реалізації оптимальної системи стохастичної стабілізації.

На останніх етапах необхідно провести випробування розробленої системи в умовах виробництва та оцінити економічний ефект від її впровадження.

Основні результати. В результаті успішного виконання програми спеціальних експериментальних досліджень на деревообробному верстаті, належного зняття та обробки необхідної стохастичної інформації отримано оцінки динамічних характеристик сигналу з датчику струму приводу головного руху та сигналу керування приводом подачі у вигляді аналітичних виразів спектральних щільностей.

Встановлено, що спектральні щільності визначені для різних умов різання мають однакову структуру, а постійні часу та коефіцієнти демпфування змінюються не суттєво. Встановлено, що: моделі динаміки системи ДВПР представляють собою диференційні рівняння; а збурюючий вплив, який діє в системі в реальних експлуатаційних умовах, являє собою випадковий стаціонарний процес з нульовим математичним очікуванням та дробово-раціональною спектральною щільністю; узагальнений об'єкт може змінювати свої динамічні властивості в широких межах в діапазоні частот від 0.01 рад/сек до 1 рад/сек в залежності від умов різання та зміни характеристик деревини [8].

Застосування спектрального алгоритму синтезу дозволило визначити структуру та параметри оптимального регулятора, який забезпечує підвищення точності стабілізації потужності різання на два порядки при незмінній потужності сигналу керування [8].

Результати виконаних досліджень довели, що зміна параметрів об'єкту керування та збурення при застосуванні оптимального регулятора не призводить до перевищення граничних значень дисперсій сигналів [8].

Оптимальна система стохастичної стабілізації потужності різання синтезована на основі спектрального алгоритму володіє властивістю робастності для неструктурованих адитивних, мультиплікативних невизначеностей. На основі проведених досліджень можна зробити висновок про доцільність здійснення схемної реалізації отриманого регулятора і придатність до використання регулятора обраного типу в умовах виробництва [8].

Висновки. На підставі аналізу проведеного за літературними джерелами технологічного процесу обробки на деревообробних верстатах типу «стрічкова пилорама», оцінювання взаємозв'язку між технологічними параметрами та енергетичними витратами при виконанні обробки, методів побудови систем стабілізації потужності встановлено, що обробка деревини на стрічкопилкових верстатах представляє собою складний технологічний процес, який відбувається в організаційно-технічній системі. В процесі обробки виникають збурення, які пов'язані із зміною

властивостей деревини, що обробляється; станом технологічного обладнання та ріжучої здатності інструменту. При цьому необхідну якість розпилювання у більшості існуючих верстатів такого типу отримують за рахунок надлишкових витрат електроенергії, сировини та праці, оскільки при проведенні розрахунків режимів різання задаються завищеними запасами по відношенню до обмежень, пов'язаних з впливом збурюючих факторів. Тому для досягнення заданої якості оброблюваної поверхні з мінімальними енергетичними затратами обґрунтовано необхідність створення та методологічні основи нової технології синтезу автоматизованої системи керування обробкою деревини як системи стохастичної стабілізації потужності різання на основі динамічного проектування; визначено основні етапи реалізації запропонованої технології, показано взаємозв'язок між ними та послідовність виконання. Наведені основні результати застосування запропонованої технології, які доводять її ефективність.

Список літератури

1. Автоматизация типовых технологических процессов и установок / Корягин А.М., Петров Н.К., Радимов С.Н., Шапарев Н.К. Москва: Энергоатомиздат, 1988. 432 с.
2. Азарсков, В.Н., Блохин, Л.Н., Житецкий, Л.С. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации: монографія. Київ: Книжное изд-во НАУ, 2006. 400 с.
3. Вольнский, В. Н. Первичная обработка пиломатериалов на лесопильных предприятиях. Москва, 2005. 397 с.
4. Деревообробні верстати загального призначення: підручник / В. В. Шостак, Я. І. Савчук, А.С. Григор'єв та ін. Київ: Знання, 2007. 279 с.
5. Кірик, М. Д. Різання деревини та деревних матеріалів: навч. посібник. Львів: Український держ. лісотехнічний ун-т., 2000, 218 с.
6. Любченко, В.И. Резание древесины и древесные материалы. Москва: МГУЛ, 2004. 444 с.
7. Ньютон Дж. К. Теория линейных следящих систем/ под ред. А.М. Летова. Москва: Наука, 1961. 407 с.
8. Осадчий С.І. Методологія та етапи забезпечення максимальної якості процесу керування обробкою деревини на стрічкопилковому верстаті. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*: зб. наук. пр. Кіровогр. нац. техн. ун-ту. 2015. Вип. 28. С. 301-309.
9. Прокофьев Г. Ф., Дундин Н. И. Основные направления интенсификации переработки древесины на лесопильном оборудовании. *Известия вузов. Лесной журнал*. 2004. № 3. С. 65-72.
10. Струтинський В.Б., Мельничук П.П. Математичне моделювання металорізальних верстатів: монографія. Житомир, 2002. 570 с.
11. Блохін Л.М., Буриченко М.Ю., Білак Н.В. Статистична динаміка систем управління: підручник. Київ: НАУ, 2014. 300 с.

References

1. Korytyn, A.M., Petrov, N.K., Radymov, S.N. & Shaparev, N.K. (1988) *Avtomatyzatsiya tipovikh tekhnolohycheskykh protsessov y ustanovok [Automation of standard technological processes and installations]*. Moscow: Enerhoatomyzdat [in Russian].
2. Azarskov, V.N., Blokhyn, L.N. & Zhytetskyi, L.S. (2006). *Metodolohyia konstruyrovanyia optymalnykh system stokhastycheskoi stabylyzatsyy [Methodology of designing optimal stochastic stabilization systems]*. Kyiv: Knyzhnoe yzd-vo NAU [in Russian].
3. Volynskiy, V.N., Plastynyn, S.N. (2005). *Pervychnaia obrabotka pylomateriyalov na lesopylnykh predpriyatiakh [Primary processing of lumber on sawmills]*. Moscow: Ryil-press [in Russian].
4. Shostak, V.V., Savchuk, Ya.I., Hryhoriev A.S., Voloshynskiy, O.O. & Pyshnyk, I.M. (2007). *Derevoobrobni verstaty zahalnoho pryznachennia [General purpose woodworking machines]*. Kyiv : Znannia [in Ukrainian].
5. Kiryk, M. D., (2000). *Rizannia derevyny ta derevnykh materialiv [Cutting of wood and wood materials]*. Lviv: Ukrainskiy derzh. lisotekhnichniy un-t [in Russian].
6. Liubchenko, V.Y. (2004) *Rezanye drevesyny y drevesnykh materiyalov [Cutting of wood and wood materials]*. Moscow: MHUL [in Russian].

7. Niuton Dzh., K., (1961). *Teoriya lyneinykh slediashchykh system [Theory of linear tracking systems]* Moskva: Nauka [in Russian].
8. Osadchyi, S.I., Bereziuk, I.A. & Nedopokin, K.A. (2015). Metodolohiia ta etapy zabezpechennia maksimalnoi yakosti protsesu keruvannia obrobkoiu derevny na strichkopylkovomu verstati [Methodology and stages of insuring the maximum quality of the wood processing control on a band saw] Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnogo tekhnichnogo universytetu. *Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyziatsiia, Vol. 28, 301-309.* [in Ukrainian].
9. Prokofev, H. F., & Dundyn, N. Y. (2004). Osnovnye napravleniia yntensyfykatsyy pererabotky drevesyny na lesopylnom oborudovanuy [Main directions of the intensification of wood-processing on sawing equipment]. *Izvestija vuzov. Lesnoj zhurnal – Proceedings of universities. Forest Journal, 2, 65-72* [in Russian].
10. Strutynskiy, V.B. & Melnychuk, P.P. (2002). *Matematychni modeliuvannia metalorizalnykh verstativ [Mathematical modelling of metal cutting machines]*. Zhytomyr: ZhITI. [in Ukrainian].
11. Blokhin, L.M., Burychenko, M.Iu. & Bilak, N.V. (2014). *Statystychna dynamika system upravlinnia [Statistical dynamics of control systems]*. Kyiv: NAU. [in Ukrainian].

Iryna Bereziuk, Assoc. Prof., Phd tech. sci., **Olena Holyk**, Assoc. Prof., Phd tech. sci., **Valentyn Soldatenko**, Phd tech. sci.

Central Ukrainian Technical University, Kropyvnytsky, Ukraine

Dynamic Design of Optimal Stochastic Stabilization System of Cutting Power on a Band Saw Machine

The article is devoted to the development of methodological foundations for constructing an optimal system of stochastic stabilization of cutting power based on the results of structural identification of models of the dynamics of the system "woodworking machine-cutting process" and uncontrolled disturbance.

In order to solve the problem of structural identification of the "woodworking machine-cutting process" system and the disturbance acting in the process of wood-cutting, the article proposes a special technology, the use of which made it possible to determine the transfer function of the "woodworking machine-cutting process" and estimate the spectral density of the disturbance acting during the processing. It has been established that when the physical and mechanical properties of wood and the state of the cutting tool change, the structure of the transfer function and spectral density does not change, but only the parameters change. As a result of solving the synthesis problem, the structure and parameters of the optimal controller are determined, which ensures the specified quality of the processed surface with minimal energy consumption. To assess the quality of control, it is proposed to use a quadratic criterion, which is the sum of two weighted variances of the stator current deviation of the main motion motor (characterizes energy costs) and the variance of the feed drive speed control signal. Studies of the robust stability of the optimal system with the obtained controller under the influence of unstructured disturbances made it possible to determine the class and estimate the maximum norms of unstructured disturbances at which the system maintains stability and a given control quality.

The use of the proposed approach to the construction of an optimal system of stochastic stabilization of cutting power makes it possible to achieve a reduction in energy costs by 12% for a given quality of the processed surface by increasing the stabilization accuracy by two orders of magnitude.

band frame saw, structural identification, spectral density, transfer function, criterion of quality, stochastic indignations, optimum system of stochastic stabilization

Одержано (Received) 07.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 14.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 004.8/681.5

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).175-181](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).175-181)**О. П. Голик**, доц., канд. техн. наук, **І. А. Березюк**, доц., канд. техн. наук,**М. С. Мірошніченко**, доц., канд. техн. наук, **Ісмаїл Мухаммед**, асп.*Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
e-mail: dego@ukr.net*

Моніторинг та аналіз нафтових забруднень водних ресурсів з використанням інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень

В статті для аналізу та моніторингу нафтових забруднень водних ресурсів запропоновано розробити інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень, яка має в своєму складі базу даних параметрів нафтових забруднень та базу знань способів очистки.

нафтові забруднення, моніторинг, параметри нафтових забруднень прийняття рішень, база знань, база даних

Е. П. Голик, доц., канд. техн. наук, **І. А. Березюк**, доц., канд. техн. наук, **М. С. Мірошніченко**, доц., канд. техн. наук, **Ісмаїл Мухаммед**, асп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна

Мониторинг и анализ нефтяных загрязнений водных ресурсов с использованием интеллектуальной системы поддержки принятия решений

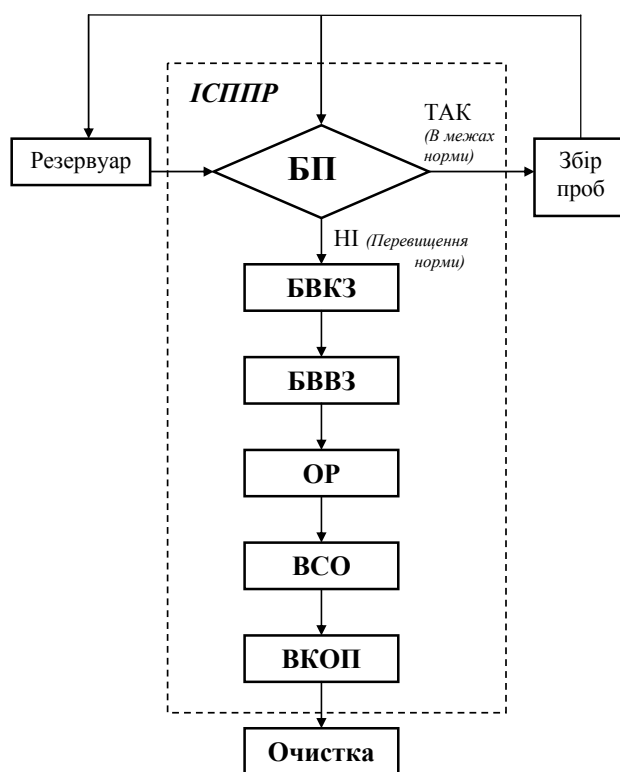
В статье для анализа и мониторинга нефтяных загрязнений водных ресурсов предложено разработать интеллектуальную систему поддержки принятия решений, которая включает в себя базу данных параметров нефтяных загрязнений и базу знаний способов очистки.

нефтяные загрязнения, мониторинг, параметры нефтяных загрязнений, принятие решений, база знаний, база данных

Постановка проблеми. Актуальність та доцільність проведення наукових досліджень в області очистки водних ресурсів від нафтових забруднень обґрунтована в [1]. За допомогою методів прийняття рішень в умовах невизначеності в [2] було визначено, що найбільш доцільним способом очистки водних ресурсів від нафтових забруднень є біологічний метод. Пропонується розробити робота зі штучним інтелектом, який безпосередньо у місці забруднення зможе виконувати очисні заходи. В [3] було запропоновано структурну схему для очистки водних ресурсів від нафтових забруднень, наведена на рис. 1.

Пропонується удосконалити дану схему та окремо дослідити роботу блоків визначення кількості та виду забруднення. Таким чином розробка блоків визначення кількості та виду забруднень для аналізу стану нафтових забруднень у водних ресурсах є актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [4] запропоновано математичну модель, яка дозволяє виконати прогноз розливу нафти та дослідити ефективність різних методів очистки поверхні води від нафтових забруднень. Дослідження проводились в умовах Новоросійського морського порту на Чорному морі. Запропонована дворівнева математична модель дозволяє моделювати рух нафти в межах акваторії порту. При моделюванні використано рівняння дифузії та метод динаміки часток. Особливістю даної моделі є широкий діапазон відстані від 1 мм до 10 км. Однак дана модель потребує додаткових досліджень, оскільки в ній не враховано основні параметри нафтових забруднень.



ІСППР – інтелектуальна система підтримки прийняття рішень; БП – блок порівняння;
 БВКЗ – блок визначення кількості забруднення; БВВЗ – блок визначення виду забруднення;
 ОР – обробка результатів; ВСО – визначення способу очистки;
 ВКОП – визначення кількості очисного препарату

Рисунок 1 – Структура аналізу нафтових забруднень водних ресурсів

Джерело: розроблено авторами

Згідно результатів аналізу, наведених у [5], на ступінь можливого забруднення впливають тип нафтопродукту, об'єм розливу нафтопродукту, течія, швидкість вітру та висота хвилі, напрямок вітру. Автором було запропоновано методику за допомогою якої можна оцінити параметри нафтового забруднення та виконати прогноз можливих сценаріїв подальших подій. Дану методику доцільно використовувати для створення інформаційної підтримки попередження нафтових розливів з поверхні води. Однак в даній методиці не наводиться способів очистки поверхні води від нафтових забруднень.

В роботі [6] автором запропоновано для розрахунку гідродинамічних умов розливів нафти використовувати тривимірні рівняння Нав'є-Стокса. При розрахунках було враховано умови на річці Волга, Росія. Це дозволяє виконати чисельну оцінку швидкості течії та інтенсивності турбулентності води для ділянки аварійності транспортних суден на річці Волга.

Для аналізу нафти в оточуючому середовищі автором в роботі [7] узагальнено методи взяття проб та очистки. Використано метод газової хроматографії. В основному робота присвячена аналізу вуглеводневих сполук у нафтопродуктах.

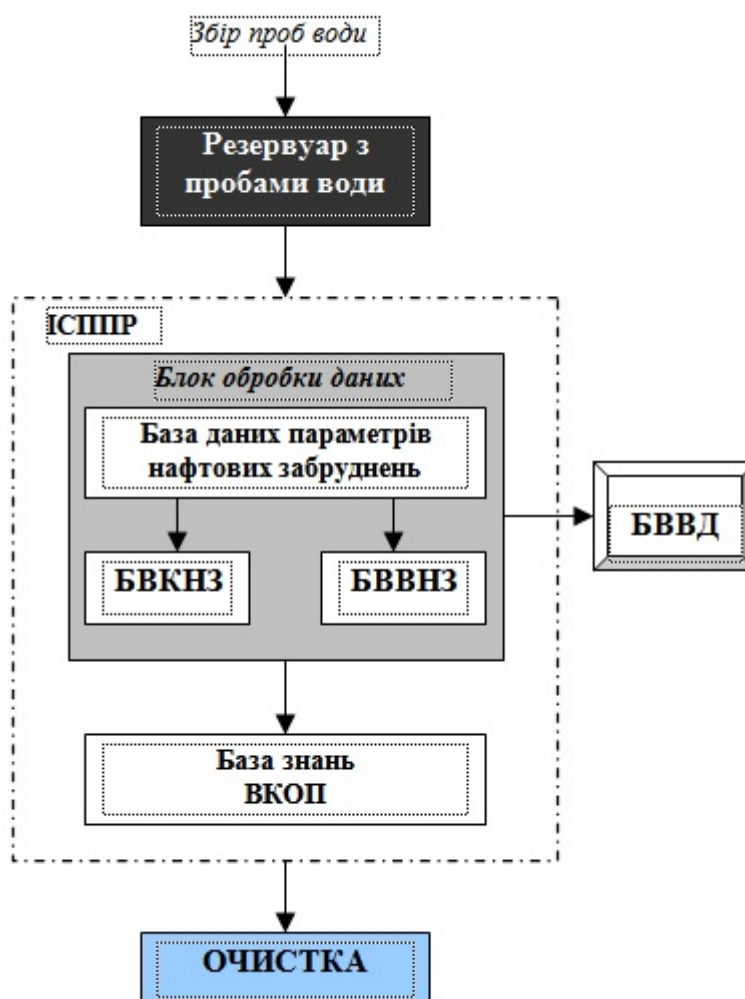
Методологія оцінки нафтових розливів в Аравійській затоці представлена в роботі [8]. Автором було проведено фактичні експерименти в яких враховувались різні типи нафти, швидкість та напрямок вітру, температура оточуючого середовища, властивості нафти та ін. В результаті досліджень було розроблено алгоритм та програмне забезпечення за допомогою якого можна оцінити об'єм розливої нафти. Вхідними даними для програмного забезпечення є площа розповсюдження та форма нафтової плями на поверхні води, різні метеорологічні та фотографічні умови. Даний метод доцільно використовувати для невеликих нафтових плям.

В роботах [9, 10] авторами запропоновано для прогнозування об'єму розливу нафти використати стохастичну модель Маркова. Дослідження проводились для умов Нігерії. За допомогою двостороннього статистичного дисперсійного аналізу було виявлено причини витоку нафти.

Постановка завдання. Аналіз наведених вище робіт показав, що для оцінки нафтових забруднень, як правило, застосовують різні статистичні методи, які дозволяють прогнозувати параметри нафтових забруднень. Однак вимагає додаткових досліджень проблема моніторингу, аналізу та очистки нафтових забруднень безпосередньо у місці розливу. Необхідно щоб була можливість одразу після витоку нафти (нафтопродуктів) оцінити параметри забруднення та відразу здійснити відповідні очисні заходи.

Метою роботи є аналіз нафтових забруднень поверхні води з використанням інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (ІСППР).

Основний матеріал. На рис. 2 представлена схема аналізу та моніторингу нафтових забруднень на поверхні води.



ІСППР – інтелектуальна система підтримки прийняття рішень; БВКНЗ – блок визначення кількості нафтових забруднень; БВВНЗ – блок визначення виду нафтових забруднень; БВВД – блок виводу та візуалізації даних; ВКОП – визначення кількості очисного препарату

Рисунок 2 – Структура аналізу розливів нафти у водних ресурсах

Джерело: розроблено авторами

Блок обробки даних (БОД) виконує аналіз нафтових забруднень. До його складу входять блок визначення кількості нафтового забруднення (БВКНЗ), блок визначення виду нафтового забруднення (БВВНЗ) та база даних параметрів нафтових забруднень (БДПНЗ).

БДПНЗ містить інформацію щодо факторів, які впливають на параметри нафтового забруднення. В результаті аналізу робіт різних авторів [4-9] щодо оцінки нафтових забруднень було виявлено, що найбільш впливовими параметрами нафтових забруднень є:

- об'єм розливу нафти (нафтопродуктів);
- тип нафтопродуктів;
- швидкість вітру;
- напрямок вітру;
- течія;
- швидкість хвилі;
- висота хвилі.

Тоді БДПНЗ можна представити в наступному вигляді (рис. 3).



БДПНЗ – база даних параметрів нафтових забруднень

Рисунок 3 – Структура бази даних параметрів нафтових забруднень на поверхні води

Джерело: розроблено авторами

Інформація з БДПНЗ надходить на БВКНЗ та БВВНЗ. Згідно інформації з БДПНЗ база знань визначає тип очисного препарату та його кількість. Базу даних доцільно заповнювати на основі статистичних даних та експертної оцінки.

Блок визначення кількості нафтового забруднення виконує розрахунок кількості нафтового забруднення з урахуванням інформації, що надійшла з БДПНЗ. Алгоритм роботи БВКНФ наступний.

1. Визначення маси нафти, що забруднює товщу води [11]:

$$M_n = 5,8 \cdot 10^{-3} \cdot M_p(C_n - C_f), \quad (1)$$

де M_n – маса розчиненої та(або) емульсованої нафти, що забруднює поверхню води, т.; M_p – маса нафти розлитої на поверхні водного об'єкту, т.; C_n – концентрація насичення розчиненої та(або) емульсованої нафти у поверхневому шарі води водного об'єкту, г/м³; C_f – фонові концентрації насичення розчиненої та(або) емульсованої нафти на глибині 0,3 м у поверхневому шарі води водного об'єкту, там де немає розливу, г/м³.

2. Визначення об'єму води, в якому розчинилась нафта [11]:

$$V_B = 0,3 \cdot F_{\Pi}, \quad (2)$$

де F_{Π} – площа поверхні водного об'єкту, яка покрита нафтою, м².

3. Визначення плівки нафти, що залишилась на водній поверхні [11]:

$$M_{\Pi H} = m_{\Pi H} \cdot F_{\Pi H}, \quad (3)$$

де $F_{\Pi H}$ – площа водної поверхні, яка покрита плівкою нафти, м²;

$m_{\Pi H}$ – маса плівки нафти на 1 м² площі водної поверхні, г/м².

Використання ІСППР для очистки нафтових забруднень доцільно, оскільки особам, що приймають рішення в даних умовах, буде складно внаслідок наступних причин:

- складність в прийнятті рішень;
- необхідність у точній оцінці різних альтернатив;
- необхідність функціоналу для прогнозування;
- необхідність мультипоточкового входу (для прийняття рішень необхідні виводи на основі даних, експертні оцінки, відомі обмеження та ін.).

Висновки. Для аналізу нафтових забруднень водних ресурсів доцільно використовувати ІСППР, які повинні мати в своєму складі базу даних та базу знань. База даних повинна містити ключову інформацію про параметри нафтових забруднень. Для прийняття рішення щодо кількості та типу очисного препарату необхідно володіти інформацією про об'єми розливу нафти та тип розливу, напрямок та швидкість вітру, течію, висоту та швидкість хвилі. В подальшому наведені вище параметри нафтових забруднень будуть детально досліджені з метою розробки відповідної бази даних для аналізу і моніторингу нафтових забруднень водних ресурсів.

Список літератури

1. Голик О.П., Жесан Р.В., Ісмаїл Мухаммед Обґрунтування автоматизації комп'ютерно-інтегрованої технології ідентифікації та моніторингу нафтових забруднень. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* 2019. Вип. 1 (32). 220-227. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1\(32\).220-227](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1(32).220-227)
2. Голик О.П., Жесан Р.В., Мірошніченко М.С., Ісмаїл Мухаммед Пошук оптимальних рішень щодо вибору методів очищення водних ресурсів від нафтових забруднень. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія Технічні науки.* 2019. Т. 30 (69). № 5. Частина I. 75-80. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/12>
3. Голик О.П., Волков І.В., Ісмаїл Мухаммед Структура моніторингу та ідентифікації нафтових забруднень. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* 2019. Вип. 2 (33). 214-221. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.2\(33\).214-221](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.2(33).214-221)
4. Калач А.В., Щербаков О.В. Математическое моделирование нефтяного загрязнения водной поверхности. *Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России».* 2013. №4. С. 88-94. URL:

- <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-neftyanogo-zagryazneniya-vodnoy-poverhnosti> (дата звернення: 06.10.2020).
5. Пластинин Андрей Евгеньевич Оценка загрязнения при разливе нефти на водную поверхность. *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. 2013. №2 (18). С. 129-135. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-zagryazneniya-pri-razlive-nefti-na-vodnuyu-poverhnost> (дата звернення: 30.09.2020).
 6. Липатов И. В., Пластинин А. Е. Оценка гидродинамических условий при ликвидации разливов нефти. *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. 2014. №5 (27). С. 127-134. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-gidrodinamicheskikh-usloviy-pri-likvidatsii-razlivov-nefti> (дата звернення: 30.09.2020).
 7. Fingas, Merv. Water Analysis|Oil Pollution. *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. 2016. DOI: 10.1016/B978-0-12-409547-2.12212-7
 8. Cekirge, Huseyin. Oil Spills: Determination of Oil Spill Volumes Observed on Water Surfaces. *The International Journal of Technology, Knowledge and Society*'. 2013. Vol. 8. 17-30. URL: https://www.researchgate.net/publication/283618030_Oil_Spills_Determination_of_Oil_Spill_Volumes_Observed_on_Water_Surfaces (дата звернення: 30.09.2020).
 9. Mba, Ifeoma & Mba, Emmanuel & Arazu, Winnie & Urama, Chinasa & Machebe, Henrietta & Eze, Chikodili. International Journal of Energy Economics and Policy Application of the Stochastic Markov Model in Predicting the Volume of Oil Spill in Nigeria: A Case of the Niger-delta Region. 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/344393365_International_Journal_of_Energy_Economics_and_Policy_Application_of_the_Stochastic_Markov_Model_in_Predicting_the_Volume_of_Oil_Spill_in_Nigeria_A_Case_of_the_Niger-delta_Region (дата звернення: 30.09.2020).
 10. Mba, Ifeoma & Mba, Emmanuel & Ogbuabor, Jonathan & Arazu, Winnie. Causes and Terrain of Oil Spillage in Niger Delta Region of Nigeria: The Analysis of Variance Approach. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2019. Vol. 9. 283-287. DOI: 10.32479/ijeep.7332.
 11. Старикова Г.В., Уженцева Е.А., Махнева А.Н. Расчет количества нефти, вылившейся при аварии из нефтепровода, экономический ущерб от аварии. Часть 1: Методические указания для выполнения курсовых и практических работ для студентов направления 280700.62 «Техносферная безопасность» по дисциплине «Промышленная экология» очной и заочной форм обучения. Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. 48 с. URL: <http://elib.tyuiu.ru/wp-content/uploads/2015/04/1207.pdf> (дата звернення: 30.09.2020).

References

1. Holyk, O.P., Zhesan, R.V. & Ismail, Mohammad. (2019). Obgruntuvannia avtomatyzatsii kompiuterno-intehrovanoi tekhnolohii identyfikatsii ta monitorynhu naftovykh sabrudnen [Rationale for the Development of Automated Computer-integrated Technology for the Identification and Monitoring of Oil Pollution], *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, 1(32)*, 220-227. DOI: 10.32515/2664-262X.2019.1(32).220-227. [in Ukraine].
2. Holyk, O.P., Zhesan, R.V., Miroshnichenko, M.S. & Ismail, Mohammad. (2019). Poshuk optymalnykh rishen shchodo vyboru metodiv ochyshchennia vodnykh resursiv vid naftovykh zabrudnen [The searching to the optimal decision for the metod selection for the water treatment from oil pollution]. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University". Series: Technical Sciences, Vol. 30 (69), 5. Part I*, 75-80. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/12> [in Ukraine].
3. Holyk, O.P., Volkov, I.V. & Ismail, Mohammad. (2019). Struktura monitorynhu ta identyfikatsii naftovykh zabrudnen [The structure of monitoring and identification by oil pollution]. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, 2(33)*, 214-221. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.2\(33\).214-221](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.2(33).214-221). [in Ukraine].
4. Kalach A.V., Shcherbakov O.V. (2013). Matematycheskoe modelyrovanye neftianoho zahriazneniya vodnoi poverkhnosti [Mathematical modeling of oil pollution of the water surface]. *Nauchno-analiticheskii zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii», 4*, 88-94. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-neftyanogo-zagryazneniya-vodnoy-poverhnosti> [in Russian].
5. Platinin Andrey Evgenevich (2013). Otsenka zagryazneniya pri razlive nefti na vodnuyu poverhnost [Assessment of contamination from oil spills on the water surface]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova, 2 (18)*, 129-135. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-zagryazneniya-pri-razlive-nefti-na-vodnuyu-poverhnost> [in Russian].
6. Lipatov, I. V. & Platinin, A. E. (2014). Otsenka gidrodinamicheskikh usloviy pri likvidatsii razlivov nefti [Assessment of hydrodynamic conditions during oil spill response]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova, 5 (27)*, 127-134. Retrieved from

- <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-gidrodinamicheskikh-usloviy-pri-likvidatsii-razlivov-nefti> [in Russian].
7. Fingas, Merv. Water Analysis|Oil Pollution. (2016). *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. DOI: 10.1016/B978-0-12-409547-2.12212-7
 8. Cekirge, Huseyin. Oil Spills: Determination of Oil Spill Volumes Observed on Water Surfaces. (2013). *The International Journal of Technology, Knowledge and Society', Vol. 8, 17-30*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/283618030_Oil_Spills_Determination_of_Oil_Spill_Volumes_Observed_on_Water_Surfaces [in English]
 9. Mba, Ifeoma & Mba, Emmanuel & Arazu, Winnie & Urama, Chinasa & Machebe, Henrietta & Eze, Chikodili. International Journal of Energy Economics and Policy Application of the Stochastic Markov Model in Predicting the Volume of Oil Spill in Nigeria: A Case of the Niger-delta Region. 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/344393365_International_Journal_of_Energy_Economics_and_Policy_Application_of_the_Stochastic_Markov_Model_in_Predicting_the_Volume_of_Oil_Spill_in_Nigeria_A_Case_of_the_Niger-delta_Region
 10. Mba, Ifeoma & Mba, Emmanuel & Ogbuabor, Jonathan & Arazu, Winnie. Causes and Terrain of Oil Spillage in Niger Delta Region of Nigeria: The Analysis of Variance Approach. 2019. *International Journal of Energy Economics and Policy*. Vol. 9. 283-287. DOI: 10.32479/ijeep.7332.
 11. Starikova, G.V., Uzhentseva, E.A. & Mahneva, A.N. (2014). Raschet kolichestva nefti, vyilivsheysya pri avarii iz nefteprovoda, ekonomicheskiy uscherb ot avarii [Calculation of the amount of oil spilled from an oil pipeline in an accident, economic damage from the accident]. *Chast1 : Metodicheskie ukazaniya dlya vyipolneniya kursovyih i prakticheskikh rabot dlya studentov napravleniya 280700.62 «Tehnosfernaya bezopasnost» po distsipline «Promyshlennaya ekologiya» ochnoy i zaochnoy form obucheniya. / G.V. Starikova, E.A. Uzhentseva, A.N. Mahneva – Tyumen: TyumGNGU*. P. 48 Retrieved from <http://elib.tyuiu.ru/wp-content/uploads/2015/04/1207.pdf> [in Russian].

Olena Holyk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Iryna Bereziuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mariya Miroshnichenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mohammad Ismail**, post-graduate
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Monitoring and Analysis of Oil Pollution of Water Resources With Using an Intelligent Decision Support System

Oil production is increasing. This increases the number of accidents. Oil spills are increasing. Since oil has special physical and chemical properties and parameters, contamination of water resources by oil and oil products causes man-made disasters. The authors made the assumption that a robot with artificial intelligence will be used to purify the water surface from oil (oil products) by biological methods. This robot will be located directly on the ship and will monitor and analyze oil pollution. In order to carry out clean-up activities at the site of the accident, it is necessary to have information on the main parameters of oil pollution. The authors of this article propose a structure for the monitoring and analysis of oil pollution in water resources. According to this structure, analysis and monitoring must be carried out by an intelligent decision support system. An intelligent decision support system includes a database of oil pollution parameters and a knowledge base.

The aim of this work is to analyze oil pollution on the water surface using an intelligent decision support system. In order to achieve this objective, the article proposes the structure of the oil pollution parameter database, which is part of an intelligent system to support decision-making on oil pollution analysis and assessment. This scheme includes the main parameters of oil pollution affecting the decision on the choice of type and quantity of treatment products for the biological treatment method. An algorithm for determining the capacity of oil spill is proposed. The main elements of the oil pollution parameters database are: type of oil products, capacity of oil spill, water flow, wave height and velocity, wind direction and speed.

In future, the analysis and monitoring scheme for oil-based water pollution will be expanded to include special technical, measuring and meteorological instruments that will allow the immediate presence of the oil (oil products) spill investigate oil contamination parameters.

oil pollutions, monitoring, parameters of oil pollution, decision-making, knowledge data base

Одержано (Received) 07.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 14.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 681.5:004.35

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).182-193](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).182-193)**Є.В. Мелешко**, доц., канд. техн. наук, **Д.С. Бакін***Центральнoукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна**e-mail: elismeleshko@gmail.com, apacherichard913@gmail.com*

Метод секторної растеризації для зображення на відеоприсрої з механічною розгорткою

Метою цієї роботи є створення методу секторальної растеризації зображень на відеоприсроях з механічною розгорткою, що можна використовувати в рекламних цілях. Підготовка зображення для показу на апараті з механічною секторною розгорткою потребує створення програмного забезпечення для передачі класичного прямокутного растру у секторний растр. Під час реалізації програмного забезпечення для вбудованої обчислювальної системи механічної розгортки зображення в рекламних цілях, було поставлено задачу відтворення растрового зображення за допомогою концентрично розташованих кіл, які поділені на сектори. Неоднозначність переходу від квадратного растру до секторного полягає в змінній площі секторів по мірі віддалення їх від центру зображення. Відповідно до цього факту, біля центральної зони на кожен з пікселів припадає декілька секторів, а до периферії зображення на один сектор припадає декілька пікселів. Підвищити роздільну здатність секторного зображення не є можливим з причини апаратних обмежень, тому було розроблено новий метод секторної растеризації для зображення на відеоприсрої з механічною розгорткою. Розроблений метод комбінує алгоритми, які дозволяють перетворити растрове зображення у секторний растр з використанням лінійної інтерполяції в залежності від відстані сектора від центру зображення. Також приділено увагу оцінці часу наступного повного оберту під час запуску механічної системи розгортки, що дозволило скоротити час отримання стабільного зображення з моменту увімкнення присрою. Отже, в результаті проведеного дослідження розроблено метод секторної растеризації зображення, а також побудовано алгоритми, які дозволяють перетворити растрове зображення у секторний растр. За розробленими алгоритмами було створено програмний продукт для вбудованої системи відтворення зображень та програмний продукт для передачі по зв'язку Wi-Fi відео в реальному часі з перетворенням прямокутного растру у секторний растр. За рахунок комбінування алгоритмів перетворення квадратного растру у секторний було підвищено якість відтворення зображення на відеоприсрої з механічною розгорткою.

растеризація зображень, секторна розгортка, механічна розгортка, відеоприсрій

Є.В. Мелешко, доц., канд. техн. наук, **Д.С. Бакін***Центральнoукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна*

Метод секторной растеризации для изображения на видеоустройстве с механической разверткой

Целью этой работы является создание метода секторальной растеризации изображений на видеоустройствах с механической разверткой, что можно использовать в рекламных целях. Подготовка изображения для показа на аппарате с механической секторной разверткой требует создания программного обеспечения для передачи классического прямоугольного растра в секторный растр. При реализации программного обеспечения для встроенной вычислительной системы механической развертки изображения в рекламных целях, была поставлена задача воспроизведения растрового изображения с помощью концентрически расположенных кругов, которые разделены на секторы. Неоднозначность перехода от квадратного растра к секторному заключается в переменной площади секторов по мере удаления их от центра изображения. Согласно этому факту, возле центральной зоны на каждый из пикселей приходится несколько секторов, а к периферии изображения на один сектор приходится несколько пикселей. Повысить разрешение секторного изображения не представляется возможным по причине аппаратных ограничений, поэтому был разработан новый метод секторной растеризации для изображения на видеоустройстве с механической разверткой. Разработанный метод комбинирует алгоритмы, которые позволяют превратить растровое изображение в секторный растр с использованием линейной интерполяции в зависимости от расстояния сектора от центра изображения. Также уделено внимание оценке времени следующего полного оборота при запуске механической

системы развертки, что позволило сократить время получения стабильного изображения с момента включения устройства. Итак, в результате проведенного исследования разработан метод секторной растеризации изображения, а также построены алгоритмы, которые позволяют превратить растровое изображение в секторный растр. По разработанным алгоритмам был создан программный продукт для встроеной системы воспроизведения изображений и программный продукт для передачи по связи Wi-Fi видео в реальном времени с преобразованием прямоугольного растра в секторный растр. За счет комбинирования алгоритмов преобразования квадратного растра в секторный было повышено качество воспроизведения изображения на видеоустройстве с механической разверткой.

растеризация изображений, секторная развертка, механическая развертка, видеоустройство

Постановка проблеми. З метою виведення зображення на незвичних положеннях, яке привертатиме увагу своєю ефектністю для рекламних цілей, почали використовувати пристрої з механічною розгорткою зображень, зокрема, світлодіодні лінійки, які при обертанні утворюють коло. Приклад такого пристрою показано на рис. 1. Подібне рішення не є складним, але з причини спеціалізованого використання і, як внаслідок, малосерійного виробництва, вимагає значного підвищення ціни в роздріб для окупності розробки самого пристрою та використаного в ньому програмного забезпечення.



Рисунок 1 – Пристрій механічної розгортки зображення “Голографічний 3D проектор вентилятор Holographic FAN SACA-224” [1]

Джерело: зображення пристрою з сайту <https://www.aliexpress.com/>

Зазначена ситуація призводить до економічної обґрунтованості розробки власного пристрою для мікросерійного виробництва. Проте потрібно враховувати, що пристрої побудовані на універсальних компонентах будуть поступатися спеціально розробленим та виготовленим механічним систем, і це звужує коло застосовності власних систем. З іншого боку, розроблена малосерійна система з універсальних компонентів вимагає розрахунків для розробки програмного забезпечення, яке надасть максимально можливу якість отриманого зображення, що і розглянуто в цій роботі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд існуючих публікацій [1, 2, 3, 4, 7, 8], показав наявність діяльності по створенню систем механічної розгортки зображень для рекламних цілей, а також для підвищення якості проведення занять у викладацькій діяльності [9]. Також задачі обробки зображення приводять до потреб в нестандартних растеризаціях зображень, що відображено в роботах [2, 6]. Проте, відмічається недостатнє приділення уваги інформаційним процесам в перетворенні зображення для відтворення його механічними системами з врахуванням можливостей сучасних обчислювальних систем. Тому потреба у підвищенні якості відтвореного зображення при використанні вже наявних пристроїв механічної розгортки встає в суперечність до можливостей наявних в існуючих джерелах математичних та інформаційних методів. Наявні методи підготовки зображення до механічної розгортки потребують вдосконалення та доповнення.

Постановка завдання. Таким чином, метою цієї роботи є створення методу секторальної растеризації зображень на відеопристроях з механічною розгорткою, що можна використовувати в рекламних цілях.

Виклад основного матеріалу. Для створення програмного забезпечення системи механічної розгортки зображення необхідно реалізувати побудову секторного растру та синхронізацію розгортки секторного зображення.

Побудова секторного растру. В результаті роботи інженерів схемотехніків та механіків, для програмування було надано пристрій на базі мікроконтролера ESP-WROOM-32 з 64-ма RGB світлодіодами (рис. 2) для механічної розгортки зображення:



Рисунок 2 – Пристрій механічної розгортки зображення

Джерело: розроблено автором

Частота обертання лінійки світлодіодів складає 10-20 обертів за секунду. Для подачі напруги на $64 \times 3 = 192$ компонента світлодіодів використано 8 каналів регістрів зсуву з граничною частотою роботи більше 50МГц. Завдяки тому, що мікроконтролер має тактову частоту 240МГц, він здатен задіяти регістри зсуву на повну швидкодію. Однак, використання регістрів зсуву регламентовано протоколом, коли на передачу одного біту потрібно витримати 4-5 етапів, що знижує ефективну стабільну частоту подачі до гарантованих 10МГц. Для заповнення лінійки по 8-ми каналам потрібно подати паралельно 24 біти інформації. Під час заповнення, всі світлодіоди відключені від живлення. Після повної передачі, живлення відновлюється і світлодіодна лінійка починає світитися заданою кольоровою комбінацією. Відповідно, під час відновлення кольорової комбінації спостерігач бачитиме темний сектор, а при подачі живлення – кольорові сектори.

Врахувавши швидкодію електронних компонентів маємо граничну частоту заповнення лінійки світлодіодів інформацією: $10\text{МГц} / (24 \text{ біти} \times 4 \text{ етапи}) \approx 10^5 \text{Гц}$. Але при цьому не залишається часу на індикацію світлодіодами отриманої інформації. Тому, якщо прийняти, що час світіння є в 9 разів довший, матимемо, що за 1 секунду лінійка світлодіодів має оновлюватися 10^4 разів. Якщо згадати, що частота обертання складає 20 обертів за секунду, то на один оберт маємо $10000/20 = 500$ секторів. На практиці частота обертання не сягає 20Гц, тому реальною оцінкою є можливість забезпечити 512 секторів зображення на повний оберт.

З врахуванням того, що зображення будується за допомогою 64-х світлодіодів, маємо секторний растр з 64-ма концентричними колами по 512 секторів – растр містить $64 \times 512 = 32\text{Кбіт}$ інформації на кожен колірний канал. Повне зображення кадру містить 12Кб інформації. Приклад подібного растру на фоні піксельного растру показано на рис. 3. Рисунок розроблено на основі прикладу з [1, с. 90].

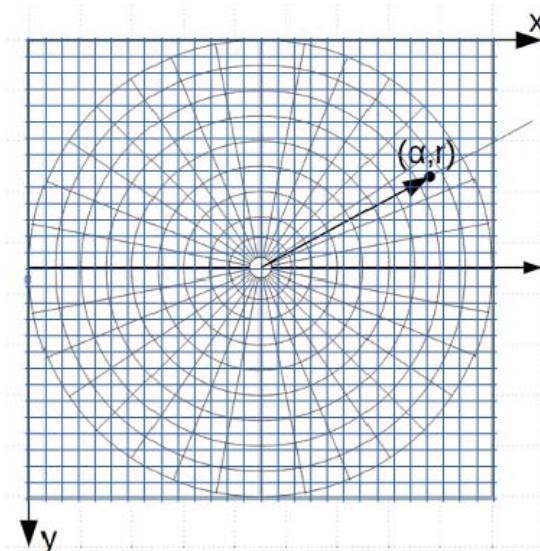


Рисунок 3 – Секторний растр на фоні квадратного растру

Джерело: розроблено автором

За документацією, мікроконтролер має 520Кб статичної оперативної пам'яті для даних, що гарантує розміщення до 20 кадрів зображення з врахуванням потреб на роботу програмного коду. Також є можливим порційне завантаження даних із зовнішніх носіїв інформації, що дозволить показувати значно більшу кількість зображень, або виводити анімаційне зображення.

Однак, для підготовки зображення для показу на апараті з механічною секторною розгорткою потрібно створити програмне забезпечення для передачі класичного прямокутного растру у секторний растр.

Для визначення координати на секторному растрі (рис. 3) потрібно знати відстань цього пікселя від центру r , та номер сектору n . При цьому кількість концентричних зон позначимо як радіус секторного растру R , та кількість секторів позначимо як N . Тепер кут до сектора можна визначити наступним чином (1):

$$\alpha = 2\pi n / N . \quad (1)$$

Після отримання кута повороту α та відстані від центру r , можна визначити Декартові координати (2) [1 с. 91; 2 с. 11]:

$$\begin{cases} x = x_c + r \cos(\alpha) \\ y = y_c + r \sin(\alpha) \end{cases}, \quad (2)$$

де $(x_c; y_c)$ – центральна точка квадратного растру.

Отримана система дає можливість співставити сектору конкретний піксель з квадратного растру. Однак, проблема полягає в тому, що переважна більшість фотографічних зображень представлені у квадратному растрі, а векторні малюнки проходять растеризацію у квадратний растр – потрібно мати операцію знаходження сектору за координатами квадратного пікселя. Ця задача обернена до задачі (2) і є більш складною.

Нехай маємо центр квадратного растру $(x_c; y_c)$ та задані координати пікселю $(x; y)$. Тоді вектор до заданого положення буде: $\{x-x_c; y-y_c\}$. Якщо відомий вектор, то за оберненими тригонометричними функціями можна визначити кут напряму вказаного вектору. Але проблемою тут є визначення чверті, до якої відноситься цей кут. Однак, завдяки частому використанню електронних обчислювальних систем для роботи з

векторами, математичні бібліотеки мають функцію $\text{atan2}(a, b)$. Ця функція містить перевірки на знаки, і повертає значення кута повороту за компонентами вектору в межах $[0; 2\pi)$. Отриманий кут вже можна використати для визначення номеру сектора. Остаточню матимемо наступні формули перетворення (3) [1, с. 92]:

$$\begin{aligned} \alpha &= \text{atan2}(x_c - x, y_c - y), \\ r &= \left[\sqrt{(x_c - x)^2 + (y_c - y)^2} \right], \\ n &= \left[N\alpha / (2\pi) \right], \end{aligned} \quad (3)$$

де квадратними дужками позначено виділення цілої частини числа.

В результаті за отриманими формулами (2) та (3) можна запропонувати наступні алгоритми перетворення растрового зображення у секторне, які представлені на рис. 4 у вигляді блок-схем.

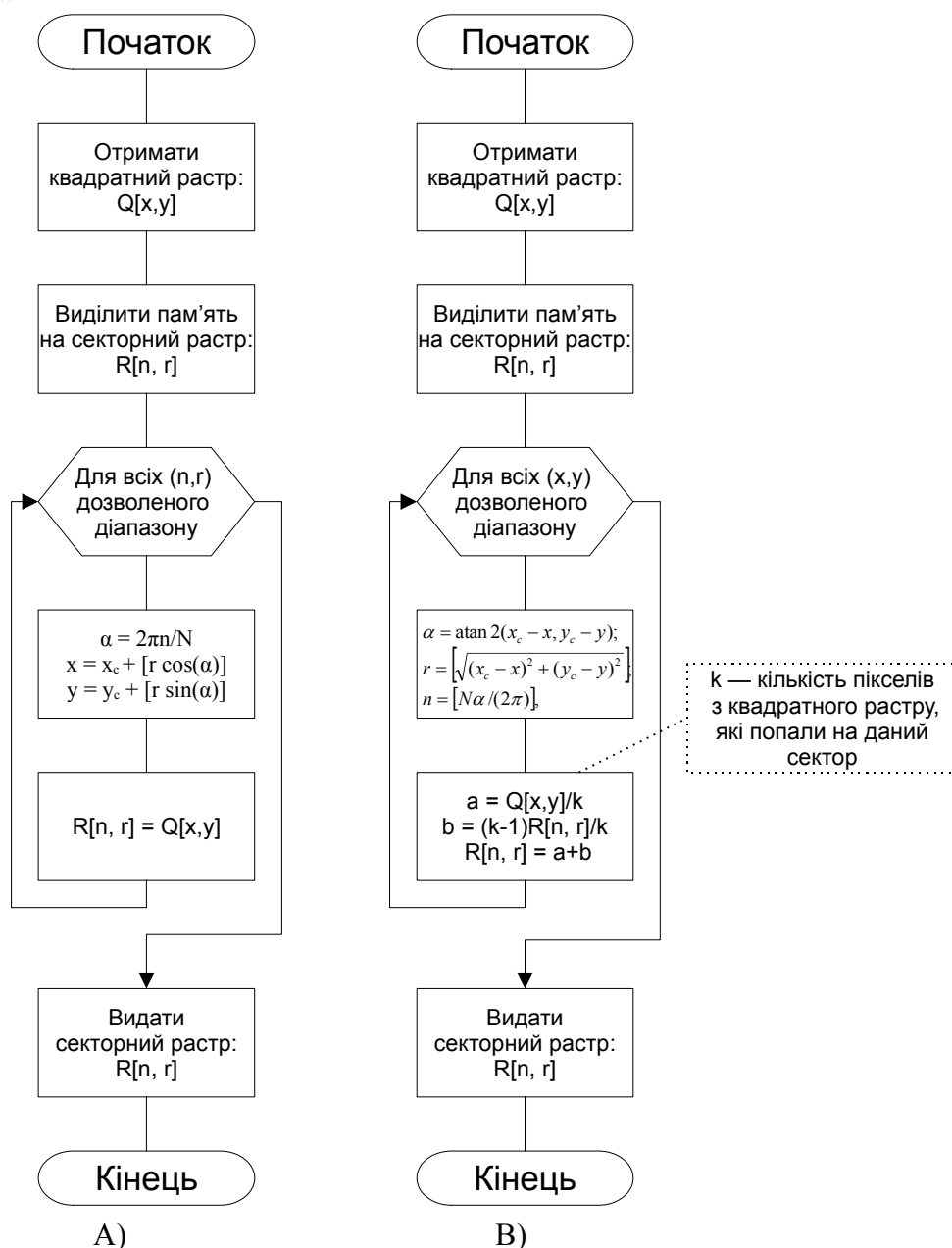
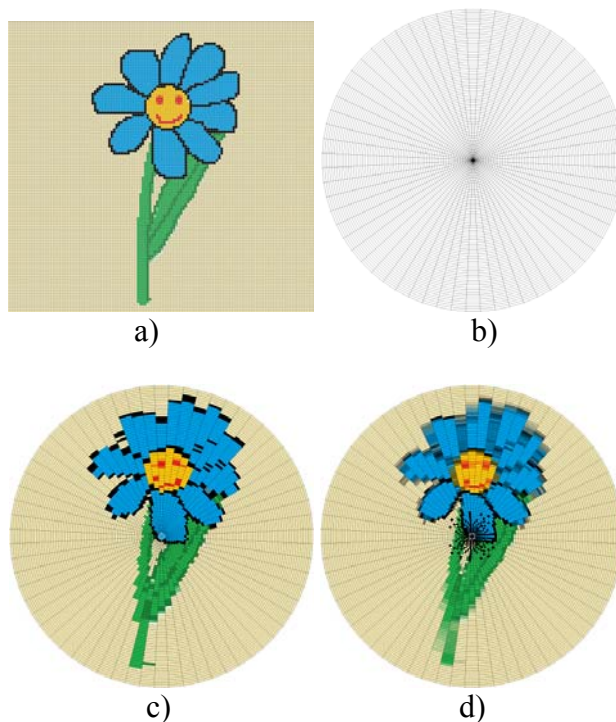


Рисунок 4 – Алгоритми А та В перетворення прямокутного растру у секторний растр
Джерело: розроблено автором

Алгоритми з рис. 4А та рис. 4В розрізняються напрямком відношення координат – для секторного растру рахується відповідний квадратний піксель, та навпаки – для квадратного пікселя рахується відповідний сектор. Щоб підкреслити різницю в результатах роботи алгоритмів, потрібно відмітити, що розмір секторів, які більш близькі до центру зображення є значно меншим, ніж віддалених секторів до краю зображення. З цієї причини біля центральної області зображення припадає декілька секторів на піксель, а з краю – на один сектор приходиться декілька пікселів.

При використанні алгоритму **A** з рис. 4А для відповідного сектору шукається єдиний піксель. В той же час, для периферійних секторів на сектор припадає більше одного пікселя, тому секторне зображення сильно спотворить або просто пропустить мілкі деталі. З позиції інтерполювання, всі пікселі, які припадають на сектор, потрібно усереднювати. Тоді мілкі деталі теж будуть впливати на формоване зображення, що значно покращить його видиму якість. Саме таким чином працює алгоритм **B**, який показано на рис. 4В.

Алгоритм **B**, який показано на рис. 4В враховує, що на сектор може припасти декілька пікселів, проте він не має можливості заповнити секторний растр біля центру – для пікселя буде розраховано координати найближчого сектору, але у випадках накладання на цей піксель декількох секторів, зафарбовано буде лише один з них. В наслідок цього на рис. 5d по центральній області частина секторів залишилася не зафарбованою і матиме чорний колір.



a) вхідне зображення 128x128; b) використаний секторний растр 64x64;

с) результат роботи алгоритму **A**; d) результат роботи алгоритму **B**.

Рисунок 5 – Приклад роботи алгоритмів секторної rasterизації для зображення на відеопристрій з механічною розгорткою

Джерело: розроблено автором

Прийнято рішення комбінувати алгоритми в залежності від значення параметру r та початковому розмірі квадратного растру. Тому постає нова задача пошуку оптимального значення r .

З ілюстрації переходу від квадратного растру до секторного за алгоритмами **A** та

В, видно, що суттєві зміни в якості відтворення зображення на секторному растрі відбуваються в момент переходу до секторів, які за розміром перевищують розмір квадратного пікселя. Якщо прийняти площу пікселя квадратного растру як одиничну, то оцінити площу одного сектора можна як показано на рис. 6.

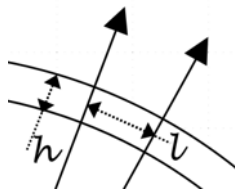


Рисунок 6 – Оцінювання площі сектора

Джерело: розроблено автором

Якщо врахувати, що площа сектора $S \approx l \cdot h$, де $h=1$, $l=r \cdot 2\pi / N$, і $S \approx r \cdot 2\pi / N$, тоді граничне значення шукається за наступним співвідношенням (4):

$$r_g \approx \frac{N}{2\pi}. \tag{4}$$

Визначення граничного радіусу (4) дає змогу вдосконалити алгоритм перетворення квадратного растру в секторний, який зображено на блок-схемі (рис. 7).

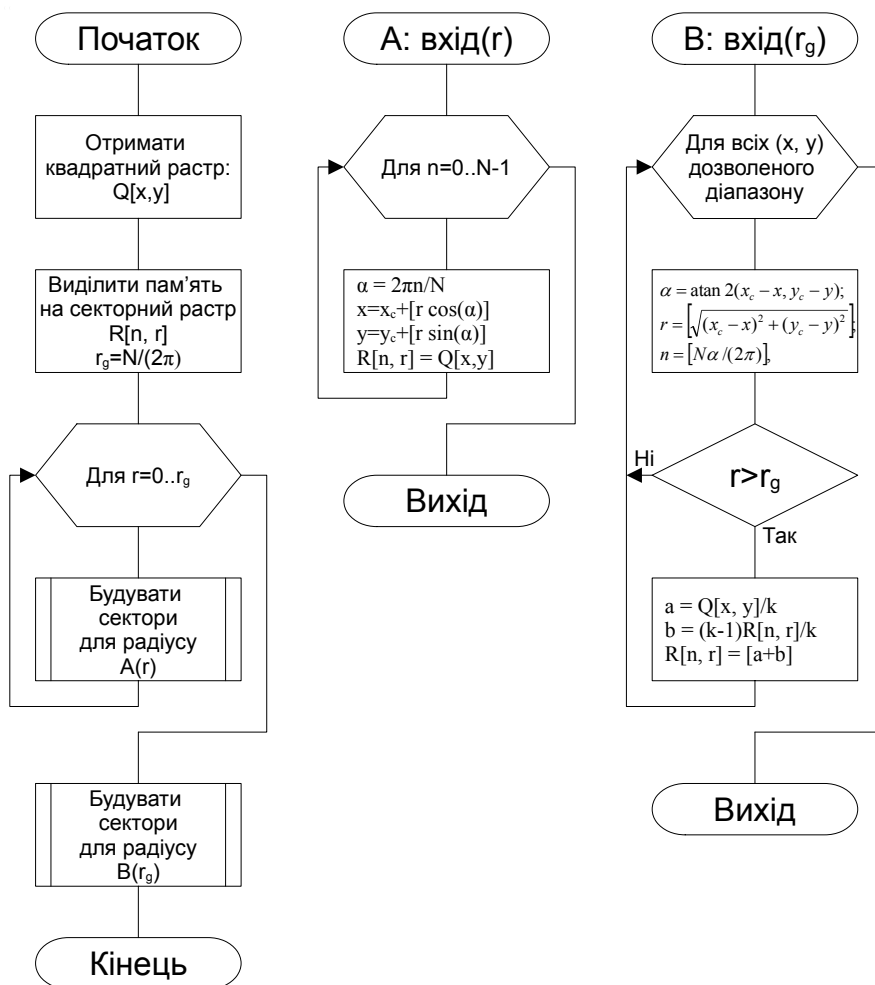


Рисунок 7 – Вдосконалений алгоритм переходу від квадратного растру до секторного

Джерело: розроблено автором

Отриманий алгоритм переходу від квадратного растру до секторного позбавлений недоліків попередньо наведених рішень, тому його використання дає змогу отримати більш якісне зображення.

Синхронізація розгортки секторного зображення

При використанні пристроїв з механічною розгорткою зображення використовуються двигуни з керованою частотою та фазою обертання [5]. Однак такі рішення значно ускладнюють керування системою механічної розгортки зображення та підвищують вартість її виготовлення, проте доступна інформація про поточне положення двигуна значно спрощує алгоритми розрахунку моментів формування зрізів розгортки. В розглянутій системі розгортки відсутня можливість визначити поточне положення двигуна, проводиться лише зняття синхроімпульсу який позначає початок розгортки кадру.

Позначимо послідовність моментів часу подачі синхроімпульсів як послідовність $T = \{t_0, t_1, t_2, \dots, t_n\}$. Під час вмикання пристрою, коли двигун не вийшов в робочий режим, $t_{i+1} - t_i \neq \text{const}$. Це призводить до неповної розгортки, спотворення та коливання утвореного зображення (рис. 8а). Цей недолік притаманний розглянутим пристроям, зокрема, зображеному на рис. 1.

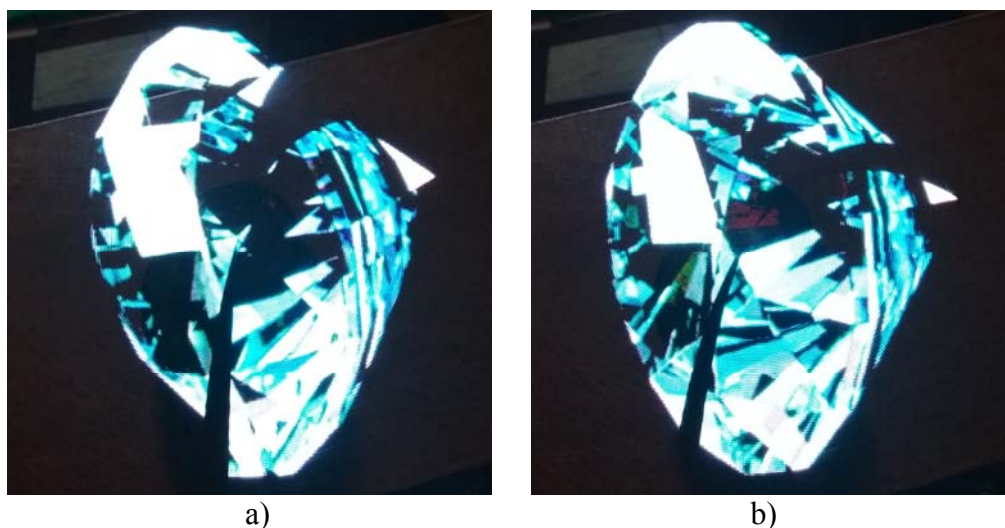


Рисунок 8 – Демонстрація порушення розгортки в результаті нерівномірного обертання осі двигуна; а) – час оберту нерівномірний; б) – використано корекцію часу здійснення оберту
Джерело: розроблено автором

Для запобігання вказаному порушенню розгортки зображення, потрібно врахувати електромеханічні властивості системи розгортки зображення для більш точного передбачення часу повного оберту. В наведеному випадку можна використати спрощену модель обертання механічної частини пристрою. Введемо наступні позначення:

E – електрорушійна сила, яка виникає в наслідок електродинамічного ефекту при обертанні ротору двигуна постійного струму.

U – прикладена до двигуна напруга.

ε – кутове прискорення ротору двигуна разом з системою розгортки зображення.

ω – кутова швидкість ротору двигуна разом з системою розгортки зображення.

I – момент інерції ротору двигуна разом з системою розгортки зображення.

M – момент сили на роторі двигуна разом з системою розгортки зображення.

За спрощеною моделлю двигуна постійного струму момент сили на валу можна визначити за наступною формулою: $M = k_1(U - E)$, де k_1 є характеристикою конкретного двигуна. При цьому електрорушійна сила є пропорційною кутовій швидкості обертання

ротору двигуна: $E = \omega k_0$. Якщо врахувати що $M = I \varepsilon$, а $\omega' = \varepsilon$, отримаємо наступне рівняння закону обертання механізму розгортки зображення:

$$I \omega' = k_1(U - E).$$

Звідки маємо остаточне рівняння (5):

$$I \omega'(t) + k_0 k_1 \omega(t) = k_1 U + M_n(t). \quad (5)$$

Тут $M_n(t)$ є позначенням зовнішніх завад (наприклад тертя), якими, як показав експеримент, можна знехтувати. При початковій умові $\omega(0) = \omega_0$, загальним розв'язком рівняння (5) є:

$$\omega(t) = \frac{U}{k_0} - \left(\frac{U}{k_0} - \omega_0 \right) e^{-\frac{k_0 k_1}{I} t}. \quad (6)$$

Для виразу (6) всі коефіцієнти, крім ω_0 , є технологічними особливостями виробленого пристрою і з часом мало змінюються. Тому тут і далі прийнято, що U/k_0 та $k_0 k_1 / I$ відомі і визначені під час зроблених експериментів. Визначення вказаних величин для пристрою, який показано на рис. 2, було проведено за допомогою частотоміру: U/k_0 – максимально досягнута частота обертання; $k_0 k_1 / I$ – розраховано з часу $t_{1/2}$ до досягнення швидкості обертання, яка вдвічі менша за номінальну при $\omega_0 = 0$ за формулою $k_0 k_1 / I = \ln(2) / t_{1/2}$.

Однак отримана форма закону руху не може бути використана напряму, бо розглянуті системи механічної розгортки зображення мають лише датчик початку розгортки та таймер мікроконтролеру. В результаті програма керування має в якості доступної інформації, як зазначено перед цим, лише послідовні виміри часу $T = \{t_0, t_1, t_2, \dots, t_n\}$ з невідомими швидкостями обертання. Тому по факту моменти часу дають наступну інформацію для кута положення валу двигуна $\varphi(t_i) = \varphi_0 + 2\pi i$, де $i = 0, 1, \dots, n$. В задачу синхронізації виведення секторів зображення входить передбачення значення t_{n+1} , де більш корисним є значення проміжку часу утворення системою розгортки повного кола: $\Delta t_n = t_{n+1} - t_n$. Тоді для послідовної трійки виміряних проміжків часу початковий час можна вважати нульовим, але з невідомою початковою швидкістю ω_0 .

Для спрощення подальших записів введемо позначення: $U/k_0 = \omega_m$, $k_0 k_1 / I = \alpha$. Тоді (6) прийме наступний вигляд:

$$\omega(t) = \omega_m - (\omega_m - \omega_0) e^{-\alpha t}. \quad (7)$$

Кут повороту при врахуванні початкової умови $\varphi(0) = \varphi_0$, за допомогою інтегрування по часу (7), матиме наступний вигляд:

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \omega_m t - \frac{\omega_m - \omega_0}{\alpha} (e^{-\alpha t} - 1), \quad (8)$$

де невідомими величинами є лише значення φ_0 та ω_0 .

Нехай датчик положення ротору спрацював в моменти часу t_0 та t_1 . Як показано вище, це означає, що $\varphi(t_1) - \varphi(t_0) = 2\pi$. З рівняння (8) маємо наступну систему:

$$\begin{cases} \varphi(t_0) = \varphi_0 + \omega_m t_0 - \frac{\omega_m - \omega_0}{\alpha} (e^{-\alpha t_0} - 1), \\ \varphi(t_0) + 2\pi = \varphi_0 + \omega_m t_1 - \frac{\omega_m - \omega_0}{\alpha} (e^{-\alpha t_1} - 1). \end{cases}$$

Віднімання від нижнього рівняння верхнього з системи дозволяє отримати наступний вираз:

$$2\pi = \omega_m \Delta t_1 - \frac{\omega_m - \omega_0}{\alpha} e^{-\alpha_0} (e^{-\alpha \Delta t_1} - 1),$$

$$\frac{\omega_m - \omega_0}{\alpha} e^{-\alpha_0} = \frac{\omega_m \Delta t_1 - 2\pi}{e^{-\alpha \Delta t_1} - 1}. \quad (9)$$

Аналогічні дії для моментів часу t_1 та t_2 дають вираз (10):

$$2\pi = \omega_m \Delta t_2 - \left[\frac{\omega_m - \omega_0}{\alpha} e^{-\alpha_0} \right] e^{-\alpha \Delta t_1} (e^{-\alpha \Delta t_2} - 1), \quad (10)$$

де частина позначена квадратними дужками визначається з відомих величин за допомогою виразу (9). Утворене рівняння (10) відносно шуканої величини Δt_2 , є нелінійним і не має аналітичних розв'язків. Тому для застосування чисельного ітераційного методу $x_{i+1} = f(x_i)$ потрібно виразити шукану величину Δt_2 наступним чином:

$$\Delta t_2 = \frac{2\pi}{\omega_m} + \frac{\Delta t_1 - 2\pi / \omega_m}{e^{-\alpha \Delta t_1} - 1} e^{-\alpha \Delta t_1} (e^{-\alpha \Delta t_2} - 1). \quad (11)$$

Гарантією стійкості ітераційного процесу є обмеження похідної по Δt_2 правої частини рівняння (11) в межах $[-1; 1]$, оцінку якої можна отримати з виразу (12):

$$\left| \alpha \frac{\Delta t_1 - 2\pi / \omega_m}{e^{-\alpha \Delta t_1} - 1} e^{-\alpha \Delta t_1} \right| < 1. \quad (12)$$

Узгодженість критерію стійкості ітераційного пошуку значення Δt_2 проведено графічно (рис. 9), шляхом побудови графіків для пристрою зображеного на рис. 2 з врахуванням стабілізації обертання на значенні десяти обертів на секунду з виходом на п'ять обертів на секунду за дванадцять секунд.

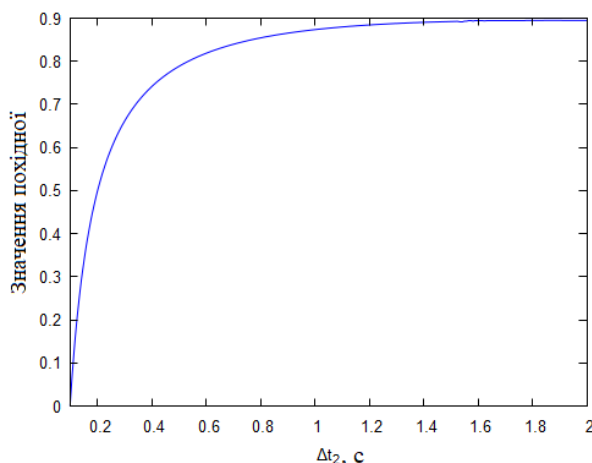


Рисунок 9 – Графічна оцінка критерію стійкості ітераційного процесу пошуку часу здійснення наступного оберту механізмом розгортки секторного зображення

Джерело: розроблено автором

Експеримент показав, що знаходження Δt_2 з початкового наближення рівним Δt_1 на практиці не перевищувало десяти ітерацій при вимозі до точності результату в трьох

значущих цифрах. В стаціонарному режимі похідна виразу (12) є майже рівна нулю, тому одна ітерація дає підтвердження того, що наступний проміжок часу малювання повного кадру буде рівним попередньому.

Висновки. В результаті проведеного дослідження розроблено метод секторної растеризації для зображення на відеопристрої з механічною розгорткою. Також було побудовано алгоритми, які дозволяють перетворити растрове зображення у секторний растр. За технічними характеристиками наявного пристрою механічної розгортки було оцінено можливості по відтворенню зображення на секторному растрі. За розробленими алгоритмами було створено програмний продукт для вбудованої системи відтворення зображення та програмний продукт для передачі по зв'язку Wi-Fi відео в реальному часі з перетворенням прямокутного растру у секторний растр. За рахунок комбінування алгоритмів перетворення квадратного растру у секторний було підвищено якість відтворення зображення на відеопристрої з механічною розгорткою.

Проведено оцінку часу наступного повного оберту під час запуску механічної системи розгортки. Це дозволило значно скоротити час отримання стабільного зображення з моменту увімкнення пристрою.

Список літератури

1. Лейтес Л.С. Очерки истории отечественного телевидения. Москва: ФГУП «ГТЦ «Останкино», 2017. 224 с.
2. Елементи векторної комп'ютерної графіки: метод. вказівки до виконання лаб. робіт для студ. денної та заочної форми навч. за спец. 123 "Комп'ютерна інженерія", 125 "Кібербезпека" / уклад. Дреєва Г.М., Дреєв О.М., Хох В.Д., Денисенко О.О. Кропивницький: ЦНТУ. 2018. 66 с. URL: http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/8851/1/Elem_vekt_komp_hraf.pdf
3. Тупикін Д.А., Киселева С.В., Агибалов И. Оптоэлектронное устройство визуализации с механической разверткой // Информационные системы и технологии. 2014. №4(84). С. 135-139. URL: http://library.oreluniver.ru/polnotekst/IzvestiyaOrelGTU/ISiT_2014_4.pdf#page=135
4. Самарин А. Лазерный микропроектор со спиральной развёрткой. *Компоненты и Технологии*. 2008. №87. С. 101-104. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lazernyy-mikroprojektor-so-spiralnoy-razvertkoy>
5. Васьковський Ю.М., Гайденко Ю.А., Коваленко М.А. Математичне моделювання електричних машин з постійними магнітами // Електронні текстові дані (1 файл: 18,63 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 200 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/32791>
6. Дреєв О.М., Слюсар О.В. Дослідження впливу шляху розгортки на ступінь ентропійного стиснення цифрового зображення. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту*. 2008. Вип. 21. С. 115-118. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/1395/1/21.pdf>
7. Fan blade sign display device. Patent US20030049124A1. URL: <https://patents.google.com/patent/US20030049124A1/en>
8. Rendering an image pixel in a composite display. Patent US8319703B2. URL: <https://patents.google.com/patent/US8319703B2/en>
9. Mauricio Xavier Prado Ortega, Jorge Cristopher Delgado Ramírez, Jorge Washington Valarezo Castro, Jorge Luis Armijos Carrión, Asisclo Alfonso Ávila Carvajal & Anyeline Natalia González Segarra "Application of the technical - pedagogical resource 3D holographic LED-fan display in the classroom" *Smart Learning Environments* volume 7, Article number: 32 (2020). URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40561-020-00136-5>

Referencis

1. Lejtes, L.S. (2017). Essays on the history of fatherland television. *Moscow: Ostankino*. 224 p. [in Russian].
2. Drieieva, H.M., Drieiev, O.M., Khokh, V.D. & Denysenko, O.O. (2018). Elements of vector computer graphics: methodical instructions for laboratory work for full-time and part-time students majoring in 123 "Computer Engineering", 125 "Cybersecurity". *Kropyvnytskyi: CNTU*. 66 p. Retrieve from http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/8851/1/Elem_vekt_komp_hraf.pdf [in Ukrainian].
3. Tupikin, D.A., Kiseleva, S.V. & Agibalov, I. (2014). Optoelectronic visualization device with mechanical scanning. *Information systems and technologies, №4(84)*, P. 135-139. Retrieve from http://library.oreluniver.ru/polnotekst/IzvestiyaOrelGTU/ISiT_2014_4.pdf#page=135 [in Russian].

4. Samarin. A. (2008). Laser microprojector with spiral scanning. *Components and Technologies*, №87, P. 101-104. Retrieve from <https://cyberleninka.ru/article/n/lazernyy-mikroproektor-so-spiralnoy-razvertkoy> [in Russian].
5. Vaskovskiy, Yu.M., Haidenko, Yu.A. & Kovalenko, M.A. (2017). Mathematical modeling of electric machines with permanent magnets. *Electronic text data (1 file: 18.63 MB)*. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. 200 p. Retrieve from <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/32791> [in Ukrainian].
6. Drieiev, O.M. & Sliusar, O.V. (2008). Investigation of the influence of the scanning path on the degree of entropy compression of a digital image. *Machinery in agricultural production, industry machine building, automation*, Volume 21, P. 115-118. Retrieve from <http://dSPACE.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/1395/1/21.pdf> [in Ukrainian].
7. Fan blade sign display device. *Patent US20030049124A1*. Retrieve from <https://patents.google.com/patent/US20030049124A1/en> [in English].
8. Rendering an image pixel in a composite display. *Patent US8319703B2*. Retrieve from <https://patents.google.com/patent/US8319703B2/en> [in English].
9. Prado Ortega M.X., Delgado Ramírez J.C., Valarezo Castro J.W., Armijos Carrión J.L., Ávila Carvajal A.A., González Segarra A.N. (2020). Application of the technical – pedagogical resource 3D holographic LED-fan display in the classroom. *Smart Learning Environments*, Volume 7, Number 32, 13 p. Retrieve from <https://link.springer.com/article/10.1186/s40561-020-00136-5> [in English].

Yelizaveta Meleshko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Bakin**
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Sector Rasterization Method for Images on a Video Device With Mechanical Scanning

The goal of this work was to create a method for sectoral rasterization for images on video devices with mechanical scanning that can be used for advertising purposes.

Preparing an image for display on a machine with a mechanical sector scan requires the creation of software for transferring a classic rectangular raster to a sector raster. When implementing software for an embedded computing system of mechanical image scanning for advertising purposes, the task was to reproduce a raster image using concentrically located circles, which are divided into sectors. The ambiguity of the transition from a square to a sectorial raster lies in the variable area of the sectors as they move away from the center of the image. According to this fact, there are several sectors for each of the pixels near the central zone of the image, and several pixels for one sector to the periphery of the image. There is not possible to increase the resolution of a sector image due to hardware limitations, so a new method of sector rasterization for an image on a mechanically scanned video device was developed. The developed method combines algorithms that make it possible to transform a raster image into a sectorial raster using linear interpolation depending on the distance of the sector from the center of the image. Attention was also paid to assessing the time of the next complete revolution when starting the mechanical scanning system, which made it possible to reduce the time for obtaining a stable image from the moment the device was turned on.

So, as the result of the research, the method of sectorial image rasterization was developed, as well as the algorithms that allow converting a raster image into a sectorial image were developed. Based on the developed algorithms, the software product for an embedded image reproduction system and the software product for real-time video transmission over Wi-Fi communication with the conversion of a rectangular raster into a sector raster were created. By combining algorithms for converting a square raster to a sector one, the quality of image reproduction on a mechanically scanned video device was improved.

image rasterization, sectoral scanning, mechanical scanning, video device, microcontroller programming

Одержано (Received) 14.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 17.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 624. 15

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).194-200](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).194-200)**Iryna Karpiuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, Ukraine**e-mail: irina.carpyuk@gmail.com***Vasyl Karpiuk**, Prof., DSc.*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, Ukraine**e-mail: v.karpiuk@ukr.net***Surface Subsidence Ground During Tunnel Construction**

The cross-sectional area of the tunnel, fortified with a rim, is always smaller than the excavation area in the ground. Exact methods are still very arbitrary and need to be improved. The article presents the results of calculating the internal force factors of a monolithic reinforced concrete frame of a vaulted tunnel. The data obtained in the calculation of the PC "PLAXIS-8".

vaulted tunnel, frame, general and additional precipitation of the earth's surface, mathematical models**И.А. Карпюк**, доц., канд. техн. наук*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г.Одесса, Украина***В.М. Карпюк**, проф., д-р техн. наук*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г.Одесса, Украина***Осадка поверхности земли в процессе строительства тоннелей**

Площадь поперечного сечения тоннеля, подкрепленного оправой, всегда меньше площади выемки в почве. Точные методы носят пока весьма условный характер и нуждаются в совершенствовании. В статье приведены результаты расчета внутренних силовых факторов монолитной железобетонной оправы сводчатого тоннеля. Данные получены при расчете ПК «PLAXIS-8».

сводчатый туннель, каркас, общие и дополнительные осадки земной поверхности, математические модели

Statement of the problem. When constructing an underground structure - a tunnel of deep location in the soils of medium strength, excavation of the soil is carried out by a throughput combine and the device, thereafter, the rim of the tunnel. experience shows that the cross-sectional area of the tunnel supported by the rim is always less than the area of the excavation in the ground. Although measures are being taken by the builders to fill these gaps, it is still impossible to avoid the redistribution of stresses and deformations of the soil during its construction. In order to avoid negative consequences, damage to existing buildings and foundations on the surface of the earth, it is necessary, on the one hand, to determine the natural, additional and general precipitation of its individual points, to predict these effects and to determine the internal forces in the tunnel frames, and on the other hand, to take the appropriate effective measures [1]. Such an analysis can be performed both analytically and numerically, including using the PLAXIS-8 software package [2 - 4]. Exact methods are rather conditional in nature and need to be refined.

Statement of the objective. Numerical experiments to study the interaction of soil foundations of pile foundations and the foundation slab of a building with vaulted rims of tunnels (Fig. 1) were performed using the mathematical theory of experiment planning. It makes it possible to theoretically justify the minimum required number and composition of numerical experiments to obtain sufficiently complete information on the qualitative and quantitative influence of the research factors on the output parameters, both in particular and in their interaction.

The main material. Based on the analysis of available a priori information from literary sources [5] and taking into account the actual soil layers of the base of the southern region of Ukraine [6, 7], the following factors were selected as research (Table 1): nominal flow of the tunnel rim (X_1), groundwater level (origin of coordinates (Fig. 1) from the soil surface along the Y axis, factor X_2), the type of soil conditions typical for the southern region of Ukraine is layered (X_3), which integrally takes into account the influence of the soil specific gravity (γ_{unsat} або γ_{sat}), the coefficients of horizontal (k_x) and vertical (k_y) filtration (permeability), Young's modulus (deformations, E_{ref}), Poisson's coefficient (ν), coupling (c_{ref}), internal friction angle (φ) and dilatancy ψ of the soil, as well as its elastic resistance coefficient (K) by the formula:

$$T_{\text{red},j} = \sum_{i=1}^n (\gamma_{\text{sat},i} k_{x,i} k_{y,i} E_{\text{ref},i} \nu_i c_{\text{ref},i} \varphi_i \psi_i K_i) h_i / \sum_{i=1}^n h_i, \quad (1)$$

where $\gamma_{\text{sat},i}$ - is the specific gravity of the water-saturated i-th layer of soil, varies within 18,0 ... 21,5 kN / m³;

$k_{y,i}$ - coefficient of horizontal permeability (filtration) of the i-th layer of soil, varies in the range from 0.01 to 1.60 m per day.;

$E_{\text{ref},i}$ - Young's modulus (deformation) of the i-th layer of soil, varies in the range from 1000 to 5000 kN / m²;

ν_i - is the Poisson's coefficient of the i-th layer of soil, varies within 0.26 ... 0.38;

$c_{\text{ref},i}$ - adhesion of the i-th layer of soil, varies in the range from 0.2 to 1400 kN / m²;

The soil massif characteristic of the southern region of Ukraine indicates the presence of four different layers. The top layer with a capacity of 13m consists of loess loam.

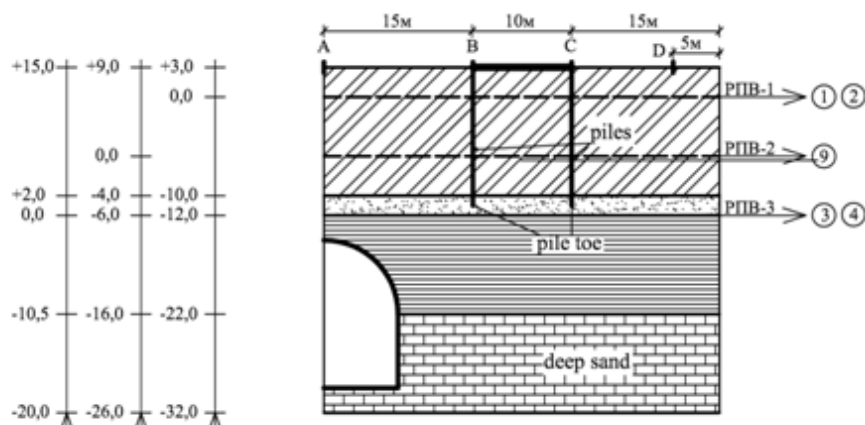


Figure 1 – Geometry of the cryptic part of the tunnel with a nominal span of 15 m, found by the Earth and the waters of the underground for the Odessa region in a numerical experiment

Source: obtained by authors

Below it lies a layer of fine-grained sand with a capacity of 2.0 m, in which, piles of an old building - a monument of architecture and town-planning are buried. The displacement and precipitation of these piles can cause damage to the monument building, which is highly undesirable. Below the sand layer is a layer of red-brown loams and clays with a capacity of 5.0, respectively; 7.5 and 10.0 m. This is one of the layers in which the tunnel is constructed. The other part of the tunnel is located in the limestone-shell layer of the Pontic tier with the inclusions of recrystallized limestone shell in the roof.

This lower depth layer is rigid enough. Therefore, only 5 m of this layer is included in the finite element model. And the lower part of the base of the tunnel is regarded as absolutely rigid and is modeled by the corresponding boundary conditions.

Distribution of pore water pressure. is assumed to be hydrostatic. The groundwater level can be located 3.9 and 15 m below the surface of the earth (at the notation zero: $y=0$).

Since the tunnel rim and soil layers are more or less symmetrical with respect to the vertical axis of the tunnel, in this model of flat deformation we consider only one (right) half of the rim and soil of the base. From the center of the tunnel, the model extends 30, 35 and 40 m horizontally.

Table 1 – Experimental factors and levels of their change

Factors		Equal changes			Change interval
Natural look	The coded view	«-1»	«0»	«+1»	
Flying the tunnel, L , м	X_1	5	10	15	5м
Groundwater level (the origin of coordinates from the daily surface of the soil), $T_{op,i}$, м	X_2	+15 ($T_{op,1}$; РІВ-3)	+9 ($T_{op,2}$; РІВ-2)	+3 ($T_{op,3}$; РІВ-1)	6м
The type of soil conditions is given, $T_{red,j}$, [кН ⁴ град ² /(М ⁷ добу ²)]	X_3	226000 ($T_{red,1}$)	435000 ($T_{red,2}$)	644000 ($T_{red,3}$)	209000 кН ⁴ град ² / (М ⁷ добу ²)

Source: obtained by authors

Analysis of mathematical models of extreme bending moments, transverse and longitudinal forces in the rims of vaulted tunnels in order to minimize them

According to the adopted plan, the PLAXIS-8 software package implemented a numerical experiment in 15 basic experiments (points) and one additional, 16th, with a 4-fold increased load from the building located on the surface with the replacement of wooden piles in it with reinforced concrete without changes in their step.

As a result of processing the data obtained in a numerical experiment, extracting insignificant and recalculating those coefficients that remained with the help of the effective COMPREX computer program developed under the guidance of prof. Voznesensky V.A., obtained adequate mathematical models of initial, general and additional sediment (shifts) of the earth's surface above a mine working (2, 6), under the building - an architectural monument (3, 4, 7, 8) and at a distance of 10 m from it. In particular, the general subsidence of the earth's surface at these points can be characterized using the following expressions:

$$\hat{Y}(\Delta y_A) = 101 + 36X_1 + 10X_2 - 5X_3 - 30X_1^2, \text{мм}, \quad \nu = 12\%; \quad (2)$$

$$\hat{Y}(\Delta y_B) = 94 + 47X_1 + 21X_2 - 9X_3 + 7X_1^2 - 12X_2^2 + 8X_3^2 + 11X_1X_2 - 6X_1X_3, \text{мм}, \quad \nu = 12\%; \quad (3)$$

$$\hat{Y}(\Delta y_C) = 21 + 41X_1 + 21X_2 - 8X_3 + 19X_1^2 + 9X_2^2 + 5X_3^2 + 18X_1X_2 - 6X_1X_3, \text{мм}, \quad \nu = 26\%; \quad (4)$$

$$\hat{Y}(\Delta y_D) = 22 + 35X_1 + 12X_2 - 7X_3 + 28X_1^2 - 3X_2^2 - 7X_3^2 + 9X_1X_2 - 5X_1X_3, \text{мм}, \quad \nu = 21\%; \quad (5)$$

Additional sediment(shift) of the earth's surface at these points, due to the excavation of workings under vaulted tunnels and their finishing, can be represented by the following relationships:

$$\hat{Y}(\Delta y_A) = 51 + 36X_1 + 6X_2 - 3X_1X_3, \text{мм}, \quad \nu = 6\%; \quad (6)$$

$$\hat{Y}(\Delta y_B) = 63 + 44X_1 + 26X_2 - 2X_3 + 6X_1^2 - 5X_2^2 - 2X_3^2 + 12X_1X_2 - 5X_1X_3, \text{мм}, \quad \nu = 12\%; \quad (7)$$

$$\hat{Y}(\Delta y_C) = 41 + 35X_1 + 26X_2 - 3X_3 + 20X_1X_2 - 5X_1X_3, \text{мм}, \quad \nu = 10\%; \quad (8)$$

$$\hat{Y}(\Delta y_D) = 26 + 22X_1 + 14X_2 - 2X_3 + 11X_1X_2 - 4X_1X_3 - 3X_2X_3, \text{мм}, \quad \nu = 9\%. \quad (9)$$

A geometric interpretation of the presented models can be presented in Fig. 2, 3

With the average values of all research factors, the total subsidence of the earth's surface above the mine (t. A), near and near (t. C) facades from it, and also at a distance from it (t. D) are respectively, 101mm, 94mm, 21 and 22mm. Moreover, the sediment of all points

with respect to their average values increases (Fig. 3) along the entire front, respectively, by 71, 100, 390 and 318% with an increase in the span of the vaulted workings. A similar effect on the general subsidence has a groundwater level. With its increase from 15 to 3 m to the daytime surface of the land sediment, its points along the specified profile are 20, 45, 200 and 109 mm.

With the deterioration of the type of soil conditions from $644 \cdot 103$ to $226 \cdot 103$, the total subsidence of the earth's surface increases by 10, 19, 76 and 64%. Most research factors have a nonlinear effect on the general subsidence of the earth's surface, and also interact with each other.

The dependence of additional sediment(shifts) of the earth's surface (Fig. 2) on these factors is more ordered. In particular, additional sediment of the earth's surface above points A, B, C, D, caused by an increase in the spans of underground vaulted workings from 5 to 15 m, increases by 141, 140, 140 and 169%, respectively, with an increase in the level of groundwater from 15 to 3 m to the surface of the earth by 24, 83, 127 by 108%, with the deterioration of soil conditions from $644 \cdot 103$ to $226 \cdot 103$ - from 6 to 15%, while increasing the span of the arch and the level of groundwater to 90% while increasing the span of the arch and deterioration of the type of soil conditions - by 12 - 24% throughout the profile.

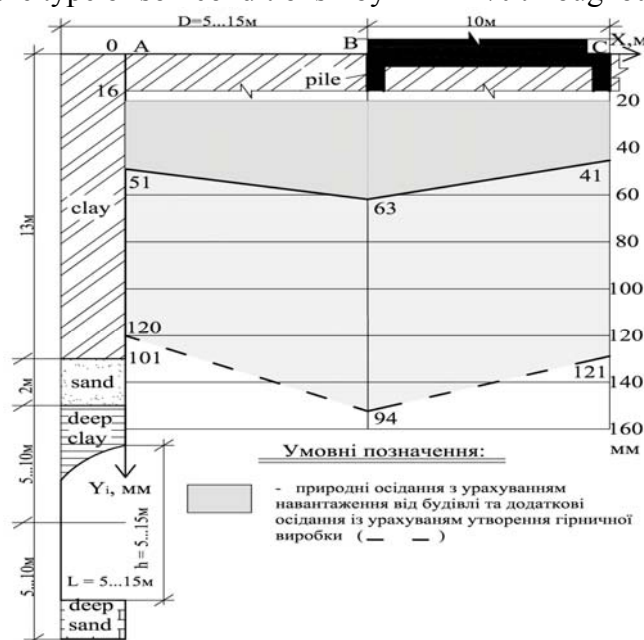


Figure 2 – Average natural and additional sediment(shift) of the earth's surface, taking into account the formation of underground workings in a loaded base (experiment No. 15)

Source: obtained by authors

The above mathematical models (2) ... (9) are conveniently used to assess the influence of one or another factor, in particular, and in interaction with each other on the total and additional precipitation (shifts) of the earth's surface at characteristic points, as well as for solving optimization problems in which sufficiently mathematically sound stochastic dependencies of the parameters considered from the indicated research factors are used.

A four-fold increase in the level of the evenly distributed load from the building to the right of the future tunnel (from $w = 25$ to $100 \text{ kNm} / \text{m}$), experience No. 16 will lead to a significant increase in the total and additional (from 2 to 3 times) land surface precipitation due to the construction of the vaulted the tunnel.

The proposed technique allows you to quickly determine the main and additional precipitation of the earth's surface without performing cumbersome calculations in the ground conditions of the southern region of Ukraine, as well as to predict possible negative consequences in the process of arranging tunnels.

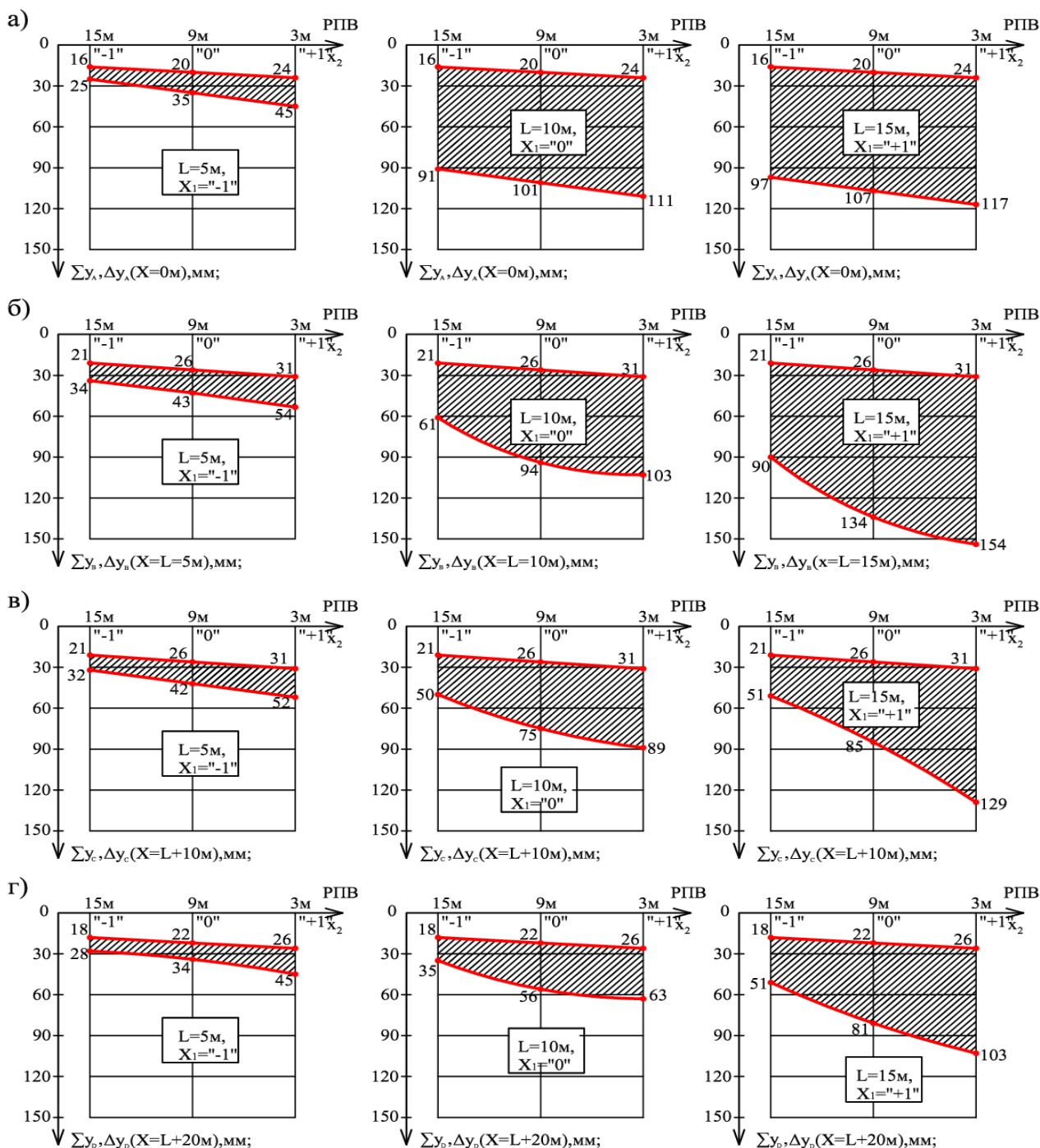


Figure 3 – Influence of arch span, groundwater level and soil conditions on the magnitude of the extreme values of bending moments (a, б), transverse forces (в, г) and compressive longitudinal forces (д)
 Source: obtained by authors

Conclusions. The above mathematical models (2) ... (9) are conveniently used to assess the influence of one or another factor, in particular, and in interaction with each other on the total and additional precipitation (shifts) of the earth's surface at characteristic points, as well as for solving optimization problems in which sufficiently mathematically sound stochastic dependencies of the parameters considered from the indicated research factors are used.

A four-fold increase in the level of the evenly distributed load from the building to the right of the future tunnel (from $w = 25$ to $100 \text{ kNm} / \text{m}$), experience No. 16 will lead to a significant increase in the total and additional (from 2 to 3 times) land surface precipitation due to the construction of the vaulted the tunnel.

The proposed technique allows you to quickly determine the main and additional precipitation of the earth's surface without performing cumbersome calculations in the ground conditions of the southern region of Ukraine, as well as to predict possible negative consequences in the process of arranging tunnels.

Список літератури

1. Gheorghe M., Armas I., Dumitru P., Calin A., Badescu O., Necsoiu M. Monitoring subway construction using Sentinel-1 data: a case study in Bucharest, Romania. *International Journal of Remote Sensing*. 2020. Т. 41, № 7. С. 2644-2663.
2. PLAXIS – инструмент инженера-геотехника. Примеры расчетов. *CADmaster*. 2002. № 3. С. 62-65.
3. Щекудов Е.В. Реализация современных расчетных методов при совершенствовании конструктивно-технологических решений подземных сооружений транспортного назначения. Технологии мира, 2011. 10 с.
4. Голубев А.И., Селецкий А.В. Программный комплекс PLAXIS – эффективный инструмент для геотехнических расчетов транспортных сооружений. *Дороги. Инновации в строительстве*. 2011. № 9. С. 58- 60.
5. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях [2-е изд. испр. и доп.]. Москва: Финансы и статистика, 1981. 215 с.
6. Карпюк І. А., Карпюк В. М. Нерівномірні осідання поверхні землі в процесі улаштування склепінчастих тунелів з урахуванням нашарувань ґрунтів південного регіону України. *Будівельні конструкції*. 2016. Вип. 83(1). С. 381-389.
7. Karpiuk V.M., Karpyuk I.A. Moving the earth's surface the formation of underground excavation in the bases loaded. Proceedings of the International Academic Congress "Fundamental and Applied Studies in the Pacific and Atlantic Oceans Countries". (Japan, Tokyo, 25 October 2014). Vol. II. "Tokyo University Press", 2014. P. 403-413.

References

1. Gheorghe, M., Armas, I., Dumitru, P., Calin, A., Badescu, O. & Necsoiu, M. (2020). Monitoring subway construction using Sentinel-1 data: a case study in Bucharest, Romania. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 41, 7, 2644-2663 [in English].
2. PLAXIS is a geotechnical engineering tool. Examples of calculations. *CADmaster*. (2002), 3, 62-65 [in Russian].
3. Schekudov, E.V. (2011). *Realizacija sovremennyh raschetnyh metodov pri sovershenstvovanii konstruktivno-tehnologicheskikh reshenij podzemnyh sooruzhenij transportnogo naznachenija [The implementation of modern calculation methods for the improvement of structural and technological solutions of underground transport facilities]*. Tehnologii mira [in Russian].
4. Golubev, A.I. & Seletsky, A.V. (2011). Programmnyj kompleks PLAXIS – jeffektivnyj instrument dlja geotnicheskikh raschetov transportnyh sooruzhenij [The software complex PLAXIS - an effective tool for geotechnical calculations of transport structures]. *Dorogi. Innovacii v stroitel'stve Roads – Innovations in construction*, 9, 58-60 [in Russian].
5. Voznesensky, V.A. (1981). Statistical methods of designing an experiment in technical and economic research. (2nd ed.) . Moskow: Finance and Statistics [in Russian].
6. Karpyuk, I.A. & Karpiuk, V.M. (2016). Nerivnomirmi osidannia poverkhni zemli v protsesi ulashtuvannia sklepinchastykh tuneliv z urakhuvanniam nasharuvan' gruntiv pivdennoho rehionu Ukrainy [Nonuniform settlements of the earth's surface in the process of arrangement of vaulted tunnels taking into account the soil layers of the southern region of Ukraine]. *Budivel'ni konstruksii – Building structures*, Vol. 83 (1), 381-389 [in Ukrainian].
7. Karpiuk V.M., Karpyuk I.A. (2014). Moving the earth's surface the formation of underground excavation in the bases loaded. Proceedings of the International Academic Congress "Fundamental and Applied Studies in the Pacific and Atlantic Oceans Countries". (Japan, Tokyo, 25 October 2014), Vol. II, "Tokyo University Press" [in English].

І.А. Карпюк, доц., канд. техн. наук, **В.М. Карпюк**, проф., д-р техн. наук
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м.Одеса, Україна

Осадка поверхні землі в процесі будівництва тунелів

При будівництві підземної споруди - тунелю глибокого розташування в ґрунтах середньої міцності здійснюється виймання ґрунту прохідницьким комбайном та влаштування, слідом за цим, оправи тунелю. Досвід показує, що площа поперечного перерізу тунелю, підкріпленого оправою, завжди

є меншою від площі зробленої виїмки в ґрунті. І хоча будівельниками приймаються заходи щодо заповнення цих шпарин, все ж не вдається уникнути перерозподілу напружень і деформацій ґрунту в ході його будівництва. З метою уникнення негативних наслідків, пошкоджень існуючих будівель і фундаментів на поверхні землі необхідно, з одного боку, визначати природні, додаткові і загальні осідання окремих її точок, прогнозувати ці ефекти і визначати внутрішні зусилля в оправах тунелів, а з іншого боку, приймати відповідні ефективні заходи.

Точні методи носять поки що досить умовний характер і потребують вдосконалення. В статі наведені результати розрахунку внутрішніх силових факторів монолітної залізобетонної оправи склепінчастого тунелю. Такий аналіз було виконано за допомогою програмного комплексу PLAXIS-8.

Числові експерименти по дослідженню взаємодії ґрунтів основи пальових фундаментів та фундаментної плити будівлі зі склепінчастою оправою тунелів виконані із застосуванням математичної теорії планування експерименту.

На підставі аналізу наявної апріорної інформації з літературних джерел і з урахуванням реальних нашарувань ґрунтів основи південного регіону України в якості дослідних обрані фактори: номінальний проліт склепінчастої оправи тунелю, рівень підземних вод, наведений тип ґрунтових умов характерного для південного регіону України нашарування, який інтегрально ураховує вплив питомої ваги ґрунту, коефіцієнтів горизонтальної та вертикальної фільтрації (проникності), модуля Юнга, коефіцієнта Пуассона, зчеплення, кута внутрішнього тертя і ділатансії ґрунту, а також коефіцієнта його пружного відпору.

На основі розрахунків, представлені адекватні математичні моделі.

Математичні моделі зручно використовувати для оцінки впливу того чи іншого чинника, зокрема і у взаємодії один з одним, на сумарні і додаткові осідання (зрушення) земної поверхні в характерних точках, а також для вирішення завдань оптимізації в які досить математично обґрунтовані стохастическими залежностями параметрів, розглянутих із зазначених факторів дослідження.

Запропонована методика дозволяє швидко визначати основні і додаткові осідання земної поверхні без виконання громіздких розрахунків в ґрунтових умовах південного регіону України, а також прогнозувати можливі негативні наслідки в процесі влаштування тунелів.

склепінчастий тунель, каркас, загальні та додаткові опади земної поверхні, математичні моделі

Одержано (Received) 03.03.2020

Прорецензовано (Reviewed) 17.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 692.23:699.86

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).200-209](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).200-209)

В.А. Пашинський, проф., д-р техн. наук, **С.О Джирма**, доц., канд. техн. наук,

М.В. Пашинський, канд. техн. наук

Центральнoукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: stas55871@ukr.net

Теплові характеристики вузлів примикання вікон до цегляних та залізобетонних стін цивільних будівель на території Кіровоградської області

Проаналізовані температурні поля вузлів бічного примикання металопластикових віконних блоків до стін житлових і громадських будівель, які зводилися в другій половині минулого століття, а також використовуються в сучасному цивільному будівництві. Моделювання за методом скінченних елементів дозволило визначити найменші температури поверхонь внутрішніх відкосів в кліматичних умовах Кіровоградської області. Для кожного з розглянутих вузлів перевірена можливість утворення конденсату на внутрішніх поверхнях стін з урахуванням положення віконних блоків по товщині стіни.

зовнішні стіни, примикання вікон, температура поверхні, конденсат

© В.А. Пашинський, С.О Джирма, М.В. Пашинський, 2020

В.А. Пашинский, проф., д-р техн. наук, **С.А. Джирма**, доц., канд. техн. наук,

Н.В. Пашинский, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна,

Тепловые характеристики узлов примыкания окон к кирпичным и железобетонным стенам гражданских зданий на территории Кировоградской области

Проанализированы температурные поля узлов бокового примыкания металлопластиковых оконных блоков к стенам жилых и общественных зданий, которые возводились во второй половине прошлого века, а также используются в современном гражданском строительстве. Моделирование методом конечных элементов позволило определить наименьшие температуры поверхностей внутренних откосов в климатических условиях Кировоградской области. Для каждого из рассмотренных узлов проверена возможность образования конденсата на внутренних поверхностях стен с учетом положения оконных блоков по толщине стены.

внешние стены, примыкание окон, температура поверхности, конденсат

Постановка проблеми. Достатній рівень теплової надійності огорожувальних конструкцій забезпечує не лише енергоефективність громадських будівель, а й комфортність перебування в приміщеннях. Норми проектування ДБН В.2.6-31-2016 "Теплова ізоляція будівель" встановлюють три критерії для оцінювання теплової надійності огорожувальних конструкцій: достатній опір теплопередачі, допустима різниця температур внутрішнього повітря та внутрішньої поверхні стіни, відсутність конденсату в зонах підвищеної теплопровідності. Досвід розрахунків показав, що вибір опору теплопередачі згідно з вимогами ДБН В.2.6-31-2016 практично завжди забезпечує виконання перших двох умов на плоских ділянках зовнішніх стін. Актуальною залишається проблема утворення конденсату в зонах підвищеної теплопровідності внаслідок падіння температури внутрішньої поверхні стін нижче точки роси. Однією з таких зон є розглянутий в даній роботі вузол бічного примикання віконних блоків до стін різних конструкцій, які використовуються в житлових і громадських будівлях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вимоги, критерії та засоби забезпечення теплової надійності огорожувальних конструкцій встановлені нормами проектування [1]. Одна з наведених в [1] граничних нерівностей вимагає, щоб при дії встановлених нормами [2] розрахункових температур зовнішнього повітря температура внутрішньої поверхні огороження в зонах підвищеної теплопровідності не опускалася нижче температури точки роси, яка залежить від температури й вологості внутрішнього повітря. У другій половині минулого століття в Україні масово зводилися житлові й громадські будівлі з цегляними стінами товщиною 510 мм та з панельними стінами з керамзитобетону, опір теплопередачі яких (близько $1 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$) був утричі меншим від сучасних вимог [1], рівних $2,8 \dots 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Виконаний в роботах [3, 4] аналіз температурних полів вузлів примикання вікон до таких стін показав, що температура внутрішніх відкосів може бути нижчою від температури точки роси. Це призводить до утворення конденсату на внутрішніх відкосах та прискореного виходу з ладу дерев'яних вікон. При новому будівництві використовуються цегляні стіни з зовнішнім фасадним утепленням, тришарові стіни з зовнішнім шаром з лицьової цегли, а також стіни з ніздрюватих бетонів. Теплоізоляційний шар виконується з мінераловатних або пінополістирольних плит, які мають досить близькі розрахункові значення коефіцієнтів теплопровідності в межах $0,035 < \lambda < 0,050 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ [5].

Підвищити температуру відкосу можна за рахунок додаткового утеплення або зміщення віконного блоку всередину будівлі. Ця ідея була висловлена та підтверджена розрахунками в роботах [3, 4]. У статті [3] отримані температурні поля у вузлах примикання віконних блоків до стін різної конструкції при двох положеннях вікна по товщині стіни. Аналізувалися температури внутрішньої поверхні стін, а також положення нульової ізотерми. В роботі [4] отримана залежність температури в

критичній точці внутрішнього відкосу від положення металопластикового віконного блоку в цегляній стіні товщиною 510 мм при розрахунковій температурі зовнішнього повітря для м. Кропивницький. Показано, що при установці вікна впритул до четверті температура на поверхні внутрішнього відкосу становить близько $+8^{\circ}\text{C}$, що призводить до утворення конденсату. Зміщення віконного блоку всередину будівлі істотно підвищує температуру в критичній точці відкосу. Необхідність та доцільна величина зміщення віконного блоку всередину стін різних конструкцій при різних розрахункових температурах зовнішнього повітря потребує більш серйозного обґрунтування.

Температурні поля вузлів у роботах [3, 4] були побудовані за допомогою програми THERM [6], розробленої в Каліфорнійському університеті США. Початковими даними для програми є конструкція вузла з розмірами й тепловими характеристиками матеріалів, температури зовнішнього та внутрішнього повітря, а також умови теплообміну між конструкцією й середовищем. Необхідні для аналізу значення температури й вологості внутрішнього повітря встановлені в ДБН [1] залежно від призначення приміщень. Температури зовнішнього повітря можна встановити за стандартом [2] або більш точно для Кіровоградської області – за даними статті [7]. Програма THERM будує теплові поля двомірних вузлів шляхом моделювання процесів теплопередачі методом скінченних елементів. Результати розрахунку можуть бути представлені у вигляді ізотерм, векторів теплового потоку та локальних температур в окремих точках конструкції.

Постановка завдання. За результатами аналізу температурних полів у вузлах бічного примикання віконних блоків до стін житлових і громадських будівель виявити можливість утворення конденсату на внутрішніх поверхнях цих вузлів з урахуванням кліматичних умов Кіровоградської області та положення віконних блоків у товщі стіни.

Виклад основного матеріалу. Дослідження орієнтується на термомодернізацію та нове будівництво житлових і громадських будівель. Необхідні для виявлення можливості утворення конденсату на внутрішній поверхні стіни температури точки роси визначені з урахуванням встановлених нормами [1] розрахункових значень температури й відносної вологості внутрішнього повітря та наведені в таблиці 1. Незначний розкид даних дозволяє в запас надійності прийняти для подальшого аналізу єдине значення температури точки роси $+11^{\circ}\text{C}$. Розрахункове значення температури внутрішнього повітря доцільно встановити рівним $+20^{\circ}\text{C}$, що відповідає найбільш масовим будівлям житлового та громадського призначення. Окрім того, це значення створить додатковий запас теплової надійності за критерієм утворення конденсату, оскільки при вищих температурах внутрішнього повітря зростуть також фактичні температури внутрішньої поверхні стін.

Таблиця 1 – Параметри мікроклімату в приміщеннях цивільних будівель

Призначення приміщень	Температура внутрішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$	Вологість внутрішнього повітря, %	Температура точки роси, $^{\circ}\text{C}$
Житлові будинки та готелі	20	55	10,7
Офіси та заклади торгівлі	20	50	9,3
Навчальні та лікарняні заклади	21	50	10,2
Дитячі дошкільні заклади	22	50	11,1

Джерело: розроблено авторами за даними [1]

Температури зовнішнього повітря для розрахунків масивних цегляних стін прийняті рівними температурам найхолоднішої п'ятиденки із забезпеченістю 0,92 та 0,98. За методикою роботи [7], яка базується на даних стандарту [2], встановлено, що

на території Кіровоградської області ці температури змінюються в межах від -20°C до -24°C . Нормами [1] встановлене розрахункове значення температури зовнішнього повітря для перевірки можливості утворення конденсату в першій температурній зоні, рівне -22°C . В запас надійності для усієї території Кіровоградської області прийнято розрахункове значення температури зовнішнього повітря -24°C .

Аналізуються найбільш характерні вузли бічного примикання віконного блоку до стін семи типів, конструкції яких схематично показані на ескізах в таблиці 3. В усіх вузлах використовуються металопластикові віконні блоки з елементами товщиною 70 мм та двокамерними склопакетами. Ущільнення вузлів примикання до стіни виконується згідно з вимогами стандарту [8]. Теплова ізоляція усіх стін, за винятком першого та третього варіантів, виконана з мінераловатних плит або близьких за теплопровідністю пінополістирольних плит. Товщина шару теплоізоляції забезпечує встановлений нормами [1] опір теплопередачі не менший за $3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$. Враховані в подальших розрахунках теплофізичні характеристики матеріалів встановлені за [5] і наведені в таблиці 2. Детальний опис вузлів разом з аналізом їх температурного режиму виконано нижче.

В роботі [4] встановлено, що критичною зоною вузлів бічного примикання віконних блоків до стін, у якій спостерігається найнижча температура внутрішньої поверхні стіни, є місце примикання внутрішнього відкосу до віконної коробки. Для виявлення можливості утворення конденсату та раціонального положення віконного блоку в товщі стіни необхідно побудувати залежності температури в критичній точці внутрішнього відкосу від координати віконного блоку по товщині стіни для прийнятих вище температур зовнішнього і внутрішнього повітря й порівняти отримані результати з встановленою за даними таблиці 1 температурою точки роси $+11^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 2 – Теплофізичні характеристики матеріалів і виробів

Позначення	Матеріали та вироби	Густина, $\text{кг}/\text{м}^3$	Теплопровідність, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$
1	Кладка з повнотілої керамічної цегли	1800	0,81
2	Кладка з пустотілої керамічної цегли	1400	0,64
3	Кладка з блоків ніздрюватого бетону	400	0,13
4	Стінова панель з керамзитобетону	1000	0,41
5	Штукатурка з вапняно-піщаного розчину	1600	0,81
6	Штукатурка на основі цементу	1800	0,93
7	Утеплювач з мінераловатної плити Rockwool	135	0,039
8	Піна монтажна поліуретанова	25	0,03
9	Металопластиковий віконний блок	30	0,037

Джерело: розроблено авторами за даними [5]

Температурні поля усіх досліджених вузлів побудовані в програмі THERM [6]. Для кожного типу вузла виконані розрахунки при декількох величинах зміщення віконних блоків всередину приміщення відносно їх початкового положення, показаного на схемах з таблиці 3. При моделюванні теплового режиму вузлів встановлена температура зовнішнього повітря -24°C й температура внутрішнього повітря $+20^{\circ}\text{C}$. Основні розміри елементів конструкції вказані на ескізах з таблиці 3, а теплофізичні характеристики використаних матеріалів наведені в таблиці 2. У якості теплоізоляційного шару можуть використовуватися мінераловатні плити інших виробників, а також плити з пінополістиролу, які мають коефіцієнти теплопровідності, близькі до наведених в таблиці 2.

Результати досліджень усіх вузлів зведені в таблицю 3, де вказані: позначення (номер) типу вузла, склад стіни, схема вузла з початковим положенням віконного блоку а також температури критичної точки t_{cr} при різних величинах x зміщення віконного блоку від початкового положення всередину приміщення. Наведені в таблиці 3 ескізи є схематичними, тому дрібні деталі ущільнення вузлів за стандартом [8] (пароізоляційні стрічки, аерозольні герметики, ізоляційні плівки, попередньо стиснуті ущільнюючі стрічки) на цих ескізах умовно не показані.

Таблиця 3 – Температури критичної зони вузлів бічного примикання віконного блоку до стін різної конструкції

Тип вузла	Склад стіни	Ескіз вузла	x , мм	t_{cr} , °C
1	<ul style="list-style-type: none"> повнотіла цегла 510 мм штукатурка 20 мм 		0 30 60 90 120 150	7,7 8,4 8,9 9,4 9,7 10,3
2	<ul style="list-style-type: none"> штукатурка 20 мм мінватна плита 100 мм повнотіла цегла 510 мм штукатурка 20 мм 		0 30 60 90 120 150	10,7 11,2 11,4 11,8 11,9 12,3
3	<ul style="list-style-type: none"> керамзитобетон 300 мм штукатурка 20 мм 		0 25 50 75 100	8,4 8,9 9,5 9,5 9,6
4	<ul style="list-style-type: none"> штукатурка 20 мм мінватна плита 100 мм керамзитобетон 300 мм штукатурка 20 мм 		0 25 50 75 100 125	13,0 12,7 12,5 12,5 13,2 12,8

Закінчення таблиці 3

Тип вузла	Склад стіни	Ескіз вузла	x, мм	t_{cr} , °C
5	<ul style="list-style-type: none"> штукатурка 20 мм мінватна плита 100 мм порожниста цегла 380 мм штукатурка 20 мм 		0	13,1
			25	13,0
			50	13,0
			75	13,1
			100	13,0
			125	13,2
			150	13,1
6	<ul style="list-style-type: none"> порожниста цегла 120 мм мінватна плита 100 мм порожниста цегла 380 мм штукатурка 20 мм 		0	13,4
			25	13,4
			50	13,5
			75	13,5
			100	13,4
			125	13,4
			150	13,5
7	<ul style="list-style-type: none"> штукатурка 20 мм мінватна плита 100 мм ніздрюватий бетон 250 мм штукатурка 20 мм 		0	12,8
			25	12,7
			50	12,7
			75	13,2
			100	13,1

Джерело: розроблено авторами

Результати виконаних розрахунків узагальнені на графіку з рисунка 1, побудованому за даними таблиці 3. Кожен з пронумерованих на графіку типів вузла представлений лінією, яка відображає зміни температури поверхні внутрішнього відкосу t_{cr} в критичній точці вузла залежно від величини x зміщення віконного блоку від початкового положення всередину приміщення. Точка перетину з горизонтальною лінією, яка відповідає температурі точки роси $+11^{\circ}\text{C}$, вказує на величину зміщення, при якій конденсат на поверхні внутрішнього відкосу не утворюється.

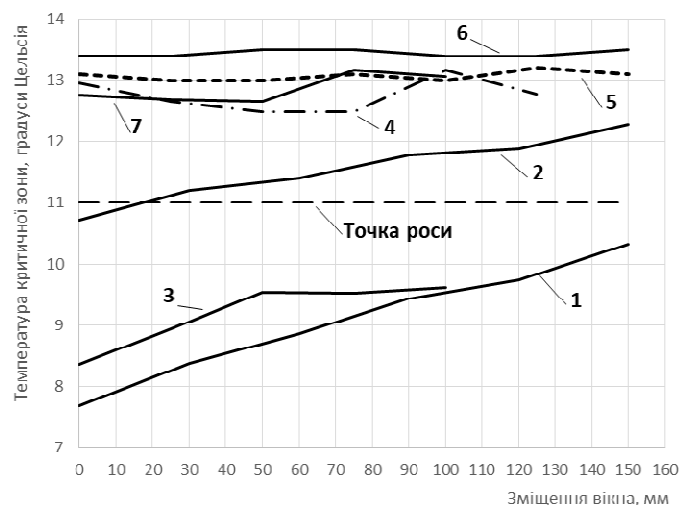


Рисунок 1 – Залежності температур в критичних точках вузлів від положення віконних блоків

Джерело: розроблено авторами

Вузол типу 1 відповідає цегляній стіні житлової чи громадської будівлі, які масово зводилися в другій половині минулого століття, експлуатуються до цього часу та будуть експлуатуватися ще десятиліттями. У таких будівлях дерев'яні вікна часто замінюють на сучасні металопластикові конструкції, не виконуючи додаткове утеплення фасаду. Ущільнення вузла зазвичай виконують монтажною піною, бажано з використанням спеціальних ізоляційних виробів згідно з вимогами [8], а внутрішні відкоси формуються із штукатурки. У початковому положенні вікно встановлюється практично впритул (на відстані 10...15 мм) до чверті в цегляній стіні. При зміщенні вікна всередину приміщення зазор між чвертю та зовнішньою поверхнею віконного блоку заповнюється мінераловатною плитою чи пінополістиролом. З таблиці 3 і рисунка 1 видно, що при такому положенні вікна температура критичної зони внутрішнього відкосу $t_{cr} = +7,7^{\circ}\text{C}$ є нижчою від температури точки роси $+11^{\circ}\text{C}$. Це обумовлює можливість утворення конденсату на поверхні відкосу. По мірі зміщення вікна всередину приміщення температура внутрішнього відкосу зростає до $t_{cr} = +10,3^{\circ}\text{C}$ при зміщенні на $x = 150$ мм, але залишається нижчою від точки роси $+11^{\circ}\text{C}$. У цьому випадку на улаштування підвіконня залишається усього 170 мм товщини стіни, тому подальше зміщення вікна всередину приміщення є недоцільним з архітектурно-ергономічної точки зору. Виконані розрахунки змушують констатувати непридатність до нормальної експлуатації вузла типу 1 без додаткового фасадного утеплення.

Вузол типу 2 представляє собою термомодернізовану цегляну стіну першого варіанту. Фасадне утеплення виконується з пінополістирольних чи мінераловатних плит із зовнішнім оздоблювально-захисним шаром товщиною 10...20 мм. Товщина теплоізоляції 100 мм забезпечує мінімально допустиме нормами [1] значення опору теплопередачі $3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$. Дані таблиці 3 і рисунок 1 показують, що при початковому положенні віконного блоку найнижча температура внутрішнього відкосу $t_{cr} = +10,7^{\circ}\text{C}$ є дещо нижчою від прийнятої температури точки роси $+11^{\circ}\text{C}$, але відповідає вимогам до більшості будівель, перелічених в таблиці 1. При зміщенні вікна всередину приміщення зазор між чвертю та зовнішньою поверхнею віконного блоку заповнюється матеріалом, з якого виконане фасадне утеплення. З рисунка 1 видно, що при зміщенні віконного блоку на $x \geq 15$ мм конденсат на поверхні відкосу не утворюється.

Вузол типу 3 є аналогом вузла типу 1 для випадку крупнопанельних стін з керамзитобетону, які також експлуатуються в наш час. Конструкція вузла відрізняється відсутністю чверті, яка замінюється зовнішнім відкосом із штукатурки. Віконний блок зазвичай встановлюється на відстані близько 50 мм від зовнішньої грані стінової панелі. Дані таблиці 3 та рисунок 1 показують, що температура критичної зони вузла є нижчою від точки роси при усіх можливих зміщеннях віконного блоку. Це не дозволяє нормально експлуатувати крупнопанельні стіни без додаткового утеплення.

Вузол типу 4 є аналогом вузла типу 2 для випадку крупнопанельних стін з керамзитобетону, які пройшли термомодернізацію шляхом додаткового фасадного утеплення. При переміщенні вікна від показаного в таблиці 3 початкового положення всередину будівлі зовнішній відкіс утеплюється мінеральною ватою товщиною 50 мм. З таблиці 3 і рисунка 1 видно, що температура критичної зони вузла є вищою від точки роси при усіх розглянутих положеннях віконного блоку. Тому положення вікна при його заміні слід обирати, виходячи з архітектурно-ергономічних уявлень.

Вузол типу 5 використовується в цегляних стінах новобудов. Несуча частина стіни товщиною 380 мм виконана з порожнистої цегли, а фасадна теплоізоляція – з мінераловатної плити товщиною 100 мм, зовні захищеною штукатуркою на основі цементного розчину товщиною 10...20 мм. У показаному в таблиці 3 початковому положенні вікна на рівні зовнішньої грані несучої частини стіни шар теплоізоляції утворює чверть. При зміщенні вікна всередину приміщення зовнішній відкіс

утеплюється плитою з мінеральної вати чи з пінополістиролу товщиною 50 мм. Температура критичної зони практично не залежить від положення вікна.

Вузол типу 6 виконується в тришаровій цегляній стіні. Внутрішня несуча частина стіни товщиною 380 мм виконана з порожнистої цегли, а теплоізоляція представляє собою плиту з мінеральної вати товщиною 100 мм. Зовнішній захисний шар товщиною 120 мм виконано з лицьової цегли, яка утворює чверть, показану на рисунку з таблиці 3. При зміщенні вікна всередину приміщення зазор між чвертю, утвореною зовнішнім шаром лицьової цегли, та зовнішньою поверхнею віконного блоку заповнюється матеріалом, використаним для основного шару теплоізоляції. Його товщина складає 50 мм. З таблиці 3 та рисунка 1 видно, що температура критичної зони є практично незмінною й істотно вищою від температури точки роси, що гарантує надійну роботу вузлів при усіх положеннях віконного блоку.

Вузол типу 7 характерний для сучасного каркасного будівництва. Самонесуча стіна виконана з блоків ніздрюватого бетону товщиною 250 мм, теплоізоляції з мінераловатної плити товщиною 50 мм та зовнішньої захисної штукатурки на основі цементного розчину товщиною 10...20 мм. У початковому положенні віконний блок встановлюється на рівні зовнішньої поверхні стінових блоків впритул до чверті, утвореної теплоізоляцією. При зміщенні вікна всередину приміщення зовнішній відкіс утеплюється мінераловатною плитою товщиною 50 мм. Дані таблиці 3 та рисунок 1 показують, що температура критичної зони вузла мало залежить від положення вікна в товщі стіни і в усіх розглянутих випадках помітно перевищує температуру точки роси. Тому положення вікна слід обирати з урахуванням архітектурно-ергономічних вимог.

Загальний вигляд рисунка 1 дозволяє розділити проаналізовані вузли на три групи. Неутеплені вузли цегляних і панельних стін (типи 1 і 3) не забезпечують надійність за умовою утворення конденсату ні при яких положеннях віконного блоку в товщі стіни. В утепленому вузлі цегляної стіни (тип 3) температура критичної зони істотно зростає при зміщенні вікна всередину приміщення і перевищує точку роси практично при всіх положеннях вікна. У вузлах типів 4...7 температура критичної зони майже не залежить від положення віконного блоку та є на 1,5...2,5°C вищою від температури точки роси. Така стабільність температур критичних точок пояснюється наявністю теплоізоляції зовнішніх відкосів, на відміну від вузлів 1, 2 і 3 типів, у яких на зовнішніх відкосах наявні відкриті поверхні цегляної кладки або стінової панелі.

Висновки:

1. Виконаний аналіз температурних полів дозволив встановити температури критичних зон вузлів бічного примикання вікон до цегляних і панельних стін різної конструкції та виявити можливість утворення конденсату на внутрішніх поверхнях цих вузлів при різних положеннях віконних блоків у товщі стіни.

2. Вузли бічного примикання вікон до цегляних і панельних стін цивільних будівель без додаткового фасадного утеплення не відповідають вимогам до теплової надійності за критерієм утворення конденсату при усіх реально можливих положеннях віконних блоків у товщі стіни.

3. В кліматичних умовах Кіровоградської області фасадне утеплення існуючих чи нових стін, виконане відповідно до вимог ДБН В.2.6-31-2016 "Теплова ізоляція будівель", практично в усіх випадках гарантує відсутність конденсату на внутрішніх поверхнях віконних відкосів незалежно від положення вікон у товщі стіни.

4. Розроблена методика може застосовуватися для аналізу температурного режиму та оцінювання теплової надійності вузлів інших типів за критерієм утворення конденсату на внутрішніх поверхнях огорожень в зонах теплопровідних включень.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-31:2016: Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 01-04-2017]. Київ: Міністерство будівництва України, 2016. 31 с.
2. ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. 123 с.
3. A Stolarska, J Strzałkowski, Halina Garbalińska. Using CFD software for the evaluation of hygrothermal conditions at wall-window perimeters. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 415. DOI:10.1088/1757-899X/415/1/012046
4. Вплив положення віконних блоків по товщині стіни на теплотехнічні характеристики вузла їх примикання / Пашинський В.А. та ін. *Sciences of Europe*. 2017. No 21, Vol 3. С. 8–13.
5. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2014-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2014. 51 с.
6. THERM 2.0 Program Description. Berkeley CA 94720 USA, 1998. URL: <https://windows.lbl.gov/sites/default/files/Downloads/therm2.pdf> (Дата звернення: 20.05.2020)
7. Семко В.О., Пашинський В.А., Джирма С.О., Пашинський М.В. Температурний режим експлуатації будівель на території Кіровоградської області. *Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 1(32). С 235-243.
8. ДСТУ Б В.2.6-79:2009. Конструкції будинків і споруд. Шви з'єднувальні місць примикань віконних блоків до конструкції стін. Загальні технічні умови. [Чинний від 01.04.2010]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 26 с.

References

1. Teplova izoliatsiia budivel. [Thermal insulation of buildings]. (2016). *DBN V.2.6-31:2016 from 01 April 2017*. Kyiv: Ministerstvo budivnytstva Ukrainy [in Ukrainian].
2. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezh. Budivelna klimatolohiia. [Protection against dangerous geological processes, harmful operational impacts, from fire. Building climatology]. (2010). *DSTU-N B V.1.1–27: 2010*. Kyiv, Ministerstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy [in Ukrainian].
3. A Stolarska, J Strzałkowski & Halina Garbalińska. (2018). Using CFD software for the evaluation of hygrothermal conditions at wall-window perimeters. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 415*. DOI:10.1088/1757-899X/415/1/012046 [in English].
4. Pashynskiy, V.A., Nastoiashchyi, V.A., Dzhyrma, S.O., Plotnikov, O.A. & Ostapchuk, A.S. (2017). Vplyv polozhennia vikonnykh blokiv po tovschyni stiny na teplotekhnichni kharakterystyky vuzla yikh prymkannia. [The influence of the position of window blocks by the wall thickness on the thermal characteristics of their adjoining node]. *Sciences of Europe, No 21, Vol 3*, 8-13 [in Ukrainian]
5. Metody vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia utepлення budivel. [Methods of choosing of insulation material for building insulation]. (2014). *DSTU B V.2.6-189: 2013 from 01 January 2014*. Kyiv: Minrehion Ukrainy [in Ukrainian].
6. THERM 2.0 Program Description. Berkeley CA 94720 USA, 1998. *windows.lbl.gov*. Retrieved from: <https://windows.lbl.gov/sites/default/files/Downloads/therm2.pdf> [in English].
7. Semko, V.O., Pashynskiy, V.A., Dzhyrma, S.O. & Pashynskiy M.V. (2019). Temperaturnyi rezhym ekspluatatsii budivel na terytorii Kirovohradskoi oblasti. [Temperature regime of buildings operation in the Kirovohrad region]. *Tsentrálnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Engineering sciences, Vol. 1(32)*, 235-243 [in Ukrainian].
8. Konstruktsii budynkiv i sporud. Shvy ziednuvalni misty prymkan vikonnykh blokiv do konstruktsii stin. Zahalni tekhnichni umovy. [Construction of buildings and structures. The seams in the adjoining points of window blocks to the construction of the walls. General specifications.] (2009). *DSTU B V.2.6-79:2009 from 01 April 2010*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy [in Ukrainian].

Victor Pashynskiy, Prof., DSc., **Stanislav Dzhyrma**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mykola Pashynskiy**, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Thermal Characteristics of Window Junctions to Brick and Reinforced Concrete Walls of Civil Buildings in the Kirovograd Region

Existing design standards require that the temperature of the inner surface of the enclosure in the zones of high thermal conductivity should not fall below the temperature of the dew point. This phenomenon can occur

in a place of window framing to the wall of residential and public buildings, which were massively produced in the second half of the twentieth century. Condensation can be avoided by raising the surface temperature of the inner window jamb extensions. This can be done by adding an additional insulation or displacement of the block frame window inside the building. The aim of the work is to calculate the appropriate values of the displacement of the block frame window inside the wall of different types for the climatic conditions of the Kirovograd region.

The framing of metal-plastic windows to the walls of various structures that were produced in the second half of the twentieth century are analyzed. The insulation is performed in accordance with DBN B.2.6-31-2016. The lowest design temperature of the coldest five-day period within the territory of the Kirovograd Region is $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$. As a safety margin, the dew point temperature for residential and public buildings for various purposes is taken to be $+11\text{ }^{\circ}\text{C}$. Finite element modeling in the THERM program environment made it possible to construct the temperature fields of the framing of metal-plastic windows to the walls of various structures and to obtain the very temperature of the inner window jamb extensions at various positions of the window frame within the wall. For each of the nodes examined, the possibility of condensation on the inner surfaces of the walls was established taking into account the position of window frame within the wall.

As a result of the studies, it was found that the nodes of the side framing of the windows to the brick and panel walls of civil buildings without additional facade insulation do not meet the requirements for thermal reliability according to the condensation criterion. Facade insulation of existing or new walls, made in accordance with the requirements of DBN B.2.6-31-2016 "Thermal insulation of buildings", in almost all cases guarantees the absence of condensation on the internal surfaces of window jambs.

outside walls, windows framing, surface temperature, condensation

Одержано (Received) 09.06.2020

Прорецензовано (Reviewed) 08.07.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

UDC 624.073:624.016

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).209-217](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).209-217)

Oleksandr Semko, Prof., DSc., **Anton Hasenko**, Assoc. Prof., PhD. tech. sci.,

Aleksey Fenko, Assoc. Prof., PhD. tech. sci.

Educational and Scientific Institute of Architecture and Construction, National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, Ukraine

e-mail: gasentk@gmail.com

J Godwin Emmanuel B. Arch., Pursuing PhD, Assoc. Prof., Res. sch.

C.A.R.E. School of Architecture, No.27, Thayanoor village, Trichy, Tamil Nadu, India,

e-mail: godwinarchitect@gmail.com

Victor Darienko, Assoc. Prof., PhD. tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

e-mail: vvdarienko@gmail.com

Architectural and constructive decisions of a triangular reinforced concrete arch with a self-stressed steel brace

The article describes the influence of overall dimensions, namely the ratio of lifting height to the span of the triangular reinforced concrete arch of the coating, to the change in internal forces in its cross sections. The change of axial force in steel rods and reinforced concrete half-panels and the change of bending moment in reinforced concrete half-panels depending on the angle of inclination of roof are determined. According to the obtained values of the effort, the required diameters of the working reinforcement and its cost are determined.

Triangular reinforced concrete arch of a covering, self-stressed brace, architectural and constructive decisions

О.В. Семко, проф., д-р техн. наук, **А.В. Гасенко**, доц., канд. техн. наук, **О.Г. Фенко**, доц., канд. техн. наук

Навчально-науковий інститут Архітектури та будівництва Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна

Дж Годвін Еммануель Б. Арх., докторант, доц., наук. співроб.

S.A.R.E. Школа архітектури, №27, село Thayapoor, Тричі, Таміл Наду, Індія

В.В. Дарієнко, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Архитектурно-конструктивные решения треугольной железобетонной арки с самонапряженной стальной затяжкой

В статье описано влияние габаритных размеров, а именно отношение высоты подъема к пролету треугольной железобетонной арки покрытия, на изменение внутренних усилий в ее сечениях и расхода материалов на ее изготовление. Определено изменение продольной силы в стальной тяже и железобетонных полупанелях, а также изменение изгибающего момента в железобетонных полупанелях в зависимости от угла наклона кровли. По полученным значениям усилий определены необходимые диаметры рабочего армирования и его стоимость.

треугольная железобетонная арка покрытия, самонапряженная затяжка, архитектурно-конструктивные решения

Statement of the problem. All buildings and structures must meet the requirements of expediency, functionality, technical, operational, architectural, economic, environmental, special [1]. These requirements should be addressed simultaneously, constantly analyzing the impact of a decision on ensuring compliance with each of the requirements. For example, ensuring the architectural uniqueness of a building immediately affects the cost of its construction. At the same time, it is necessary to monitor the impact of the results of engineering calculations on the change of architectural and design decisions.

An analysis of recent research and publications that have begun to address this issue. Sometimes it is necessary to erect a building in a very limited time. In this case, economy and industriality play a crucial role in relation to other requirements. As a result, a whole class of so-called "prefabricated buildings" emerged. The scope of operation of prefabricated buildings is often limited to industrial buildings for agricultural or warehousing purposes. However, during the reconstruction and redevelopment of these buildings, they may perform another purpose [2]. For example, public buildings for trade and entertainment purposes, residential buildings of dormitory type, etc.

One of the most common building materials is reinforced concrete due to the lower cost compared to other materials and a sufficient level of fire resistance. Precast concrete provides at a fairly high level the requirements of industry and economy. It is possible to construct buildings of any shape in the plan from monolithic reinforced concrete. Such buildings can have any architectural and planning decision [3].

Prefabricated buildings can have a wall or frame structural scheme. Figures 1 and 2 show prefabricated buildings with a wall structural scheme. In this case, wall and roof panels perform load-bearing and enclosing functions. They are subject to the requirements of strength, rigidity, stability, insulation [4]. In this case, very often wall and roof panels are made multilayer: heavy reinforced concrete performs load-bearing functions, and porous cellular concrete or a layer of mineral wool insulation performs thermal insulation functions.

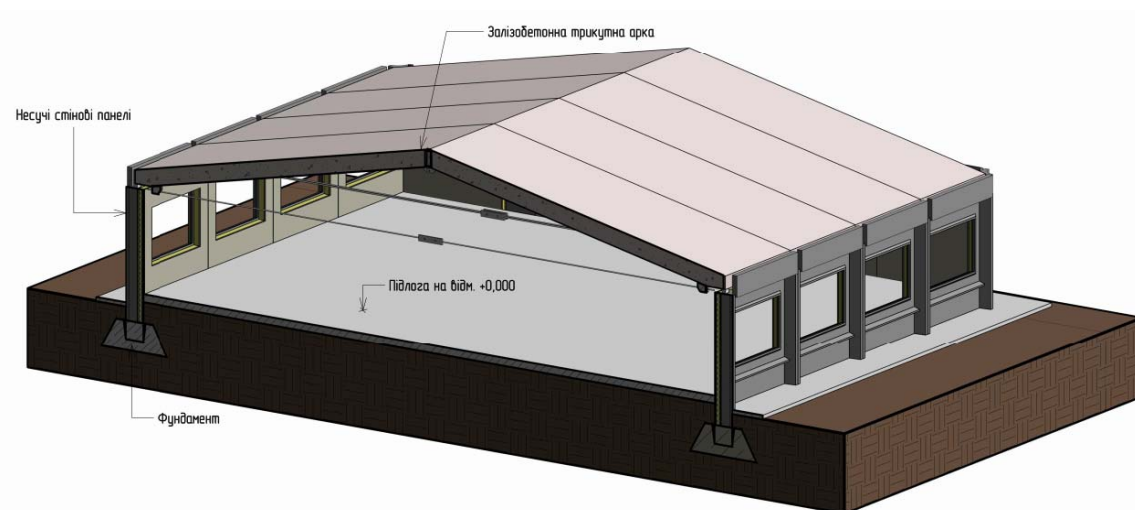


Figure 1 – Wall structural scheme of prefabricated buildings

Source: developed by the authors

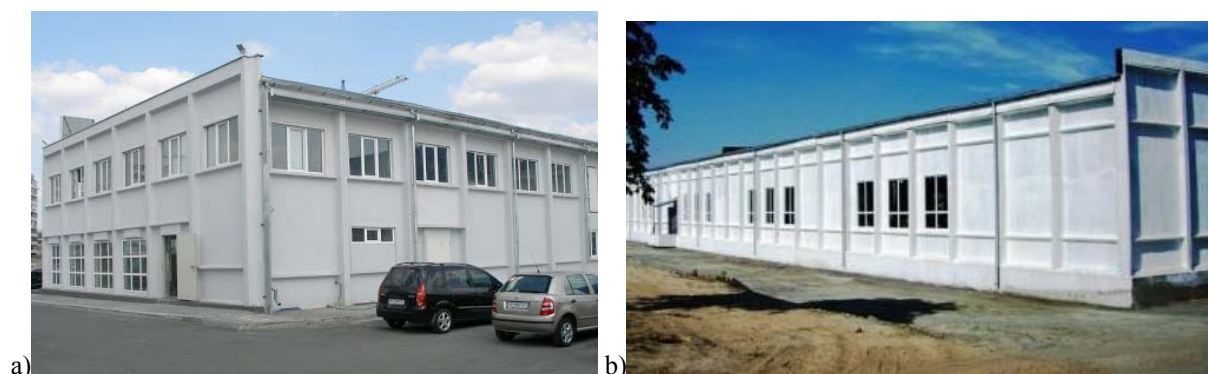


Figure 2 – Examples of prefabricated reinforced concrete buildings with a wall structural scheme:
a) administrative building; b) logistics complex

Source: photos from internet sites

The advantages of such a constructive scheme include a simplified installation process due to the smaller number of building elements (absence of columns and crossbars) and the possibility of manufacturing panels in the same standard inventory formwork. However, in this case, the wall and roof panels must have increased strength, which is provided by the installation of additional reinforcing bars and increase the thickness of the concrete shelf. The elements of the panels in this case work on complex types of deformation [5].

Figures 3 and 4 show prefabricated buildings with a frame structural scheme. In this case, the supporting functions are columns and crossbars, or L-shaped frames, and wall and roof panels perform only fencing functions [6]. The advantages of such a structural scheme include a relatively simple course of design work by generating the external load to a linear or point scheme [7, 8]. Also in this case, wall and roof panels have less weight. The disadvantages, as mentioned above, include a larger number of mounting elements. To prevent the destruction of linear load-bearing elements (columns, crossbars and L-shaped frames) it is necessary to provide special individual conditions for their transportation and installation.

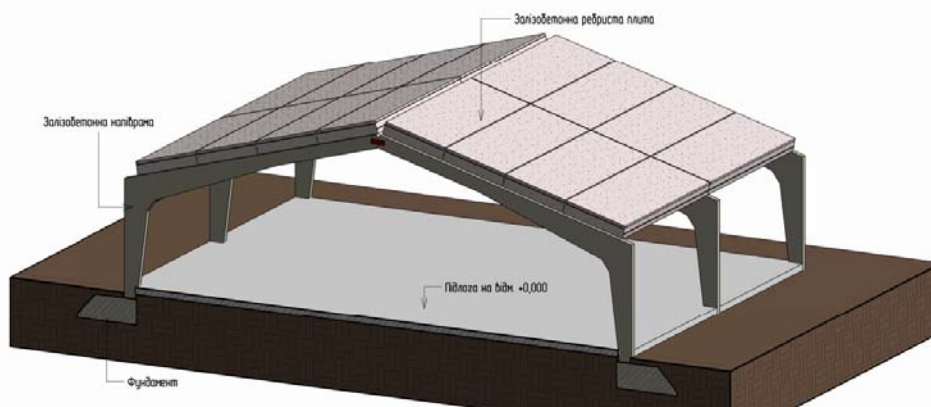


Figure 3 – Frame construction diagram of prefabricated buildings

Source: developed by the authors



Figure 4 – Examples of prefabricated reinforced concrete buildings with a frame structural scheme:
a) poultry farm; б) granary

Source: photos from internet sites

Highlighting previously unsolved parts of the general problem to which this article is devoted. Of interest for in-depth research is the influence of the roof angle on the internal forces in the roof structures of prefabricated buildings, which has a direct impact on the cross-sectional dimensions of the elements and the cost of materials for the manufacture of structures [9].

The purpose of this work is to identify the influence of the slope of the roof on the cost of materials for the manufacture of reinforced concrete ribbed panels covering prefabricated buildings wall structural scheme. A triangular reinforced concrete arch with a self-stressed steel puff was used as the coating panel (see Fig. 1). This roofing panel consists of two reinforced concrete ribbed complex half-panels, combined into a triangular arch with steel braces (see Fig. 5). The panel has embedded parts for support on wall panels, fastening of puffs, formation of a ridge knot, and also for association of panels among themselves for the purpose of formation of a uniform hard disk of a covering. The panel is transported in the form of a set of two reinforced concrete half-panels and four elements of braces [10].

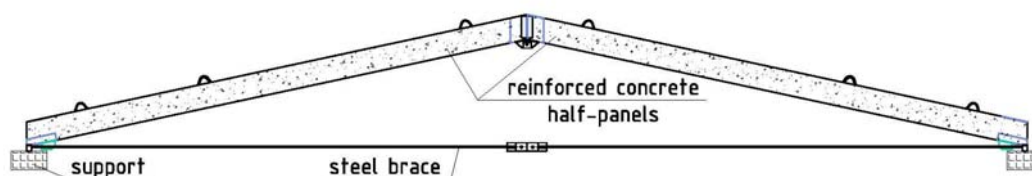


Figure 5 – General view of a reinforced concrete triangular arch with a brace

Source: developed by the authors

Presentation of the main material of the study with a full justification of the obtained scientific results. When solving this task, it is necessary to select the cross section of the elements of the reinforced concrete triangular arch with a puff with different angles of the roof slabs. In our opinion, we can distinguish the following seven main stages of design and engineering work:

1) drawing up of calculation schemes of work of a triangular reinforced concrete arch of a covering as a part of a skeleton. At this stage, determine the overall (planned and height) dimensions of the coating structure in the axes, make schemes of loading and fixing (points or sites of distribution of boundary conditions), as well as determine the nature of the connection elements (rigid or hinged connection) [11];

2) collection of loads on the structure taking into account the reliability coefficients according to the limit value of loads and load combination coefficients. Loads must be distinguished into permanent and temporary [12];

3) static calculation of the coating structure (determination of internal forces in the cross sections of structural elements). Determination of dangerous sections;

4) according to the design task to determine the calculated values of strength used in the designed triangular reinforced concrete arch with self-stressed steel tightening materials, coefficients of operating conditions of structural elements and reliability coefficients for the responsibility of the building or structure as a whole;

5) selection of sizes and shapes of cross-sections of elements of a triangular reinforced concrete arch from the conditions of strength and rigidity for the specified types of deformations, namely the compressed-bent reinforced concrete panel and the stretched brace;

6) determination of the main geometrical characteristics of the resulted sections with the chosen sizes;

7) in case of necessity of adjustment of calculation schemes of a triangular reinforced concrete arch taking into account possible shift of the central axes of section of elements, the subsequent specification of internal efforts in sections of elements and check of bearing capacity of elements (with the sizes already selected in point 5).

From the given order of designing it is obvious that each stage of design works influences others and cannot be replaced by others.

According to the above order of works, after drawing up of calculation schemes the static calculation of a triangular arch at various angles of an inclination of plates of a covering was carried out. The transformation of a triangular arch with increasing angle is shown in Figure 6.

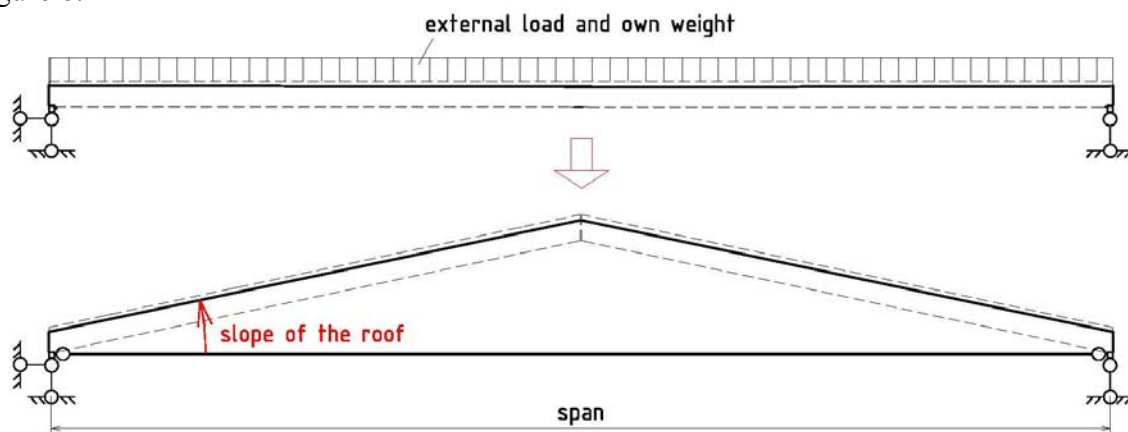


Figure 6 – Transformation of a reinforced concrete triangular arch with an increase in a roof slope angle

Source: developed by the authors

As a result of the static calculation, the internal forces in the cross sections of the elements of the reinforced concrete triangular arch with a steel brace when changing the angle of inclination from zero to almost 90 degrees. According to the obtained data for a visual comparison of the calculation results, graphs of changes in the two main internal forces depending on the angle of the roof were constructed.

Figure 7 shows a graph of the change in longitudinal force, namely the tensile force of the steel brace (blue) and the compression force of the reinforced concrete panel of the upper arch belt (yellow). It should be noted that the graph shows the maximum values of the compressive longitudinal force of the reinforced concrete panel in the cornice node. By the ridge of the building, the longitudinal force decreased and the more intense, the greater the slope of the roof.

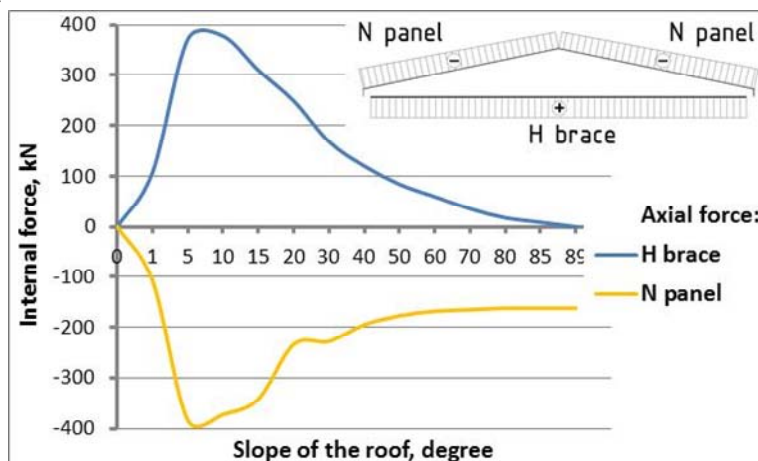


Figure 7 – Graph of change of longitudinal force in cross sections of a steel brace and the reinforced concrete panel depending on a roof slope

Source: developed by the authors

Figure 8 shows a graph of the change in bending moment depending on the angle of the roof. The graph shows two dependencies. The first dependence shows the change in the maximum bending moment, which causes tension in the lower fibers of the panel. At small angles of the roof (up to 5 degrees), this moment takes the maximum value in the middle of the span. At a larger angle, the moment takes the maximum values in the two half-panels symmetrically (see Fig. 8). The second dependence shows the change in bending moment always in the ridge of the arch. When the roof is tilted more than 15 degrees in the stretched fibers of the roof ridges are in the upper fibers of the panel.

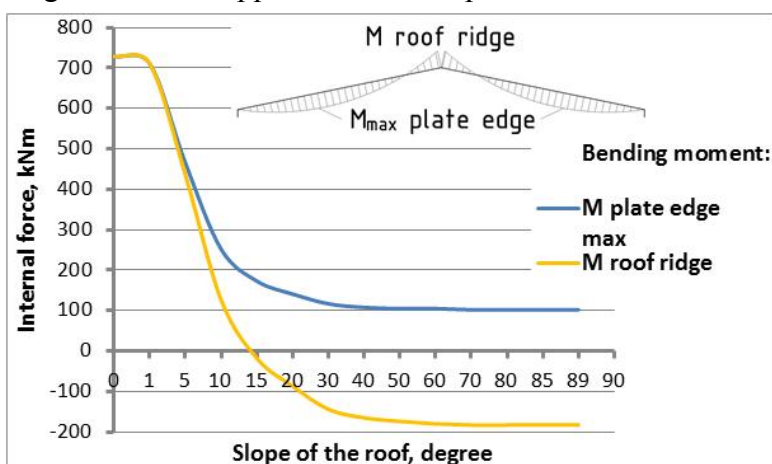


Figure 8 – Graph of change of bending moments in cross sections of the reinforced concrete panel depending on a roof slope

Source: developed by the authors

According to item 5 of the above-stated stages of carrying out design works after definition of internal efforts in sections of elements of a reinforced concrete arch with an brace, necessary diameters of cores of reinforced concrete half-panels and a steel brace were selected. The results of selection of diameters of working reinforcing bars in each edge of half-panels depending on a roof angle are shown in figure 9. At a roof angle more than 15 degrees due to tensile forces in the upper fibers of half-panels, it is necessary to install working reinforcement in this panel part. The cross-section of the concrete part (shelf thickness, cross-section and pitch of ribs, structural reinforcement) was accepted for design reasons.

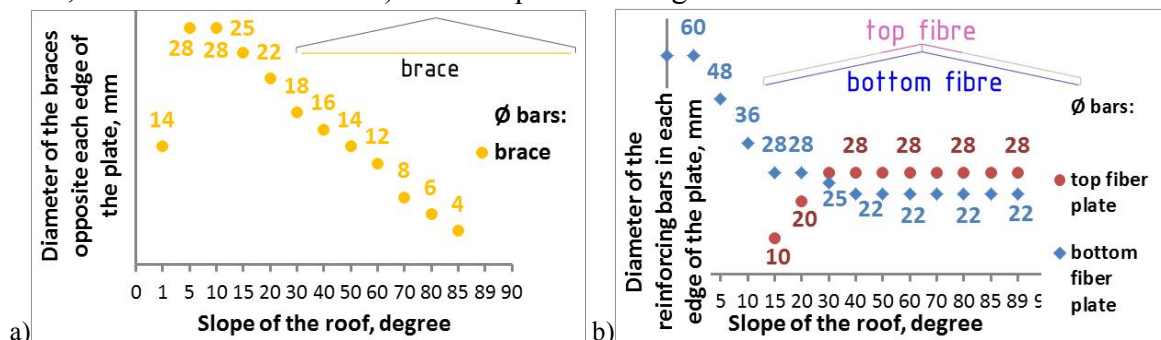


Figure 9 – Required diameters of steel bars in reinforced concrete half-panels (a) and braces (b) depending on the slope of the roof

Source: developed by the authors

The last stage of the work was to determine the cost of a reinforced concrete roof panel with a steel brace depending on the angle of the roof. To simplify the process of solving the problem, the cross section of reinforced concrete half-panels was reduced to the simplified T-section (see Fig. 10). The cost of the roof panel includes the cost of working reinforcing bars, steel brace at the bottom of the half-panels and the simplified section of concrete as of spring 2020. Figure 11 shows the results of calculating the cost of separate steel bars and concrete of the roof panel depending on the angle of the roof.

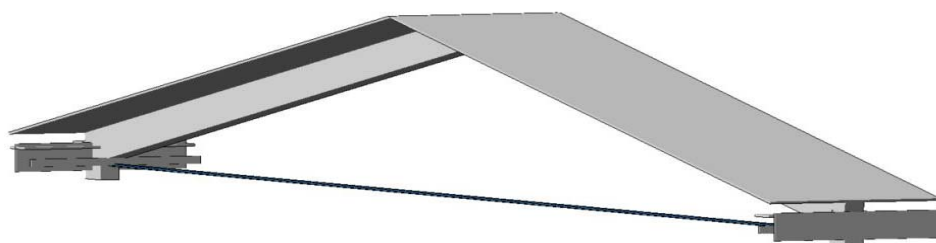


Figure 10 – Simplified section of reinforced concrete roof panel

Source: developed by the authors

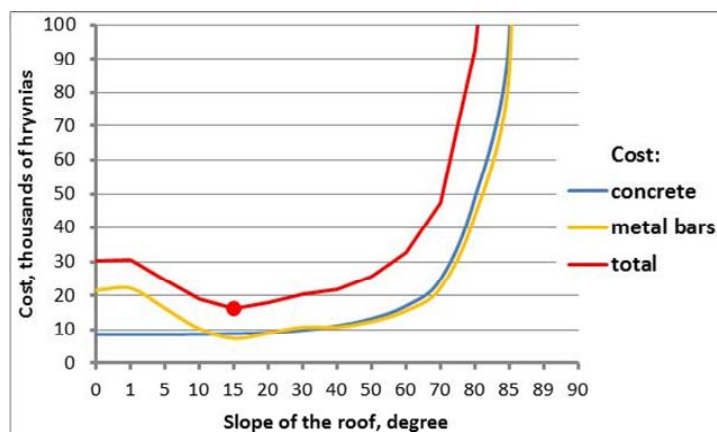


Figure 11 – Graph of change of cost of a roofing panel depending on a roof slope

Source: developed by the authors

Conclusions from this study. As can be seen from the results of the study shown in Figure 11, the optimal angle of inclination of the roof is 15 degrees. At this angle of the roof, the cost of materials (reinforcing bars and concrete), using which the strength and rigidity of the roof panel is provided, the lowest. It should be noted that this slope of the roof is also recommended when installing roofs with a small slope of profiled flooring or metal tiles. At an angle of inclination of the roof of 10-20 degrees on the schedule of costs for steel rods of reinforcement there is a descent, which is explained by the minimum bending moment in the ridge of the roof panel and the lack of tension stress in the upper fibers of the half-panels. When the angle of the roof is more than 40 degrees, the cost of concrete increases sharply, as the length of the half-panels increases.

An interesting area of further research is ways to reduce the flight moment, for example, due to the emergence of reference moments in the eaves. This reference moment can be created by increasing the shoulder of the pair of forces from the puff to the neutral axis of the compressed zone of concrete.

References

1. Semko, O.V., Hasenko, A.V., Kyrychenko, V.A. & Sirobaba, V.O. (2020). The rational parameters of the civil building steel frame with struts. *Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations*. – Part of the Lecture Notes in Civil Engineering book series (LNCE, volume 73). First Online: 14 June 2020. (pp. 235 – 243) [in English].
2. Rubanets, O. (2019). Transformation concept "Information technologies" in modern scientific discourse. *Transfer of Innovative Technologies, Vol.2, No.1*, 60-68 [in English].
3. Pavlikov, A.M., Mykytenko, S.M. & Hasenko, A.V. (2018) Effective structural system for the construction of affordable housing. *International Journal of Engineering & Technology: Publisher of International Academic Journals. Science Publishing Corporation, RAK Free Trade Zone, Vol 7, No 3.2*. 291-298. DOI: 10.14419/ijet.v7i3.2.14422 [in English].
4. Skoruk, O. (2016). Mitsnist' ta trishchynostiyykist' stalefibrobetonnykh plyt, opertykh po konturu pry povtornykh navantazhenyakh [Strength and crack resistance of reinforced concrete slabs supported on the contour under repeated loads]. *Pidvodni tekhnolohiyi: promyslova ta tsyvil'na inzheneriya – Underwater technologies: industrial and civil engineering, Vol. 03*. 83–94 [in Ukrainian].
5. Pavlikov, A.M. & Yurko, P.A. (2011). Rozv'yazannya zadach mitsnosti pozatsentrovo stysnutykh zalizobetonnykh elementiv u normal'nomu pererizi na osnovi neliniynoyi diahramy stanu betonu [Solving strength problems of eccentric compressed reinforced concrete elements in standard section basis on nonlinear concrete state diagram]. *Zbirnyk naukovykh prats' (haluzeve mashynobud., bud-vo) / Poltav. nats. tekhn. un-t im. Yuriya Kondratyuka – Collection of scientific works (branch machine-building., Building) / Poltava. nats. tech. Yuri Kondratyuk Un-t, Vol.1 (29)*. 61-65 [in Ukrainian].
6. Pershakov, V.M. (2007). *Karkasni budinki z trisharnirnih zalizobetonnih ram [Skeleton structures with three-hinged concrete frames]: [monograph]*. K.: Knyzhkove vydavnytstvo NAU [in Ukrainian].
7. Azizov T., Kochkarev D. & Galinska T. (2020). Reinforced concrete rod elements stiffness considering concrete nonlinear properties. *Lecture Notes in Civil Engineering, 47*: 1-6. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_1 [in English].
8. Hasenko, A.V., Yurko, I.A., Fenko, O.G. & Yurko, P.A. (2017). Causes of the eccentric compression reinforced concrete elements fixed joint stanchion and rafter gable frame of agricultural buildings. *The International Scientific Periodical Journal "Modern Technology and Innovative Technologies", Issue №2, Vol.2*. 126-129. DOI: 10.21893/2567-5273.2017-02-02-033 [in English].
9. Krutybich, O.V., Semko, O.V. & Hasenko, A.V. (2020). Innovatsiyni tekhnolohiyi u modelyuvanni rozrakhunkovykh skhem samonapuzhenoyi stalezalizobetonnoyi arky [Innovative technologies in modeling of calculation schemes of self-stressed reinforced concrete arch]. *Zbirnyk materialiv VI mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Transfer of Innovative Technologies 2020» – VI International Scientific and Practical Conference "Transfer of Innovative Technologies 2020"*. 38-39. DOI: 10.32347/tit2020.conf.06 [in Ukrainian].
10. Seriya 7011. *Zhelezobetonnyye sbornyye bystromontiruyemyye zdaniya s proletami 18 m [Reinforced concrete prefabricated buildings with 18 m spans]* [in Russian].
11. Cherednikov V., Voskobiinyk O. & Cherednikova O. (2017). Evaluation of the warping model for analysis of polystyrene concrete slabs with profiled steel sheeting. *Periodica Polytechnica Civil Engineering 61(3)*. 483-490 [in English].

12. Storozhenko L., Yermolenko D. & Gasii G. (2018). Investigation of the Deformation State of a Composite Cable Space Frame Structures with a Photogrammetric Method. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.2). 442-446. <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14568> [in English].

О.В. Семко, проф., д-р техн. наук, **А.В. Гасенко**, доц., канд. техн. наук, **О.Г. Фенко**, доц., канд. техн. наук

Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна

Дж Годвін Еммануель Б. Арх., докторант, доц., наук. співроб.

С.А.Р.Е. Школа архітектури, №27, село Thayaanoor, Тричі, Таміл Наду, Індія

В.В. Дарієнко, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Архітектурно-конструктивні рішення трикутної залізобетонної арки із самонапруженою сталевую затяжкою

Метою даної роботи є виявлення впливу ухилу покрівлі на витрати матеріалів для виготовлення залізобетонних ребристих панелей покриття швидкокомтованих будівель стінової конструктивної схеми. У якості панелі покриття прийняти трикутну залізобетонну арку із самонапруженою сталевую затяжкою. Така покрівельна панель складається з двох залізобетонних ребристих комплексних напівпанелей, об'єднаних у трикутну арку за допомогою сталевих затяжок.

У статті описаний вплив габаритних розмірів, а саме відношення висоти підйому до прольоту трикутної залізобетонної арки покриття, на зміну внутрішніх зусиль в її перерізах та витрат матеріалів на її виготовлення. Спочатку визначено поздовжню силу розтягу у сталевій затяжці та поздовжню силу стиску у напівпанелях. Потім визначено максимальні прольотні згинаючі моменти, а також згинаючі моменти у гребені покрівельної панелі. По отриманим значенням внутрішніх зусиль визначено необхідні діаметри робочого армування залізобетонних панелей. Підсумком проведеної роботи є визначення сумарної вартості бетону та арматурних стержнів, що необхідні для виготовлення розглядуваної покрівельної панелі.

В результаті проведеної роботи визначено, що оптимальним є кут ухилу покрівлі 15 градусів. При такому куті ухилу покрівлі витрати на матеріали (арматурні стержні та бетон), використовуючи які міцність та жорсткість покрівельної панелі є забезпеченою, найменші. Такий ухил покрівлі також є рекомендованим при влаштуванні покрівель з малим ухилом із профільованого настилу чи металеві черепиці. При куті ухилу покрівлі 10-20 градусів на графіку витрат на сталеві стержні армування відмічається впадина, що пояснюється мінімальним згинаючим моментом у гребені покрівельної панелі та відсутності розтягу у верхніх волокнах напівпанелей. При куті ухилу покрівлі більше 40 градусів різко збільшуються витрати на бетон, так як збільшується довжина напівпанелей. Напрямком подальших досліджень є шляхи зменшення прольотного моменту за рахунок виникнення опорних моментів.

трикутна залізобетонна арка покриття, самонапружена затяжка, архітектурно-конструктивні рішення

Одержано (Received) 25.06.2020

Прорецензовано (Reviewed) 26.08.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

О. А. Кислун, доц., канд. техн. наук, **Ю.М. Пархоменко**, доц., канд. техн. наук,
І.О. Скриннік, доц., канд. техн. наук, **В.В. Дарієнко**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна
e-mail: kyslun@gmail.com, parhomenkoym@ukr.net

ІТ в процесах створення та експлуатації об'єктів будівництва

У статті представлено результати дослідження ІТ в процесах створення та експлуатації об'єктів будівництва. Подано огляд засобів комплексної автоматизації обліку в Україні. Проведено огляд ринку засобів автоматизованого проектування для архітектури та будівництва, наведено їх характеристики. Представлено огляд систем комплексного керування організацією ринку України.
системи автоматизованого проектування, системи комплексного керування організацією, системи керування будівлею

О. А. Кислун, доц., канд. техн. наук, **Ю.М. Пархоменко**, доц., канд. техн. наук, **І.А. Скриннік**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Дарієнко**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

ИТ в процессах создания та эксплуатации объектов строительства

В статье представлены результаты исследований ИТ в процессах создания и эксплуатации объектов строительства. Подан обзор средств комплексной автоматизации учета в Украине. Проведен обзор рынка средств автоматизированного проектирования для архитектуры и строительства, наведены их характеристики. Представлен обзор систем комплексного управления организацией рынка Украины.
системы автоматизированного проектирования, системы комплексного управления организацией, системы управления сооружением

Постановка проблеми. Область застосування інформаційних технологій постійно розширюється, а зростаючі потреби постійно вимагають відслідковувати нові впровадження та відшукувати ефективні інновації. Обізнаність надає конкурентну перевагу, як для розробника так і для споживача. Так виникає завдання моніторингу ІТ, що застосовуються в процесі створення та експлуатації об'єктів будівництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний попит на інформаційні технології в сфері економіки, будівництва та експлуатації будівель і споруд обумовлює розроблення різноманітних програмних продуктів, що обслуговують ці сфери. Існує широкий набір програмних продуктів, зорієнтованих на секторальне використання [1], та відповідно – значна кількість перелічених нижче публікацій про призначення й можливості цих програмних продуктів. Актуальним завданням, необхідним для широкого впровадження сучасних ІТ у сферу будівництва, залишається систематизація та порівняльний аналіз наявних програмних продуктів.

Постановка завдання. Метою даної роботи є огляд, аналіз, класифікація та систематизація сучасного програмного забезпечення сфери будівництва та експлуатації будівель і споруд.

Викладення основного матеріалу. Для забезпечення конкурентоздатності розробок програмних продуктів, як для будівельної і житлово-експлуатаційної галузей, так і для програмних продуктів в цілому, вимагається системний аналіз сфери застосування. Для оцінки потреби в програмному забезпеченні та інших супутніх послуг, пов'язаних з використанням ІТ суб'єктами будівельної та житлово-експлуатаційної галузей, дослідимо ситуації на ринку інформаційних продуктів та послуг даних галузей.

Загалом будівництво, як створення споруди деякою організацією, являє собою певну сукупність процесів, аналогічно представляється й подальша експлуатація цієї споруди. Використання ІТ на даному рівні розвитку вітчизняного виробництва зводиться до рівня автоматизації окремих технологічних процесів з деякою їх частковою інтеграцією. В залежності від процесів автоматизації, тобто від призначення, програмне забезпечення, що використовується, за виключенням системного програмного забезпечення, поділяється на:

- програмне забезпечення загального призначення;
- спеціалізовані бухгалтерські програми та інші системи облікового характеру;
- САПР - системи автоматизованого проектування;
- ERP - системи комплексного керування організацією;
- системи керування будівлею (BMS - Building Management System);
- системи диспетчеризації.

Як правило, людська діяльність супроводжується породженням документів загального призначення, простими розрахунковими операціями, пошуком інформації, комунікаційним обміном та іншими діями за допомогою програмного забезпечення загального призначення, до якого входять текстові редактори, табличні процесори, браузері, поштові програми, системи документообігу, електронні каталоги будівельних норм та нормативних документів тощо. Зазвичай, перевага на боці найбільш поширених, які тривалий час займають провідні місця на ринку ІТ, до яких слід віднести Microsoft з її бестселерами.

На ринку ІТ України в будівельній сфері наявні розробки комплексної автоматизації обліку ІС Підприємство з конфігурацією для управління будівельною організацією в Україні, Галактика з спеціальним рішенням Управління будівництвом, BAS Будівництво, для автоматизації обліку експлуатації споруд в Україні ще можуть використовуватись розробки Парус, ІС-ПРО та інші. Функціонал програм забезпечує фінансову звітність будівельних та житлово-експлуатаційних організацій в законодавчій полі Україні й не має суттєвих відмін від програми до програми [2, 3, 4, 5, 6].

Інший клас облікових програм - це програми для формування проектно-кошторисної і іншої документації пов'язаної з організацією виробництва (розрахунку та обліку ціни виконаних робіт, використаних матеріалів, транспортних затрат тощо). Будівельними організаціями України використовуються наступні програмні засоби: АВК (розробник НПФ АВК), Експерт-Кошторис (розробник ExpertSoft), Будівельні технології - Кошторис (розробник Computer Logic Group), АС (розробник ІНКОМСЕРВІС), АКР (розробники ТОВ СТК та ПРАТ Бізнес Автоматика), Тендер-Контракт (розробник ДНДІАСБ) та інші [7]

Розглянемо САПР, які призначені для комплексної автоматизації процесу проектування (підготовці проектної документації, створенні креслень та 3D-моделей) виключно до будівельної сфери.

Сімейство рішень компанії Autodesk для архітектурно-будівельної галузі представлено такими розробками, як Autodesk Revit, AutoCAD Architecture, AutoCAD MEP, AutoCAD Structural Detailing, AutoCAD Civil 3D, AutoCAD Map 3D, Autodesk Ecotect Analysis, Autodesk 3ds Max Design, Autodesk NavisWorks. Вони надають можливість проектувати будівлі з урахуванням інженерних комунікацій, одержувати рішення геодезистів та картографів, проводити оцінку екологічної доцільності архітектурних проектів, формувати технічну документацію, створювати візуалізацію проектів в навколишньому середовищі та багато іншого (компанія є одним з лідерів на ринку САД-систем) [8].

Розробкою Graphisoft є САПР ArchiCAD для архітекторів, призначена для проектування архітектурно-будівельних конструкцій, ландшафту, меблів, тощо. На

даний момент вважається, що ArchiCAD є однією з кращих систем архітектурно-будівельного проектування та розробки документації за технологією IBM [9].

Розробка Nemetschek Allplan - універсальний засіб для інформаційного моделювання споруд, який надає архітекторам, інженерам і архітектурним фірмам повний контроль всіх фаз життєвого циклу будівельного проекту [10].

CAD ATHENA - розробка CAD-PLAN GmbH спеціалізована під потреби проектування фасадів та заточена під чотири основні напрямки: проектування в середовищі 2D для КМ та КМД креслень; проектування в середовищі 3D для розробки складних геометричних конструкцій таких, як світлопрозорі та/або похилі полігональні фасади, піраміди, кривлі, еркери, інші конструктивні елементи; створення розгорток; інжиніринговий розрахунок статичної та будівельної фізики для знаходження центру ваги, моментів інерції, опору, прогину, теплоізоляції/теплопровідності, звукоізоляції тощо [11].

Bentley Systems Inc розроблено програмний комплекс Bentley STAAD.Pro для розрахунку та аналізу будівельних конструкцій на міцність. Комплекс може використовуватись для проектування висотних та невисотних будівель, підземних водогонів, нафтохімічних і нафтопереробних заводів, тунелів, мостів, фундаментів із металевих конструкцій, бетону і залізобетону, дерева, сталевих профілів та іншого. Загалом компанія створила цілий ряд CAD для проектування та є одним з світових лідерів в області комплексних рішень для підтримки інфраструктури [12].

AVEVA представляє VOCAD-3D - одну з перших 3D-CAD програм для проектування металевих і дерев'яних конструкцій. Сам комплекс VOCAD спеціально розроблено як BIM для архітектурного проектування і будівництва та ідеально підходить для розробки виробничих підприємств [13].

Компанія Bricsys розробила САПР BricsCAD, як для машинобудівного проектування, так і для BIM на базі однієї САПР платформи і стандартного формату DWG будь то Windows, Mac OS или Linux. В BricsCad забезпечено сумісність з AutoCAD та надано можливість інтеграції з іншими сторонніми розробниками програмного забезпечення [14].

Компанія YuanFang Software (YfCAD), що входить до міжнародного консорціуму IntelliCAD Technology Consortium, розробила VtoCAD, аналог AutoCAD, який оснащений тими ж ключовими функціями, проте коштує на порядок дешевше та може широко використовуватись у всіх сферах, в тому числі і в архітектурі [15].

ZIEGLER-Informatics GmbH є розробником CADdy, інструменти якої дають можливість розв'язувати задачі в таких напрямках, як архітектура, будівництво, геодезія, картографія, міське планування тощо [16].

CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application компанії Dassault Systemes) - система САПР технологічної підготовки виробництва та інженерного аналізу, одним з основних напрямків використання якої є будівництво зводів [17].

Продукт DraftSight компанії Dassault Systemes - це функціональне 2D і 3D CAD рішення для архітекторів, інженерів та будівельників, призначене для окремих користувачів та компаній, яким необхідна САПР професійного класу з інструментами підвищеної ефективності і функціями налагодження за допомогою API [18].

Компанія Last Softwar розробила Google SketchUp простий інструмент для 3D-моделювання, який надає можливість швидко та якісно проводити різного рівня складності побудови. Будови та споруди, меблі та інтер'єри проектуються за лічені секунди [19].

Компанія GRAITEC представила комплексне рішення GRAITEC Advance, що складається з трьох компонентів: Advance Concrete (проектування залізобетонних конструкцій), Advance Design (статичний та динамічний аналіз 2D- і 3D-конструкцій),

що надає можливість проводити нелінійні розрахунки, перевірку та підбір будівельних конструкцій, та містить генератор кліматичних навантажень), Advance Steel (програмний комплекс BIM-технологій, який надає можливість створення КМ и КМД креслень) [20].

Програма GstarCAD - це розробка компанії Great Star Software Development Co. Ltd, що являє собою САПР-платформу для багатьох сфер, у тому числі в архітектурі, інженерному проектуванні, будівництві. В своєму арсеналі має в наявності інструменти для 2D и 3D проектування, підтримує роботу з кресленнями формату DWG/DXF [21].

Розробка MagiCAD компанії MagiCAD Group - це додаток до AutoCAD MEP та Revit MEP, що направлений на проектування внутрішніх інженерних комунікацій: вентиляції, кондиціювання, опалення, водопостачання та водовідведення, водяного пожежогасіння, тепло-холодопостачання, електричних систем. MagiCAD містить бібліотеки одиниць обладнання більшості виробників, споряджені теплотехнічними, гідравлічними акустичними характеристиками, креслярський інструмент та розрахункове ядро [22].

MicroStation - це ще одна розробка Bentley Systems призначена для дво- та тривимірного проектування архітектурної та інженерної галузі, що оснащена технологією BIM, яка забезпечує практично необмежені можливості для проектувальників та конструкторів [23].

Програмний продукт ProgeCAD розроблений progeSOFT на базі платформи IntelliCAD в стилі та з функціоналом AutoCAD з базовими форматами DWG і DXF. ProgeCAD оснащено модулем EasyArch інструментом автоматизації архітектурного проектування в 2D/3D режимах для підвищення продуктивності проектування та реконструкції будівель, споруд, інтер'єрів [24].

Народжена в Південній Африці (розробка Хендрика Вермоотена та Хайна Ооостузена) TurboCAD являє собою професійний додаток для 2D та 3D проектування, що має величезний набір інструментів. На фоні Autodesk, Bentley Systems та інших, TurboCAD конкурентоспроможна, використовується інженерами та архітекторами, фахівцями та аматорами [25].

ZWCAD Software Co. Ltd є розробником ZWCAD САПР для архітекторів, будівельників, інженерів та інших спеціалістів, що працюють з CAD/CAM технологіями. Даний альтернативний пакет з наявним інтерфейсом та функціоналом, притаманним AutoCAD, викликає особливу зацікавленість користувачів AutoCAD. Така схожість програм надає можливість майже до миттєвого освоєння користувачами AutoCAD ZWCAD [26].

SCAD Office (розробник SCAD Soft) - система для інженерного проектування, до складу якої входять: розрахунковий комплекс для аналізу конструкцій, орієнтований на проектування будівель та споруд; програми розрахунку геометричних характеристик перерізів, навантажень; програми для розрахунку та перевірки конструкцій в відповідності до вимог нормативних документів (СНіП, СП, ДБН), розрахунку елементів основ та фундаментів; програми для розробки конструкторської документації; електронні довідники [27].

Базовий КОМПАС (розробник АСКОН) має в наявності КОМПАС–Будівельник, основна задача якого полягає в створенні робочої документації (креслення, схеми, розрахунково-пояснювальні записки). Програма автоматизує операції по створенню та оформленню документації. Інструменти програми виключно орієнтовано на нормативи оформлення будівельних креслень згідно стандартів СПДБ [28].

SolidWorks (розробник SolidWorks Corporation) - система автоматизованого проектування, інженерного аналізу та підготовки виробництва виробів різноманітної складності та призначення. Традиційно вважається, що такі системи призначені в основному для машинобудівного проектування, проте реалізовані проекти свідчать про

те, що функціонал SolidWorks підходить і для розробки складних проектів в області архітектури та будівництва. Розроблені моделі складаються з сукупності твердо тільних об'єктів [29].

МОНОМАХ (розробник LigaLand) призначений для розрахунку та проектування конструкцій будівель з монолітного залізобетону, кам'яних, армокам'яних конструкцій, а також будівель з цегляними стінами [30].

Аркон (розробник Еврософт) призначена для проектування дизайну та тривимірної візуалізації [31].

На думку дослідників, топ 10 ERP систем ринку ІТ України представляють: OneBox, 1C:ERP, MS Dynamics ERP, Perfectum, IT-Enterprise, Парус-Предприятие, BAS ERP, DeloPro, HansaWorld, Галактика ERP [32]. Зауважимо, що на даному етапі економічного розвитку в будівельній сфері ERP систем не знайшли значного поширення в повній мірі свого використання, а отже, й ефективності застосування.

На думку дослідників, топ 10 світових компаній, що займаються системами керування будівлями: Cisco, Honeywel, Johnson Controls, Schneider Electric, United Technologies, Emerson Electric, Siemens, Bajaj Electricals, Bosch, Building Logix [33]. Зауважимо, що на теперішній час в Україні системи керування будівлями не знайшли значного поширення.

Процес будівництва потребує частого та швидкого механізму оперативного регулювання ходом виробництва. Цією умовою визначається необхідність та значення диспетчерського керування. Сутність диспетчерського управління полягає в тому, що весь хід будівництва, переміщення працівників, машин, матеріалів та виробів оперативно контролюється спеціально уповноваженими людьми, які користуються для цієї цілі спеціальними технічними засобами керування та зв'язку. Тож система диспетчеризації - це набір спеціальних технічних засобів оперативного контролю та дистанційного керування в режимі реального часу.

Висновки. В результаті аналізу сучасних ІТ в процесах створення та експлуатації об'єктів будівництва виявлено, що використання ІТ на даному рівні розвитку вітчизняного виробництва зводиться до рівня автоматизації окремих технологічних процесів з деякою їх частковою інтеграцією. Програмне забезпечення, що використовується, загалом можна поділити на: програмне забезпечення загального призначення; спеціалізовані бухгалтерські програми та інші системи облікового характеру; системи автоматизованого проектування; системи комплексного керування організацією; системи керування будівлею; системи диспетчеризації. Так звані спеціалізовані бухгалтерські програми, що представлені на ринку України в будівельній сфері, ті ж, що й для інших галузей економіки, наявні лише певні адаптації для врахування специфіки сфери застосування. Напрямок автоматизації організації будівельного виробництва покриває досить широкий ряд програм формування проектно-кошторисної та іншої розрахунково-облікової документації, характерною особливістю яких є обов'язкове виконання державних будівельних норм України. Системи автоматизованого проектування для будівельної галузі представлені великою кількістю реалізованих рішень, як для масового виробництва так і для одиничного використання, нестачі чи якогось обмеження в інструментарії для проектування не спостерігається. На даному етапі економічного розвитку України в будівельній сфері ERP системи, ще не знайшли значного поширення. Чекають свого часу на поширення Україною і системи керування будівлями.

Список літератури

1. Хазін В.Й., Хазін С. В. Досвід автоматизації проектних робіт у будівельній галузі . *Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Сер. :*

- Галузеве машинобудування, будівництво.* 2010. Вип. 2. С. 152-155. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znrgmb_2010_2_28 (дата звернення: 15.10.2020)
2. Управління будівельною організацією. *TQM SYSTEM*: веб-сайт. URL: <https://tqm.com.ua/sectors/1c-priedpriatiie-8-upravleniie-stroitielnoi-orghanizatsiiei-dlia-ukrainy> (дата звернення: 15.10.2020)
 3. Управління будівництво. *Корпорації Галактика*: веб-сайт. URL: <http://galaktika.ua/blog/upravlinnya-budivnictvom.html?lang=uk> (дата звернення: 16.10.2020)
 4. Рішення BAS. *Bas-soft*: веб-сайт. URL: <https://www.bas-soft.eu/> (дата звернення: 15.10.2020)
 5. Управління державними (муниципальними) спорудами. *ПАРУС*: веб-сайт. URL: <https://parus.com/modules/parus-byudzheth/upravlenie-gosudarstvennymi-municipalnymi-zadaniyami/> (дата звернення: 15.10.2020)
 6. Модулі системи. *ICT ЦЕНТР*: веб-сайт. URL: <https://ispro.com.ua/> (дата звернення: 08.10.2020)
 7. Проектирование строительных конструкций / Общие вопросы строительного проектирования / Средства автоматизации проектных работ (САПР). *ICT ЦЕНТР*: веб-сайт. URL: <https://perekos.net/sections/view/438> (дата звернення: 16.10.2020)
 8. Graphisoft ArchiCAD. URL: <https://itpro.ua/product/graphisoft-archicad/?tab=description> (дата звернення: 14.10.2020)
 9. Обзор архитектуры Allplan. *FinancesOnline Reviews for Business*: веб-сайт. URL: <https://reviews.financesonline.com/p/allplan-architecture/> (дата звернення: 15.10.2020)
 10. *CAD-PLAN*: веб-сайт. URL: <https://cad-plan.com/de/> (дата звернення: 15.10.2020)
 11. *Bentley Systems Inc. Bentley*: веб-сайт. URL: <https://www.bentley.com/en> (дата звернення: 15.10.2020)
 12. *AVEVA*: веб-сайт. URL: <https://www.aveva.com/en/> (дата звернення: 15.10.2020)
 13. *BRICSCAD*: веб-сайт. URL: <https://briscad-ukraine.com.ua/briscad/briscad-about.html> (дата звернення: 15.10.2020)
 14. *BtoCAD. YFCAD*: веб-сайт. URL: http://www.yfcad.com/product_feature.php?pname=BtoCAD (дата звернення: 15.10.2020)
 15. *CADDIE*: веб-сайт. URL: <https://www.caddiesoftware.com/> (дата звернення: 15.10.2020)
 16. *САПР CATIA*: веб-сайт. URL: <http://bourabai.kz/cm/catia.htm> (дата звернення: 15.10.2020)
 17. *INTERSED*: веб-сайт. URL: <https://intersed.kiev.ua/draftsigh> (дата звернення: 15.10.2020)
 18. *Sketchup. Architector*: веб-сайт. URL: <http://www.architector.dp.ua/sketchup/5/4/Sketchup---nemnogo-programme.htm> (дата звернення: 15.10.2020)
 19. *GRAITEC Advance. CSoft*: веб-сайт. URL: <https://www.csoft.ru/catalog/soft/graitec-advance/graitec-advance.html> (дата звернення: 15.10.2020)
 20. *CESDB.COM*: веб-сайт. URL: <https://www.cesdb.com/gstarcad.html> (дата звернення: 15.10.2020)
 21. *MagiCAD*: веб-сайт. URL: <https://www.magicad.com/en/> (дата звернення: 15.10.2020)
 22. *MicroStation. Design and document the world's infrastructure*. *Bentley*: веб-сайт. URL: <https://www.bentley.com/en/products/brands/microstation> (дата звернення: 15.10.2020)
 23. *PROGESOFT*: веб-сайт. URL: <https://www.progesoft.com/products> (дата звернення: 15.10.2020)
 24. Обзоры TurboCAD и сведения о продукте. *G2*: веб-сайт. URL: <https://www.g2.com/products/turbocad/reviews> (дата звернення: 15.10.2020)
 25. *ZWSOFT*: веб-сайт. URL: <https://www.zwsoft.ru/> (дата звернення: 15.10.2020)
 26. *ZSCAD Office*: веб-сайт. URL: <https://scadsoft.com/> (дата звернення: 15.10.2020)
 27. Сторінка «КОМПАС-Будівельник». *Softkey*: веб-сайт. URL: https://www.softkey.ua/ua/catalog/sapr/kompas-stroitel/#detail_text (дата звернення: 15.10.2020)
 28. *SolidWorks в архитектуре и строительстве. СФПР и графика*: веб-сайт. URL: <https://sapr.ru/article/7830#Заклучение> (дата звернення: 15.10.2020)
 29. *МОНОМАХ-САПР. ЛИРА СЕРВИС*: веб-сайт. URL: <https://rflira.ru/products/monomah/> (дата звернення: 15.10.2020)
 30. Програма Аркон+ 7. *Студия Компас*: веб-сайт. URL: http://www.steps.ru/article/programma_arkon_7/ (дата звернення: 15.10.2020)
 31. Топ 10 ERP систем для Украины. *LiveBusiness*: веб-сайт. URL: <https://www.livebusiness.com.ua/tools/erp/> (дата звернення: 15.10.2020)
 32. Top 10 Building Management System Companies in the World 2019. *Technavio Blog*: веб-сайт. URL: <https://blog.technavio.com/blog/top-10-building-management-system-companies-worldwide> (дата звернення: 15.10.2020)

References

1. Khazin V.Y. & Khazin S.V. (2010). Dosvid avtomatyzatsii proektnykh robit u budivelnii haluzi [Experience in automation of design work in the construction industry]. *Zbirnyk naukovykh prats Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu im. Yu. Kondratiuka. Ser.: Haluzeve*

- mashynobuduvannia, budivnytstvo – Collection of scientific works of Poltava National Technical University. Yu. Kondratyuk. Ser. : Industrial engineering, construction, Vol. 2, 152-155. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpgmb_2010_2_28 [in Ukrainian].*
2. Upravlinnia budivelnou orhanizatsiieu [Construction organization management]. *tqm.com.ua*. Retrieved from <https://tqm.com.ua/sectors/1c-priedpriatiie-8-upravlieniie-stroitelnoi-orhanizatsiiei-dlia-ukrainy> [in Ukrainian].
 3. Upravlinnia budivnytstvom [Construction management]. *galaktika.ua*. Retrieved from <http://galaktika.ua/blog/upravlinnya-budivnictvom.html?lang=uk> [in Ukrainian].
 4. Rishennia BAS [BAS solution]. *bas-soft.eu*. Retrieved from <https://www.bas-soft.eu/>
 5. Upravlinnia derzhavnymy (munitsypalnymy) sporudamy [Management of state (municipal) buildings]. *parus.com*. Retrieved from <https://parus.com/modules/parus-byudzheth/upravlenie-gosudarstvennymi-municipalnymi-zadaniyami/> [in Ukrainian].
 6. Moduli systemy [System modules]. *ispro.com.ua*. Retrieved from <https://ispro.com.ua/> [in Ukrainian].
 7. Proektirovanie stroitel'nyh konstrukcij / Obshhie voprosy stroitel'nogo proektirovanija / Sredstva avtomatizacii proektnyh rabot (SAPR) [Design of building structures / General questions of building design / Automation of design work (CAD)]. *perekos.net*. Retrieved from <https://perekos.net/sections/view/438> [in Russian].
 8. Graphisoft ArchiCAD. *itpro.ua*. Retrieved from <https://itpro.ua/product/graphisoft-archicad/?tab=description> [in Ukrainian].
 9. Обзор архитектуры Allplan [Allplan architecture overview]. *reviews.financesonline.com*. Retrieved from <https://reviews.financesonline.com/p/allplan-architecture/> [in Russian].
 10. CAD-PLAN. *cad-plan.com*. Retrieved from <https://cad-plan.com/de/> [in English].
 11. Bentley Systems Inc. *bentley.com*. Retrieved from <https://www.bentley.com/en> [in English].
 12. AVEVA. *www.aveva.com*. Retrieved from <https://www.aveva.com/en/> [in English].
 13. BRICSCAD. *briscad-ukraine.com.ua*. Retrieved from <https://briscad-ukraine.com.ua/briscad/briscad-about.html> [in Ukrainian].
 14. YFCAD. *www.yfcad.com*. Retrieved from http://www.yfcad.com/product_feature.php?pname=BtoCAD [in English].
 15. CADDIE. *www.caddiesoftware.com*. Retrieved from <https://www.caddiesoftware.com/> [in English].
 16. SAPR CATIA. *bourabai.kz*. Retrieved from <http://bourabai.kz/cm/catia.htm> [in English].
 17. INTERSED. *intersed.kiev.ua*. Retrieved from <https://intersed.kiev.ua/draftsight> [in Ukrainian].
 18. Sketchup. *www.architector.dp.ua*. Retrieved from <http://www.architector.dp.ua/sketchup/5/4/Sketchup---nemnogo-o-programme.htm> [in Ukrainian].
 19. GRAITEC Advance. *www.csoft.ru*. Retrieved from <https://www.csoft.ru/catalog/soft/graitec-advance/graitec-advance.html> [in Russian].
 20. CESDB.COM. *www.cesdb.com*. Retrieved from <https://www.cesdb.com/gstarcad.html> [in Ukrainian].
 21. MagiCAD. *www.magicad.com*. Retrieved from <https://www.magicad.com/en/> [in English].
 22. MicroStation. *bentley.com*. Retrieved from <https://www.bentley.com/en/products/brands/microstation> [in English].
 23. PROGESOFT. *www.progesoft.com*. Retrieved from: <https://www.progesoft.com/products> [in English].
 24. Obzory TurboCAD i svedenija o produkte [TurboCAD Reviews and Product Information.]. *www.g2.com*. Retrieved from <https://www.g2.com/products/turbocad/reviews> [in Russian].
 25. ZWSOFT. *www.zwsoft.ru*. Retrieved from <https://www.zwsoft.ru/> [in Russian].
 26. ZSCAD Office. *scadsoft.com*. Retrieved from <https://scadsoft.com/> [in English].
 27. KOMPAS-Budivelnik. *www.softkey.ua*. Retrieved from https://www.softkey.ua/ua/catalog/sapr/kompas-stroitel/#detail_text [in Ukrainian].
 28. SolidWorks v arhitekture i stroitel'stve [SolidWorks in architecture and construction]. *sapr.ru*. Retrieved from <https://sapr.ru/article/7830#Zakliuchenye> [in Russian].
 29. MONOMAKh-SAPR. *rflira.ru*. Retrieved from <https://rflira.ru/products/monomah/> [in Russian].
 30. Prohramma Arkon+ 7. *www.steps.ru*. Retrieved from http://www.steps.ru/article/programma_arkon_7/ [in Russian].
 31. Top 10 ERP system dlia Ukrainy [Top 10 ERP systems for Ukraine]. *www.livebusiness.com.ua*. Retrieved from <https://www.livebusiness.com.ua/tools/erp/> [in Ukrainian].
 32. Top 10 Building Management System Companies in the World 2019. *blog.technavio.com*. Retrieved from <https://blog.technavio.com/blog/top-10-building-management-system-companies-worldwide> [in English].

Oleh Kyslun, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Yuriy Parhomenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Ivan Skrynnik, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Viktor Dariienko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

IT in the Processes of Creation and Operation of Construction Objects

The article presents the results of IT research in the processes of creation and operation of construction projects. An overview of the means of complex accounting automation in Ukraine is given. An overview of the market of computer-aided design tools for architecture and construction is given also their characteristics are given. An overview of integrated market management systems in Ukraine is presented.

The field of application of information technologies is constantly expanding, and growing constantly require monitoring of new implementations and search for effective innovations. Awareness provides a competitive advantage for both the developer and the consumer. Thus, the task of IT monitoring arises, and in the presence of a common area of interest, a team of like-minded people faces the problem of IT research in the processes of creation and operation of construction projects.

IT in the process of creating and operating construction projects is used in all life cycles of the latter. The software that serves these processes is diverse and mostly disparate and is a set of software products aimed at sectoral use [1]. The issue of introduction of modern IT in this area is relevant and there is a need for development by specialists, which requires their study.

The software used can generally be divided into: general purpose software; specialized accounting programs and other accounting systems; computer-aided design systems; integrated management systems of the organization; building management systems; scheduling systems. The so-called specialized accounting programs and accounting systems presented on the Ukrainian market in the construction sector are the same as for other sectors of the economy, there are only certain adaptations to take into account the specifics of the scope. At this stage of economic development of Ukraine in the construction industry ERP systems have not yet become widespread. Building management systems are also waiting to be expanded in Ukraine.

computer-aided design systems, integrated organization management systems, construction management systems

Одержано (Received) 15.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 17.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

АГРОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 632.936

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).226-240](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).226-240)

В.І. Крутякова, канд. екон. наук, **В.М. Бельченко**, канд. техн. наук, **Б.М. Шейкін**
*Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН України, смт. Хлібодарське,
Біляївський р-н, Одеська обл., Україна*
e-mail: Ivalentyana.krutyakova@gmail.com, belchenkovm@gmail.com, bsheykin@gmail.com

В.М. Булгаков, академік НААНУ, проф., д-р техн. наук, **І.В. Головач**, проф., д-р техн. наук
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна
e-mail: vbulgakov@meta.ua

М.О. Свірень, проф., д-р техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Шляхи розвитку промисловості з виробництва біологічних засобів захисту рослин в Україні

Проблема промислового виробництва біологічних засобів захисту рослин в Україні є важливою та актуальною. Метою даного дослідження є визначення принципів інноваційних підходів у виробництві засобів захисту рослин на основі мікробіопрепаратів та ентомофагів і запропонувати організаційну структуру виробництва цих засобів в Україні. Були використані методи теоретичного узагальнення, дослідження у прикладних мікробіології та ентомології, аналізу та синтезу. Наведені розроблені ІТІ «Біотехніка» НААН основні технологічні і технічні методи та устаткування для виробництва на підприємствах різного рівня біологічних засобів захисту рослин (БЗЗР) та їх застосування у агроценозах, запропонована загальна структура системи біологічного захисту рослин в Україні. Акцентована увага на конкретних технологіях та устаткуванні для виробництва мікробіологічних препаратів різного масштабу: бактеріальних, грибних, вірусних, використанні нематод. Приділена увага виробництву ентомологічних препаратів для захисту рослин від шкідників. Запропоновані наземні способи внесення БЗЗР в агроценози та з застосуванням авіації. Запропоновані інноваційні підходи розроблення, створення та використання БЗЗР в Україні, спираючись на систему біовиробництва цих засобів, дадуть можливість значно збільшити їх використання у захисті рослин в органічному виробництві та долю в інтегрованому захисті рослин.

інновація, система виробництв, біологічні засоби захисту, мікробіологія, ентомологія, устаткування, технології

В.И. Крутякова, канд. экон. наук, **В.М. Бельченко**, канд. техн. наук, **Б. Шейкин**

Инженерно-технологический институт «Биотехника» НААН Украины, пгт. Хлебодарское, Беляевский р-н, Одесская обл., Украина

В.М. Булгаков, академик НААН Украины, проф., д-р техн. наук, **И. Головач**, проф., д-р техн. наук
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина

Н.А. Свирень, проф., д-р техн. наук

Центральноукраинский национальный технический университет, М. Кропивницкого, Украина

Пути развития промышленности по производству биологических средств защиты растений на Украине

Проблема промышленного производства биологических средств защиты растений на Украине является важной и актуальной. Целью данного исследования является определение принципов инновационных подходов в производстве средств защиты растений на основе микробиопрепаратов и энтомофагов, и предложить организационную структуру производства этих средств на Украине. Были использованы методы теоретического обобщения, исследования в прикладных микробиологии и энтомологии, анализа и синтеза. Приведенные разработаны ИТИ «Биотехника» НААН основные технологические и технические методы и оборудование для производства на предприятиях различного

уровня биологических средств защиты растений (БЗР) и их применение в агроценозах, предложена общая структура системы биологической защиты растений в Украине. Акцентировано внимание на конкретных технологиях и оборудовании для производства микробиологических препаратов различного масштаба: бактериальных, грибных, вирусных, использовании нематод. Уделено внимание производству энтомологических препаратов для защиты растений от вредителей. Предложенные наземные способы внесения БЗР в агроценозы и с применением авиации. Предложенные инновационные подходы разработки, создания и использования БЗР в Украине, опираясь на систему биопроизводства этих средств, позволят значительно увеличить их использование для защиты растений в органическом производстве и долю в интегрированной защите растений.

инновация, система производств, биологические средства защиты, микробиология, энтомология, оборудование, технологии

Постановка проблеми. Системними аналітично-прогнозними дослідженнями ІТІ «Біотехніка» визначені стан і тенденції розвитку виробництва біологічних засобів захисту рослин та інших засобів біологізації землеробства в Україні за період з 2011 р. по 2018 р. Біологічний метод захисту рослин має значні перспективи в закритому і відкритому ґрунті і не має альтернативи в організації органічного (екологічного) землеробства. Задоволення потреби сільського господарства в біологічних засобах захисту рослин передбачається шляхом відродження і розвитку мережі біофабрик та біолабораторій агропромислового комплексу.

Реалізація програми потребує також формування вітчизняної законодавчої і нормативно-правової бази біологізації захисту рослин і землеробства у відповідності з вимогами чинного законодавства. Наукові, методичні та проектні засади програми розглядалися і були схвалені Міжвідомчою науковою Радою Національної академії наук України і Національної академії аграрних наук України з проблем АПК та Президією НААН України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Україна, на відміну від усіх інших європейських країн, лише в 2011 р., із запізненням на 10–15 років спромоглася прийняти Закон України «Про органічне сільськогосподарське виробництво» і залишається єдиною на Європейському просторі державою, в якій практично відсутня нормативно-правова база ведення біологічного землеробства і виробництва сільськогосподарської продукції і продовольства вищої екологічної якості.

В концепції розвитку виробництва та формування ринку засобів біологізації землеробства в Україні, схваленій Національною академією аграрних наук України, доведена екологічна, соціальна, економічна, а також політична доцільність і можливість відновлення докризового рівня біологізації захисту рослин (14–15%).

Головною перепоною до подолання цього негаразду, поряд з відсутністю, на відміну від усіх інших європейських країн, вітчизняної законодавчої і нормативно-правової бази з цього напрямку, є занепад регіональних мереж біофабрик і біолабораторій з виробництва засобів біологізації землеробства, що потребує відродження, технічного переоснащення і розвитку цієї мережі на якісно новій технологічній та інженерно-технічній основі. Вирішення цієї задачі пов'язане з розробленням і здійсненням на державному і регіональному рівнях системи заходів з відродження, реконструкції, технічного переоснащення і розвитку на якісно новому рівні регіональних мереж біофабрик і біолабораторій з виробництва біологічних засобів захисту рослин та інших засобів біологізації землеробства.

В результаті виконання завдань з освоєння серійного виготовлення технологічного обладнання для оснащення біологічних виробництв, реконструкції, технічного переоснащення та створення нових біологічних фабрик і біолабораторій прогнозується динаміка збільшення виробництва засобів біологізації землеробства.

Оцінка рівня науково-технічного, технологічного та агробіологічного потенціалу української аграрної науки і, зокрема, Інженерно-технологічного інституту «Біотехніка» НААН України, дозволяють предметно і обґрунтовано підійти до

розроблення Проекту бізнес-плану з визначенням системи заходів щодо практичного нарощування виробництва засобів біологізації землеробства, а з цим і масштабів конверсії від традиційного рослинництва до освоєння виробництва і формування ринків органічної сільськогосподарської продукції та продовольства.

Постановка завдання. Визначити принципи інноваційних підходів у виробництві засобів захисту рослин на основі мікробіопрепаратів та ентомофагів і запропонувати організаційну структуру виробництва цих засобів в Україні.

Методи дослідження. Теоретичне узагальнення, дослідження у прикладних мікробіології та ентомології, аналіз, синтез.

Результати дослідження та їх обговорення. Розглянемо насамперед загальні підходи до створення системи промислових виробництв з розроблення біологічних засобів захисту рослин в Україні, тобто методологічні підходи до цього процесу.

Методологія – це концептуальний виклад мети, змісту, методів дослідження, які забезпечують отримання максимально об'єктивної, точної, систематизованої інформації про процеси та явища.

Системний принцип методології дає змогу вивчити стратегію на науковій базі (рис. 1).



Рисунок 1 – Методологічні підходи щодо створення регіональних мереж підприємств з виробництва засобів біологізації рослинництва

Джерело: [1].

Структурно-функціональний підхід полягає у виділенні в системних об'єктах структурних елементів (компонентів, підсистем тощо) і визначенні їхньої ролі (функцій) у системі [1].

Методика – сукупність методів, прийомів проведення будь-якої роботи, яка окреслює конкретні шляхи реалізації методології.

Поняття «методологія» має два основних значення: по-перше, це система певних правил, принципів і операцій, що застосовуються у тій чи іншій сфері діяльності; по-друге, це – вчення про цю систему, загальна теорія методу [2, 3].

Методологія є основою для системного запуску і реалізації процесів регіонального розвитку «знизу-вгору», які в Україні або відсутні, або є дуже фрагментарними.

Методологія інтегрує ключові аспекти життєдіяльності і розвитку: економічні, соціальні, екологічні, підтримуючи їх безперервну взаємодію.

Методологія сприяє активній участі усіх зацікавлених і компетентних органів у процесі регіонального планування та реалізації планів розвитку відповідно до їх інтересів і можливостей.

Методологія програм представляє собою креативне поєднання ключових компонентів розвитку – соціального, економічного та екологічного з міжгалузевими пріоритетами, і не є просто їх сумою.

Методологія передбачає взаємодію різних складових процесу, що беруть участь у процесі реалізації програми.

Концепція щодо формування та розвитку стратегії регіональних мереж підприємств з виробництва засобів біологізації землеробства (структура) складається з чотирьох блоків (рис. 2):

Цільовий блок – Зменшення впливу хімічних речовин на продукцію рослинництва та навколишнього середовища [3, 4].

Прогнозно-аналітичний блок – Визначення структури посівів, об'єму виробництв.

Визначення часу на перехід до використання 30% біологічних засобів у традиційному землеробстві. Створення системи екологічного землеробства.

Блок урахування факторів середовища – Визначення, де можлива заміна хімічних засобів на біологічні.

Концептуальний блок – Оцінка можливостей створення системи біофабрик та біолабораторій. Розробка економічних та фінансових пільг при використанні біологічних засобів. Вирішення питання створення устаткування з випуску біопрепаратів як ентомологічних, так і мікробіологічних [5, 6, 7].

При розробці концепції Стратегії визначено:

– фактори, які впливають на вибір агровиробником технологій захисту від шкідників;

– підходи розробки державної політики і створення політичних умов, які б сприяли застосуванню біологічних засобів захисту рослин;

– інструменти сільськогосподарської політики, які можуть використовуватися урядом для створення рівних умов для впровадження альтернативних методів захисту рослин;

– формування національної політики підтримки біометоду і необхідність більшої орієнтації наукових досліджень у цьому напрямку, розповсюдження знань і технологій з підготовки спеціалістів.

Заходи для створення політичних умов щодо впровадження біометоду:

– розробка нормативної бази, що регулює виробництво, розповсюдження використання пестицидів та переорієнтація економічних стимулів шляхом проведення належної екологічної політики у сільському господарстві, яка включає оподаткування і спеціальні збори за використання пестицидів;

– переорієнтація політики у сфері наукових досліджень і технологій на створення оптимальної громадської інформації про методи і технології захисту рослин;

– створення системи інформації про небезпечні наслідки необмеженого застосування пестицидів для користувачів та виробників [8].

Задачі наукові, які забезпечують біометод науковою методологією та матеріалами досліджень, що дозволяють побудувати базу біометоду, як такого, це:

– визначення методів оцінки агроценозів;

Цільовий блок	Прогнозно-аналітичний блок	Блок урахування факторів середовища	Концептуальний блок
<ul style="list-style-type: none"> • Зменшення впливу хімічних речовин на продукцію рослинництва та навколишнього середовища. 	<ul style="list-style-type: none"> • Визначення структури посівів, об'єму виробництв. • Визначення часу на перехід до використання 30 % біологічних засобів у традиційному землеробстві. • Створення системи екологічного землеробства. 	<ul style="list-style-type: none"> • Визначення, де можлива заміна хімічних засобів на біологічні. 	<ul style="list-style-type: none"> • Оцінка можливостей створення системи біофабрик та біолабораторій. • Розробка економічних та фінансових пільг при використанні біологічних засобів. • Вирішення питання створення устаткування з випуску біопрепаратів як ентомологічних, так і мікробіологічних.

Рисунок 2 – Концепція формування та розвитку регіональних мереж підприємств з виробництва засобів біологізації землеробства (структура)

Джерело: розроблено на підставі [8].

- задачі, пов'язані з розробкою принципів використання тих чи інших засобів захисту рослин в різних умовах;
- задачі, що визначають принципи побудови біотехнічних виробництв, пов'язаних з біометодом; до них слід віднести ентомологічні та мікробіологічні виробництва;
- розробка принципів побудови спеціального технологічного обладнання для ентомологічної та мікробіологічної промисловості;
- розробка принципів внесення засобів захисту у агроценоз та технологічного обладнання для їх реалізації.

Рішення цих задач слід покласти на інститути НАНУ та НААНУ.

В основу розробок для створення біологічних засобів захисту рослин слід покласти наукові дослідження у наступних напрямках науки і техніки:

- ентомологія (в тому числі технічна);
- мікробіологія та вірусологія;
- промислові ентомологія та мікробіологія;
- біотехніка;
- управління виробництвом;
- управління ринками збуту засобів захисту рослин;
- низькотемпературна техніка та кондиціонування повітря.

У ІТІ «Біотехніка» НААН розроблена схема адміністративно-функціональної взаємодії різних служб системи біозахисту в Україні, яка може бути використана для задач різних рівнів: районного, обласного, регіонального, державного. Схема наведена на рис. 3.

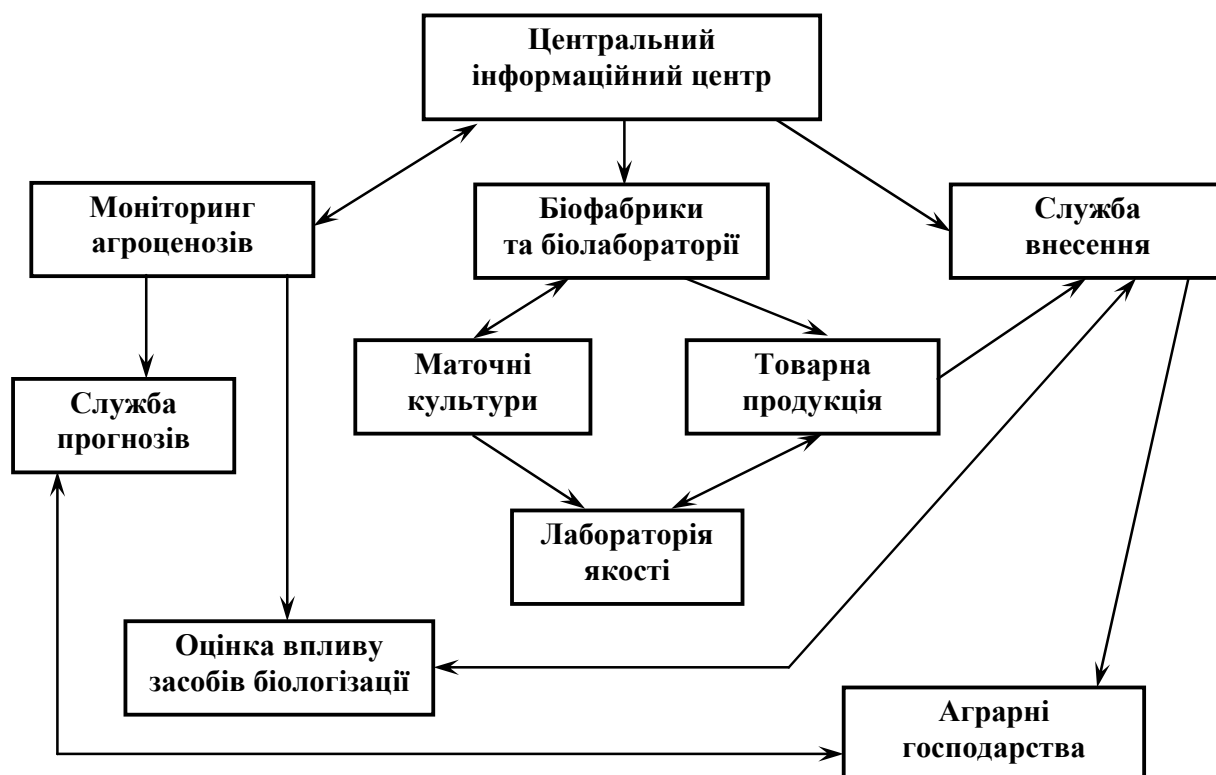


Рисунок 3 – Схема адміністративно-функціональної взаємодії різних служб системи біозахисту в Україні

Джерело: розроблено авторами

Стратегія формування та розвитку регіональних мереж підприємств з виробництва засобів біологізації рослинництва базується на наступних принципах.

Мета стратегії – створення умов, що забезпечують збільшення долі засобів біологізації рослинництва за рахунок зменшення долі хімічних засобів у традиційному землеробстві та забезпечення ними органічного землеробства [9, 10, 11, 12].

Задачі стратегії:

- формування стійкої системи біофабрик та біолабораторій, що забезпечує у повній мірі попиту виробників рослинної продукції;
- створення високоефективного інституційного середовища інноваційного розвитку цього технологічного напрямку;
- технологічне та технічне забезпечення існуючих та нових біофабрик та біолабораторій з випуску засобів біологізації рослинництва на сучасному рівні розвитку цього напрямку у провідних країнах світу;
- створення системи оцінки якості товарної продукції біофабрик та біолабораторій в межах Мінагрохарчопрому для недопущення дискредитації біометоду;
- формування системи підготовки наукових та промислових кадрів з цього напрямку діяльності.

Для реалізації стратегії з виробництва засобів біологізації рослинництва пропонується такий сценарій розвитку промисловості:

1) Організаційний напрям:

- створення системи адміністративно-функціональної взаємодії різних служб системи біозахисту в Україні;
- визначення учасників виконання робіт зі створення наукової та промислової бази біометоду в Україні.

2) Економічний напрям:

- оцінка можливостей створення системи біофабрик та біолабораторій за рахунок державного та приватного капіталу;
- розробка економічних та фінансових пільг при використанні біологічних засобів у землеробстві на рівні держави, окремих регіонів, областей, районів.

3) Техно-технологічний напрям:

- створення організації з розроблення типових та конкретних проектів біофабрик різного масштабу та номенклатури продукції, що буде випускатися;
- створення підрозділу у ІПІ "Біотехніка" з проектування устаткування для ентомологічної та мікробіологічної промисловості з випуску продукції біологізації землеробства;
- створення системи біолабораторій з оцінки якості товарної продукції біовиробництв.

4) Нормативно-правовий напрям:

- створення нормативної документації з технологій використання біологічних засобів у вирощуванні конкретної продукції рослинництва;
- створення системи стандартів для ентомологічної промисловості та мікробіологічної промисловості з визначеного напрямку технологій;
- створення системи стандартів для продукції рослинництва, що вирощували з різним ступенем використання біологічних засобів [8].

Пропонуються такі етапи реалізації сценарію розвитку промисловості з виробництва засобів біологізації рослинництва:

1) Часткова модернізація існуючих виробництв:

- визначення необхідної кількості біологічних засобів у певних регіонах на базі аналізу структури посівів сільськогосподарських культур;

– планування поступового технологічного переоснащення існуючих біофабрик та біолабораторій [13, 14, 15];

– реалізація плану на основі державних інвестицій та частково приватних;

2) Масштабний інвестиційний розвиток напряму:

– близькострокове завдання – реалізація часткової модернізації;

– середньострокове завдання:

а) створення структури біофабрик та біолабораторій – загальнодержавних, регіональних, місцевих;

б) створення інженерної структури з оснащенням необхідним устаткуванням (дооснащення заводу у м. Балта з випуску устаткування для ентомологічних та мікробіологічних виробництв; створення проектної організації чи підрозділу, і розробка типових проектів біофабрик та біолабораторій);

в) створення на базі ІПІ «Біотехніка» учбового центру з підготовки спеціалістів для біофабрик та біолабораторій;

г) створення дорадчих служб на місцевому рівні для сприяння впровадженню використання засобів біологізації у рослинництві.

3) Довгострокове завдання:

а) створення адміністративно-функціональної системи біометоду в Україні;

б) створення лабораторій визначення якості біологічних препаратів.

4) Розроблення нормативної бази біометоду, адаптованої до стандартів ЄС.

Розглянемо ієрархічну структуру системи підприємств з виробництва біологізації землеробства.

Відповідно до Закону України про децентралізацію влади виникла необхідність у зміні парадигми розвитку системи розробки та використання засобів біологізації землеробства. Згідно цього закону земля та все, що на ній вирощується, є власністю громади, яка живе на цій землі. У зв'язку з цим використання засобів біологізації є задачею місцевої влади. Відповідно до цього і повинні розроблятися програми з напрацювання та використання засобів біологізації землеробства. Питання розробки і створення устаткування напрацювання цих засобів доцільно покласти на підприємства державного рівня, інші завдання на підприємства нижчих рівнів. Таким чином формується ієрархічна структура системи підприємств з виробництва засобів біологізації землеробства. Розглянемо всі рівні цієї системи:

1) Державний рівень:

Створення базових виробництв для випуску засобів біологізації, потрібних у всіх регіонах, в достатньо великій кількості:

– розподілення цих засобів між обласними системами;

– створення довгострокових прогнозів у потребі певних біозасобів у рідинних регіонах і контроль за їх розподіленням та використанням;

– створення системи виробництв устаткування для випуску засобів біологізації на біофабриках та біолабораторіях, їх розподілення між ними;

– створення загальнодержавної системи інформаційно-координаційного забезпечення біологізації рослинництва;

– розподілення коштів державної підтримки між регіонами;

– створення загальнодержавної інформаційної служби та координація обласних служб;

– у сільськогосподарських вищих учбових закладах налагодити випуск спеціалістів для керівництва службами виробництва та застосування засобів біологізації рослинництва.

2) Регіональний рівень:

- визначення необхідної кількості біологічних засобів на базі структури посівів с.-г. культур;

- створення центру інженерної підтримки біофабрик і біолабораторій регіонального значення;

- визначення структури регіональних біолабораторій та біофабрик;

- створення адміністративно-функціональної системи біометоду в регіоні;

- ведення маточних культур, що використовують в регіоні;

- розробка технічних умов на певні види біозасобів, що випускаються в регіональних біофабриках і біолабораторіях;

- ведення маточних культур біозасобів, що використовуються в регіоні;

- створення організацій з розроблення проектів біофабрик різного масштабу та номенклатури продукції.

3) Обласний рівень:

- створення системи, що забезпечує всю область потрібними БЗЗР, ведення маточних культур БЗЗР, створення інформаційно-координаційного центру для створення та використання БЗЗР;

- створення лабораторій якості БЗЗР, забезпечення інформаційної підтримки біофабрик і біолабораторій та систем внесення БЗЗР у агроценозі, створення центрів підготовки спеціалістів.

Задачі обласного рівня:

- визначення необхідної кількості біологічних засобів на базі структури посівів с.-г. культур;

- створення центру інженерної підтримки біофабрик і біолабораторій;

- створення адміністративно-функціональної системи біометоду в області;

- створення структури обласних біофабрик та біолабораторій;

- забезпечення маточними культурами комах та мікробіопрепаратів біофабрик та біолабораторій області;

- розробка ТУ на біозасоби;

- створення лабораторії оцінки якості біологічних засобів захисту рослин;

- структура моніторингу агроценозів.

4) Районний рівень.

На цьому рівні вирішуються завдання часткового напрацювання БЗЗР, які потрібні лише тут. Крім того, вирішуються питання:

- моніторингу агроценозів;

- створення карт прогнозів для всього району визначення потреби у БЗЗР на поточний період та на майбутнє;

- створення резерватів комах, потрібних для біометоду;

- внесення засобів біологізації.

5) Рівень господарства:

- безпосередньо будь-яке господарство, що займається якоюсь частиною рослинництва;

- на цьому рівні і відбувається захист рослин від шкідників та хвороб та додавання інших засобів біологізації у вирощуванні товарної продукції, забезпечення при цьому її певної якості.

Пропонуються індикатори функціонування системи [8, 16].

Для створення інженерних та біологічних систем треба вирішити три основні економічні проблеми:

- що повинно вироблятися (кількість біозасобів як ентомологічних так і мікробіологічних);

- як вони будуть вироблятися (ким, за якими технологіями, на якому обладнанні, визначення кількості підприємств);
- для кого біологічні засоби захисту рослин будуть вироблятися (визначення споживачів БЗЗР та способи їх розповсюдження).

Ці три питання – основні і загальні для всіх систем господарювання, а методи реалізації проблем можуть бути різними.

У капіталістичній системі «вільного підприємництва» питання, що, як і для кого, розв'язується за допомогою цін через механізми ринків.

Індикатори, які визначають функціонування системи, можуть бути такі [16, 9]:

а) Індикатор місткості ринку, тобто показник розміру площ, що зайняті певними с.-г. культурами в межах регіону, який розглядається (K_M):

$$K_M = \alpha \cdot F, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт використання біозасобу, г/га;

F – площа, зайнята певною культурою, га.

Виходячи з площ, визначається певна потреба у біозасобах для культивування тієї чи іншої сільськогосподарської культури.

б) Індикатор використання ресурсів – це співвідношення між коефіцієнтом доходів підприємств $K_{ДП}$ – чистий прибуток: відрахування до бюджету та соціальних фондів; та коефіцієнтом ресурсів підприємств $K_{РП}$ – ресурси, авансовані підприємствами: ресурси, застосовані підприємствами.

$$K_P = \frac{K_{ДП}}{K_{РП}}. \quad (2)$$

в) Індикатор соціальний – збільшення кількості робочих місць K_C .

г) Індикатори інновацій:

– число інноваторів, $K_{И}$;

– економічний ефект $K_{ИЕ}$.

д) Інтегральний показник ефективності:

$$E = \frac{\Pi}{P + M + \gamma \cdot \Phi}, \quad (3)$$

де Π – обсяг продукції, що виробляється, кг або шт.;

P – витрати живої сили, грн.;

M – витрати матеріалів, грн.;

Φ – витрати основних виробничих фондів, грн.;

γ – коефіцієнт переведення витрат одноразових вкладень в основні фонди.

Показники оцінки системи можуть бути такими:

– посівні площі регіону;

– необхідна кількість БЗЗР;

– необхідна кількість біовиробництв для регіону;

– продуктивність біовиробництв.

Розглянемо можливі фінансові стимули для підприємств [17, 18], що розробляють та використовують біологічні засоби у землеробстві (рис. 4).

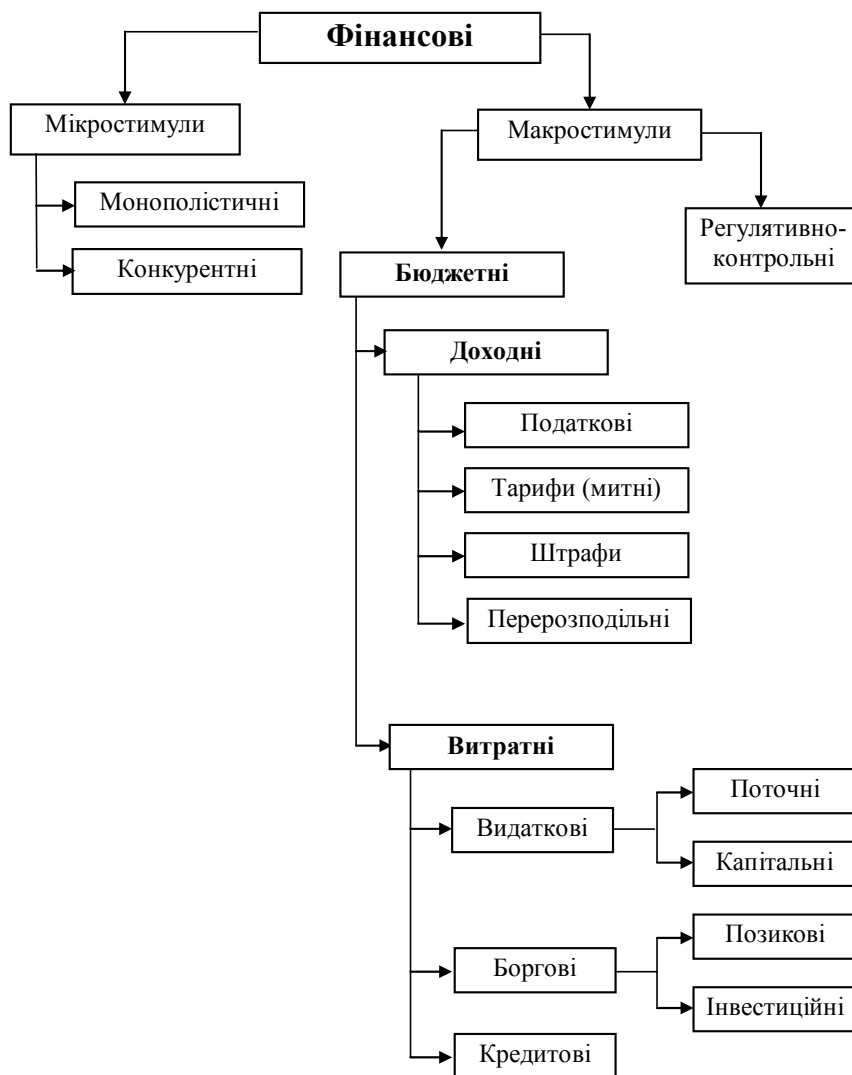


Рисунок 4 – Фінансові стимули для підприємств, що розробляють та використовують біологічні засоби у землеробстві

Джерело: розроблено на підставі [17, 18]

Державна політика України з сільського господарства базується на таких принципах [5, 6, 13, 10, 15, 19, 20]:

- 1) форми взаємодії Держави і бізнесу:
 - державно-приватне партнерство;
 - співпраця з розвитку аграрних кластерів і технопарків;
 - взаємодія державних та місцевих органів влади із саморегулюванням організаціями;
 - партнерство на місцевому рівні щодо підтримки ініціатив сільських громад у розбудові соціальної інфраструктури селищ.
- 2) дорадча служба для допомоги сільськогосподарським підприємствам;
- 3) оптимальне поєднання ринкового саморегулювання економічних відносин суб'єктів господарювання та державного регулювання макроекономічних процесів визначено основою правового господарського порядку (Господарський кодекс України – ст. 5, п. 1).

Мета стратегії – створення умов, що забезпечують збільшення частки біологічних засобів біологізації рослинництва за рахунок зменшення частки хімічних,

забезпечення біологічними засобами органічного землеробства та технологій вирощування рослин у закритому ґрунті.

Задачі стратегії:

- формування стійкої системи біофабрик та біолабораторій, яка б забезпечувала у повній мірі попиту виробників рослинницької продукції;
- створення високоефективного інституційного середовища інноваційного розвитку цього технологічного напрямку;
- технологічне та технічне забезпечення існуючих та нових біофабрик та біолабораторій з випуску засобів біологізації рослинництва на сучасному рівні розвитку цього напрямку у провідних країнах світу;
- формування відповідної системи підготування наукових та промислових кадрів;
- створення системи оцінки якості товарної продукції біофабрик і біолабораторій в межах Мінагрохарчопрому для недопущення дискредитації біометоду;
- розроблення і затвердження на рівні Мінагропромполітики і НААН України та обласних рівнях робочих планів (програми, проекти) реконструкції, технічного переоснащення та створення нових підприємств з виробництва засобів біологізації землеробства з державною та приватною формою власності;
- створення організації з розробки типових проектів біофабрик і біолабораторій різного масштабу і номенклатури виробів;
- розробити нормативну базу біометоду;
- створити у п'яти регіонах України центри науково-технічного та сервісного забезпечення підтримки біометоду;
- створити дослідно-конструкторське бюро з напрямку розробки устаткування для біотехнологічних систем у промислових ентомології і мікробіології, пов'язаних з задачами біометоду.

Пропонуються такі інструменти державної політики:

1) інституційні:

- формування виконавчих структур державної влади;
- створення і підтримка об'єктів державної власності;
- підготовка економічних програм та прогнозів;

2) правові:

- інформаційна підтримка підприємницьких та професійних спілок;

3) адміністративні:

- заходи заборони;
- заходи дозволу;
- заходи примусу;

4) економічні:

- фінансова політика;
- грошово-кредитна;
- програми і прогнози.

Індикаторами впровадження інновацій у біологічному захисті рослин є:

- забезпечення продовольчої безпеки;
- поліпшення якості продукції;
- збереження навколишнього середовища;
- створення додаткових робочих місць;
- збільшення біорізноманіття.

Висновки. Розглянуті та запропоновані шляхи розроблення, створення промислового виробництва та використання біологічних засобів захисту рослин в

Україні, спираючись на розроблену систему біовиробництва цих засобів. Це дасть можливість значно збільшити їх використання у захисті рослин в органічному виробництві та долю в інтегрованому захисті рослин.

Список літератури

1. Замотайлов А.С. История и методология биологической защиты растений. Электронный курс лекций. Краснодар, 2012. 237 с.
2. Крюкова І.О. Методологічні засади формування механізму інноваційного розвитку підприємств. *Економічний розвиток: теорія, методологія, управління*: Матеріали Міжнарод. науково-практич. конф., 26–30 листопада 2013. Будапешт–Валенсія–Київ, 2013. С. 81–86.
3. Анненкова О.В. Методологія формування та розвитку регіональних кластерних структур. *Проблеми формування нової економіки XXI века*: сб. материалов I Международной научно-практической Интернет-конференции, 19 декабря 2008г. URL: http://www.confcontact.com/2008dec/4_annenkova.php. (дата обращения 16.01.2020).
4. Балюк С. А. Концепція агрохімічного забезпечення землеробства України на період до 2015 року. *Вісн. аграр. науки.-теорет. журн.* 2010. № 3. С. 43.
5. Проект закону України № 2217а (постанова №2217а/П1) «Про внесення змін до Конституції України» (щодо децентралізації влади). URL: <https://www.rbc.ua/ukr/news/rada-odobrila-pervomchdenii-izmeneniya-konstitutsii-1441015457.html> (дата обращения 16.01.2020).
6. Проект концепції Державної цільової програми розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року. URL: <http://minagro.gov.ua/apk?nid=16822> (дата обращения 18.01.2020).
7. Старчевський Ю.І., Дубровін В.О. До питання розвитку регіональних мереж біофабрик і біолабораторій з виробництва засобів біологізації землеробства. *Науковий збірник НУБіП України*. 2011. 166. С. 46–53.
8. Поручник А., Брикова І. Регіональна інноваційна система як основа підвищення міжнародного конкурентного статусу національних регіонів. *Міжнародна економічна політика*. 2006. № 2(5). С. 134–173.
9. Олексюк О.І. Економіка результативності діяльності підприємства: монографія. Київ: КНЕУ, 2008. 262 с.
10. Єдина комплексна стратегія розвитку сільського господарства та сільських територій на 2015–2020 роки. Міністерство аграрної політики та продовольства України. 09.11.2015р. URL: <http://minagro.gov.ua/node/16025> (дата обращения 16.01.2020).
11. Лупенко Ю.О., Месель-Веселяк В.Я. Стратегічні напрями розвитку сільського господарства України на період до 2020 року. К.: ННЦ «ІАЕ», 2012. 182 с.
12. Економіка сільського господарства: навч. посіб. / В.К. Збарський та ін. Київ: Агроосвіта, 2013. 352 с.
13. Державна програма розвитку вітчизняного машинобудування для агропромислового комплексу на 2007–2010 рр. Постанова Кабміну від 26.09.2007 р. № 118. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1181-2007-%D0%BF> (дата обращения 16.01.2020).
14. Дубровін В.О., Мельничук М.Д. Технічне забезпечення біотехнологічних процесів агропромислового виробництва. *Наук. вісник НУБіП. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2012. Вип. 170(1). С. 11–16.
15. Регіональна програма розвитку агропромислового комплексу Одеської області в 2014–2018 рр. від 21.02.2014р., № 1020-VI. URL: <http://apk.odessa.gov.ua/regionaln-programi/programa-rozvitku-apk-odesko-oblast-na-2014-2018-roki/> (дата обращения 18.01.2020).
16. Сидора Т.Ю. Критерії оцінювання ефективності діяльності підприємства. *Ефективна економіка*. 2012. № 7. URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=1298> (дата обращения 18.01.2020).
17. Фінансові механізми управління природокористуванням: монографія / М. В. Костель, М. Ю. Абрамчук, Н. В. Котенко та ін.; за заг. ред. проф. В. М. Бороноса та доц. І. Д. Скляр. Суми: Сумський державний університет, 2012. 351 с.
18. Батіщева С. Класифікація фінансових стимулів соціально-економічного розвитку. *Вісник Національної академії державного управління*. 2011. Вип.2. С. 152–160.
19. Закон України «Про інноваційну діяльність» від 04.07.2002 р., № 40-IV. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/40-15> (дата обращения 24.01.2020).
20. Закон України «Про добровільне об'єднання територіальних громад» від 04.09.2015 р., № 676-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/676-19#n11>(дата звернення 24.01.2020).

References

1. Zamotajlov, A.S. (2012). *Istorija i metodologija biologicheskoy zashhity rastenij. Jelektronnyj kurs lekcij [History and methodology of biological plant protection. Electronic course of lectures]*. Krasnodar [in Russian].
2. Kriukova I.O. Metodolohichni zasady formuvannia mekhanizmu innovatsijnoho rozvytku pidpriemstv [Methodological bases of formation of the mechanism of innovative development of the enterprises]. Economic development: theory, methodology, management: *Mizhnarod. naukovo-praktych. konf. (26–30 lystopada 2013) – International Scientific and Practical Conference*. (pp. 81–86). Budapesht–Valensiia–Kyiv [in Ukrainian].
3. Annenkova O.V. Metodolohiia formuvannia ta rozvytku rehional'nykh klasternykh struktur. Problemy formyrovannia novoy ekonomyky XXI veka [Methodology of formation and development of regional cluster structures]. Problems of formation of the new economy of the XXI century: I Mezhdunarodnaia nauchno-praktycheskaia Ynternet-konferentsia (19 dekabria 2008 h.) – 1nd *International Scientific and Practical Conference*. www.confcontact.com. Retrieved from http://www.confcontact.com/2008dec/4_annenkova.php [in Ukrainian].
4. Baliuk, S.A. (2010). Kontsepsiia ahrokhimichnogo zabezpechennia zemlerobstva Ukrainy na period do 2015 roku [The concept of agrochemical support of agriculture in Ukraine for the period up to 2015]. *Visn. ahrar. nauky: nauk.-teoret. zhurn. – Bulletin of Agricultural Science*, 3, 43 [in Ukrainian].
5. Proekt zakonu Ukrainy № 2217a (postanova №2217a/P1) «Pro vnesennia zmin do Konstytutsii Ukrainy» (schodo detsentralizatsii vlady) [Draft Law of Ukraine № 2217a (Resolution №2217a / P1) “On Amendments to the Constitution of Ukraine”]. www.rbc.ua. Retrieved from <https://www.rbc.ua/ukr/news/rada-odobrila-pervom-chtenii-izmeneniya-konstitutsii-1441015457.html> [in Ukrainian].
6. Proekt kontsepsii Derzhavnoi tsil'ovoi prohramy rozvytku ahrarnoho sektoru ekonomiky na period do 2020 roku [Draft concept of the State target program for the development of the agricultural sector of the economy until 2020]. minagro.gov.ua. Retrieved from <http://minagro.gov.ua/apk?nid=16822> [in Ukrainian].
7. Starchevs'kyj, Yu.I. & Dubrovin, V.O. (2011). Do pytannia rozvytku rehional'nykh merezh biofabryk i biolaboratorij z vyrobnytstva zasobiv biolohizatsii zemlerobstva [On the development of regional networks of biofactories and biolaboratories for the production of means of biologization of agriculture.]. *Naukovyj zbirnyk NUBiP Ukrainy – Scientific collection NULESU*, 166, 46–53 [in Ukrainian].
8. Poruchnyk, A. & Brykova, I. (2006). Rehional'na innovatsijna systema iak osnova pidvyschennia mizhnarodnogo konkurentnogo statusu natsional'nykh rehioniv [Regional innovation system as a basis for increasing the international competitive status of national regions]. *Mizhnarodna ekonomichna polityka – International economic policy*, 2(5), 134–173 [in Ukrainian].
9. Oleksiuk, O.I. (2008). *Ekonomika rezul'tatyvnosti diial'nosti pidpriemstva [Economics of enterprise efficiency]*. Kiev: KNEU [in Ukrainian].
10. Yedyna kompleksna stratehiia rozvytku sil's'koho hospodarstva ta sil's'kykh terytorij na 2015–2020 roky. Ministerstvo ahrarnoi polityky ta prodovol'stva Ukrainy. 09.11.2015r. Retrieved from <http://minagro.gov.ua/node/16025> [in Ukrainian].
11. Lupenko Yu.O., Mesel'-Veseliak V.Ya. (2012). *Stratehichni napriamy rozvytku sil's'koho hospodarstva Ukrainy na period do 2020 roku [Strategic directions of agricultural development of Ukraine for the period up to 2020]*. Kyiv: NNTs «IAE» [in Ukrainian].
12. Zbars'kyj, V.K. et. al. (2013). *Ekonomika sil's'koho hospodarstva [Economics of agriculture]*. Kyiv : Ahrosvita [in Ukrainian].
13. Derzhavna prohrama rozvytku vitchyznianoho mashynobuduvannia dlia ahropromysloвого kompleksu na 2007–2010 rr. Postanova Kabminu vid 26.09.2007 r. № 118 [State program of development of domestic machine building for agro-industrial complex for 2007–2010. Resolution of the Cabinet of Ministers, N 118.] (2007, 26 September). zakon2.rada.gov.ua. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1181-2007-%D0%BF> [in Ukrainian].
14. Dubrovin, V.O. & Mel'nychuk, M.D. (2012). Tekhnichne zabezpechennia biotekhnolohichnykh protsesiv ahropromysloвого vyrobnytstva. *Nauk. visnyk NUBiP. Serii: Tekhnika ta enerhetyka APK – Scientific collection NULESU. Series: Engineering and energy of AIC, Vol. 170(1)*, 11–16 [in Ukrainian].
15. Rehional'na prohrama rozvytku ahropromysloвого kompleksu Odes'koi oblasti v 2014–2018 rr. vid 21.02.2014r., № 1020-VI [Regional program of development of the agro-industrial complex of Odessa region in 2014–2018, N 1020-VI.]. (2014, 21 February). apk.odessa.gov.ua. Retrieved from <http://apk.odessa.gov.ua/regonaln-programi/programa-rozvitku-apk-odesko-oblast-na-2014-2018-roki/> [in Ukrainian].

16. Sydora, T.Yu. (2012). Kryterii otsiniuvannya efektyvnosti diial'nosti pidpriemstva [Criterion of Efficiency Evaluation of the Enterprise Activity]. *Efektivna ekonomika– Efektivna ekonomika*, 7. Retrieved from <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1298> [in Ukrainian].
17. Kostel', M.V., Abramchuk, M.Yu., Kotenko, N.V. et al. (2012). V. M. Boronosa \$ I. D. Skliar (Eds.). Sumy: Sums'kyj derzhavnyj universytet [in Ukrainian].
18. Batischeva, S. (2011). Klasyfikatsiia finansovykh stymuliv sotsial'no-ekonomichnoho rozvytku [Classification of financial incentives for socio-economic development]. *Visnyk Natsional'noi akademii derzhavnoho upravlinnia – Bulletin of the National Academy of Public Administration*, Vol.2, 152–160 [in Ukrainian].
19. Zakon Ukrainy «Pro innovatsijnu diial'nist'» vid 04.07.2002 r., № 40-IV [Law of Ukraine "On Innovation", N 40-IV]. (2002, 4 July). zakon5.rada.gov.ua. Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/40-15> [in Ukrainian].
20. Zakon Ukrainy «Pro dobrovil'ne ob'iednannia terytorial'nykh hromad» vid 04.09.2015 r., № 676-VIII [Law of Ukraine "On Voluntary Association of Territorial Communities" N 676-VIII.] (2015, 4 September). zakon.rada.gov.ua. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/676-19#n11> [in Ukrainian].

Valentyna Krutiakova, PhD econ. sci., **Volodymyr Belchenko**, PhD tech. sci., **Borys Sheikin**
Engineering and technological institute «Biotechnica» of NAAS, Khlibodarske, Belyaevsky district, Odessa region, Ukraine

Volodymyr Bulgakov, Prof., DSc., **Ivan Golovach**, Prof., DSc.
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Mykola Sviren, Prof., DSc.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Ways of Industrial Development for the Production of Biological Plant Protection Products in Ukraine

The problem of industrial production of biological plant protection products in Ukraine is important and relevant. The purpose of this study is to determine the principles of innovative approaches in the production of plant protection products based on microbiological drugs and entomophages and to propose the organizational structure of production of these products in Ukraine.

Methods of theoretical generalization, research in applied microbiology and entomology, analysis and synthesis were used. The basic technological and technical methods and equipment for production at enterprises of different levels of biological plant protection products (BZZR) and their application in agrocenoses developed by ITI "Biotechnics" of NAAS are resulted, the general structure of system of biological protection of plants in Ukraine is offered. Emphasis is placed on specific technologies and equipment for the production of microbiological preparations of various scales: bacterial, fungal, viral, the use of nematodes. Attention is paid to the production of entomological drugs to protect plants from pests. Ground methods of BZZR introduction into agrocenoses and with the use of aviation are offered. The proposed innovative approaches to the development, creation and use of OSH in Ukraine, based on the system of bioproduction of these tools, will significantly increase their use in plant protection in organic production and the share of integrated plant protection.

The ways of development, creation of industrial production and use of biological plant protection products in Ukraine are considered and offered, based on the developed system of bioproductions of these means. This will significantly increase their use in plant protection in organic production and the share of integrated plant protection.

innovation, production system, biological means of protection, microbiology, entomology, equipment, technologies

Одержано (Received) 12.02.2020

Прорецензовано (Reviewed) 25.03.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 631.373:629.013

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).241-249](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).241-249)**А.С. Лімонт**, доц., канд. техн. наук*Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, Україна**e-mail: andrespartak@ukr.net***З.А. Лімонт***Технічний ліцей при Дніпровському національному університеті залізничного транспорту, м. Дніпро, Україна*

Масово-об'ємні параметри і лінійні розміри платформи тракторних причепів

Мета дослідження полягала у з'ясуванні масово-об'ємних параметрів тракторних причепів та пошуку якісно-кількісних зв'язків між лінійними розмірами платформи транспортних засобів і їхніми масово-об'ємними параметрами. В якості параметрів прийняті маса і номінальна вантажопідйомність причепів та об'єм їх платформи по основних бортах. Лінійними розмірами платформи визначені внутрішні її довжина і ширина та висота по основних бортах.

Залежно від маси і номінальної вантажопідйомності прицепа та об'єму платформи по основних бортах внутрішні її довжина змінюється за прямолінійними залежностями з додатними кутовими коефіцієнтами, ширина – за сповільнено зростаючими гіперболами, а висота платформи по основних бортах сповільнено зростає за степеневими функціями.

тракторні причеви, маса, вантажопідйомність, платформа, об'єм, розміри, кореляція

А.С. Лимонт, доц., канд. техн. наук*Житомирский агротехнический колледж, г. Житомир, Украина***З.А. Лимонт***Технический лицей при Днепровском национальном университете железнодорожного транспорта, г. Днепр, Украина*

Массово-объемные параметры и линейные размеры платформы тракторных прицепов

Цель исследования состояла в определении массово-объемных параметров тракторных прицепов и поиске качественно-количественных связей между линейными размерами платформы транспортных средств и их массово-объемными параметрами. В качестве параметров приняты масса и номинальная грузоподъемность прицепов, а также объем их платформ по основным бортам.

В зависимости от массы и номинальной грузоподъемности прицепа, объема платформы по основным бортам внутренняя ее длина изменяется по прямолинейным зависимостям с положительными угловыми коэффициентами, ширина – по замедленно возрастающим гиперболам, а высота платформы по основным бортам замедленно возрастает по степенным функциям.

тракторные прицепы, масса, грузоподъемность, платформа, объем, размеры, корреляция

Постановка проблеми. В технологічних процесах вирощування і збирання сільськогосподарських культур на перевезенні вантажів і для транспортно-технологічного забезпечення використання посівних і садильних агрегатів, машин для внесення органічних і мінеральних добрив та збиральних агрегатів поряд з іншими транспортними засобами (ТЗ) застосовують і тракторно-транспортні агрегати (ТТА) у складі відповідного енергетичного засобу і тракторних причепів визначених вантажопідйомності та інших їх параметрів і розмірних характеристик. Проте в проблемі проектування, виробництва і використання тракторних причепів поки що ще є низка нез'ясованих питань. Про деякі з таких питань і буде йти мова в цьому повідомленні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Акад. М.Є. Мацепуро [1], проф. Ф.С. Завалішин [2] і проф. М.К. Діденко [3] у своїх працях крім інших питань розглядали вантажопідйомність тракторних причепів як одну з їх споживчих властивостей і основних параметрів. Науковцями одержані відповідні математичні залежності, що визначають зв'язок вантажопідйомності з іншими параметрами тракторних причепів та характеризують вантажообіг при перевезенні вантажів та транспортно-технологічного обслуговування збиральних агрегатів. У праці [4] розглянуті окремі питання проектування і конструювання тракторних причепів. З метою раціонального використання матеріалів в конструкції причепів звернено увагу на дотримання у відповідних межах відношення маси проєктованих причепів до їх вантажопідйомності. У праці дослідників [5] із США розглянуто питання проектування і використання енергетичних засобів у складі ТТА при обслуговуванні відповідних технологічних машинно-тракторних агрегатів та організації руху ТТА.

В попередніх публікаціях одного з авторів цього повідомлення зроблена спроба виявити і з'ясувати усталені співвідношення і пропорції між основними параметрами тракторних причепів. Для з'ясування можливих тенденцій і визначення кількісних залежностей між окремими параметрами причепів зроблений пошук за існуючими конструкціями кореляційно-регресійних моделей парних взаємозв'язків між споживчими властивостями тракторних причепів і деякими їх лінійними розмірами. В публікаціях [6, 7] висвітлені результати досліджень, що відображають виявлені кореляційні зв'язки і з'ясовані кількісні залежності. Окремо слід обмовитися про з'ясовані зв'язки між об'ємом платформи як результативною ознакою і прийнятими факторіальними, а саме: вантажопідйомністю і масою причепа та довжиною, шириною і висотою платформи по основних бортах [8].

Крім з'ясованих вказаних кількісних залежностей і визначення та опрацювання інших показників, що характеризують умови проектування і використання тракторних причепів, варто відшукати зв'язки між лінійними розмірами платформ транспортних засобів і масово-об'ємними параметрами тракторних причепів. Лінійні розміри платформ оцінювали внутрішніми їх довжиною і шириною та висотою платформи по основних бортах. Ці розміри платформи в дослідженні були прийняті за результативні ознаки. До масово-об'ємних параметрів тракторних причепів як факторіальних ознак віднесені їх маса і вантажопідйомність та об'єм платформи по основних бортах. Окремі з цих зв'язків вже досліджувалися і в цьому повідомленні передбачено здійснити їх узагальнення.

Постановка завдання. Таким чином, метою дослідження є поліпшення ефективності проектування і конструювання тракторних причепів та їх використання в технологічних процесах механізованого виробництва аграрної продукції. *Завдання дослідження:* 1) охарактеризувати емпіричні розподіли масово-об'ємних параметрів тракторних причепів і лінійних розмірів їх платформ; 2) здійснити кореляційний аналіз визначених результативних і факторіальних ознак; 3) опрацювати модельні рівняння регресії результативних ознак по факторіальних; 4) проаналізувати помилки модельних рівнянь регресії і визначити силу впливу факторіальних ознак на результативні.

Виклад основного матеріалу. Розмір статистичної вибірки включав 36 марок тракторних причепів, в т.ч. 15 марок причепів виробництва підприємствами колишнього Радянського Союзу і 21 марку виробництва компаніями і фірмами поза його межами. З технічних характеристик причепів вибирали вихідні дані, з використанням яких опрацьовані емпіричні розподіли досліджуваних факторіальних і результативних ознак. За інформацією, що наведена в [6, 8], з урахуванням додаткових розрахунків опрацьовані характеристики емпіричних розподілів факторіальних і

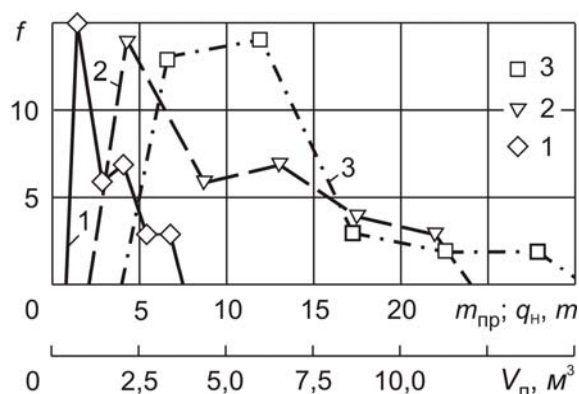
результативних ознак (табл. 1), які використані в подальшому для з'ясування відповідних кореляційних зв'язків. За значеннями показників асиметрії і ексцесу переважна більшість досліджуваних емпіричних розподілів незначучо відхилялася від нормального [9, 10], що дозволило використати відповідні методи опрацювання зібраних і розрахованих статистичних даних. Розподіл об'єму платформи можна вважати сильноасиметричним і середньоексцесивним [10].

Таблиця 1 – Характеристика розподілів досліджуваних параметрів і лінійних розмірів платформи тракторних причепів

Досліджувані ознаки	Розмах варіювання	Середнє арифметичне значення	Середнє квадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації, %	Показник міри		Відношення показника міри до своєї помилки для	
					асиметрії	ексцесу	асиметрії	ексцесу
Факторіальні ознаки								
Маса причепа $m_{пр}$, т	0,735–7,100	2,95	1,67	56,6	0,78	–0,37	1,86	0,44
Номінальна вантажопідйомність q_n , т	2–24	10,28	6,25	60,8	0,53	–1,29	1,26	1,53
Об'єм платформи з основними бортами V_n , м ³	2–15,2	6,0	2,94	49,0	1,29	1,07	3,07	1,27
Результативні ознаки								
Довжина l_n , (мм) платформи	2500–8200	4400	1151	26,2	1,08	1,39	2,57	1,65
Ширина b_n (мм) платформи	2000–2420	2207	128	5,8	–0,21	–1,81	0,50	2,15
Висота h_n (мм) платформи по основних бортах	400–1050	602	161	26,7	1,01	–0,034	2,40	0,04

Джерело: розроблено авторами

Полігони розподілів маси і вантажопідйомності причепів та об'єму їх платформи по основних бортах наведені на рис. 1.



1 – маса причепа $m_{пр}$; 2 і 3 – відповідно номінальна вантажопідйомність q_n і об'єм платформи V_n причепа по основних бортах

Рисунок 1 – Полігони розподілів маси і вантажопідйомності причепів та об'єму їх платформи по основних бортах

Джерело: розроблено авторами

З табл. 1 і рис. 1 видно, що для розподілів маси і вантажопідйомності причепів та об'єму їх платформи по основних бортах характерна додатна асиметричність, за якої довга вітка кривих розподілів розташована праворуч моди і зрушена в зону більших значень відповідних ознак. Асиметричність розподілів крім іншого є свідченням можливої нелінійності досліджуваних кореляційних парних зв'язків результативних і факторіальних ознак.

В дослідженні визначали коефіцієнти кореляції r між результативними і факторіальними ознаками, кореляційні відношення η результативних ознак по факторіальних, модельні рівняння регресії результативних ознак по факторіальних R^2 -коефіцієнти вірогідності апроксимації експериментальних значень результативних ознак відповідною вирівнюючою функцією, помилки S_y рівнянь регресії та коефіцієнти детермінації k_d , що визначають силу впливу факторіальних ознак на результативні.

Кореляційно-регресійний аналіз здійснювали за методикою, що наведена в [9, 10, 11]. Пошук модельних рівнянь регресії і розрахунків відповідних R^2 -коефіцієнтів здійснювали з використанням стандартних комп'ютерних програм. Помилки рівнянь регресії визначали за методикою, що наведена в книзі [12]. При розрахунках коефіцієнтів детермінації використовували залежності, що рекомендовані в праці [13].

Результати кореляційно-регресійного аналізу, визначення прогностичних функцій зміни лінійних розмірів платформи тракторних причепів залежно їх від масово-об'ємних параметрів, опрацьованих модельних рівнянь регресії результативних ознак по факторіальних, значення R^2 -коефіцієнтів, що відповідають визначеним рівнянням регресії, та помилки рівнянь регресії і розраховані значення коефіцієнтів детермінації наведені в табл. 2.

Між всіма досліджуваними результативними і факторіальними ознаками виявлений додатний кореляційний зв'язок. Отже, при збільшенні маси і вантажопідйомності причепа та об'єму платформи її довжина і ширина на висота по основних бортах зростають. У зв'язках довжини платформи і маси, вантажопідйомності причепа та об'єму платформи коефіцієнти кореляції дещо перевищують значення відповідних кореляційних відношень результативної ознаки по факторіальних. Це дозволило зробити припущення, що довжина платформи залежно від досліджуваних факторіальних ознак зростає за прямолінійними залежностями. В кореляційних зв'язках ширини і висоти платформи залежно від маси і вантажопідйомності причепа та об'єму платформи кореляційні відношення результативних ознак по досліджуваних факторіальних перевищують значення коефіцієнтів кореляції відповідних парних зв'язків. Отже, ширина і висота платформи тракторних причепів із збільшенням їх маси і вантажопідйомності та об'єму платформи передбачено мають зростати за криволінійними залежностями. З використанням стандартних комп'ютерних програм за найбільшим значенням R^2 -коефіцієнтів визначена прогностична функція зміни результативних ознак залежно від факторіальних та з'ясовані відповідні модельні рівняння регресії, що характеризують кількісні зміни лінійних розмірів платформи причепів залежно від їх основних масово-об'ємних параметрів. Зміна довжини платформи залежно від маси і вантажопідйомності причепів та об'єму платформи описується рівняннями прямих з додатними кутовими коефіцієнтами. Зміна ширини платформи залежно від тих же факторіальних ознак найкраще апроксимується рівняннями сповільнено зростаючих гіпербол. Зміна висоти платформи причепа по основних бортах залежно від визначених масово-об'ємних параметрів ТЗ за прогностичними оцінками найкраще описується рівняннями сповільнено зростаючих степеневих функцій.

Кореляційні поля довжини, ширини і висоти платформи тракторних причепів та

їх маси, вантажопідйомності і об'єму платформи разом з опрацьованими модельними лініями регресії результативних ознак по факторіальних наведені на рис. 2.

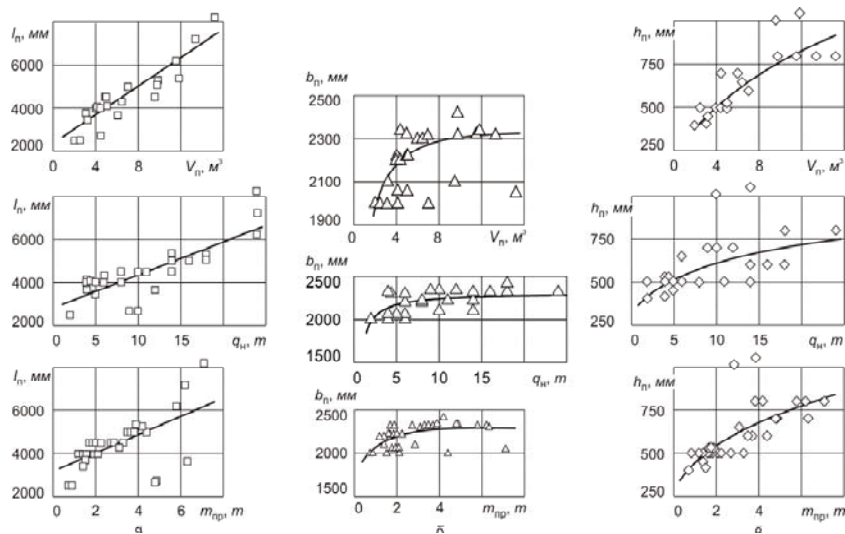
Таблиця 2 – Кореляційно-регресійні моделі довжини, ширини і висоти бортів платформи тракторних причепів залежно від їх маси і вантажопідйомності та об'єму платформи

Результативна і факторіальна ознаки	Коефіцієнт кореляції Кореляційне відношення	Прогностична функція Рівняння регресії	R^2 -коефіцієнт	Помилка рівняння регресії S_y	Коефіцієнт детермінації k_d
Довжина l_n (мм) платформи і маса $m_{пр}$ (м) причепа	$\frac{0,614}{0,611}$	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $l_n = 3148,47 + 424,24 m_{пр}$	0,377	908	0,377
Довжина l_n (мм) платформи і вантажопідйомність q_n (м) причепа	$\frac{0,824}{0,798}$	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $l_n = 2840 + 151,7 q_n$	0,678	653	0,678
Довжина l_n (мм) і об'єм V_n (м ³) платформи	$\frac{0,891}{0,868}$	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $l_n = 2378,65 + 330,05 V_n$	0,794	522	0,794
Ширина b_n (мм) платформи і маса $m_{пр}$ (м) причепа	$\frac{0,399}{0,535}$	Зростаюча гіпербола $b_n = 2324,07 - 250,49 / m_{пр}$	0,286	108	0,286
Ширина b_n (мм) платформи і вантажопідйомність q_n (м) причепа	$\frac{0,595}{0,631}$	Зростаюча гіпербола $b_n = 2309 - 685,54 / q_n$	0,346	99	0,398
Ширина b_n (мм) і об'єм V_n (м ³) платформи	$\frac{0,319}{0,530}$	Зростаюча гіпербола $b_n = 2360,36 - 760,17 / V_n$	0,281	108	0,281
Висота h_n (мм) платформ і маса $m_{пр}$ (м) причепа	$\frac{0,694}{0,769}$	Сповільнено зростаюча степенева $h_n = 433,195 m_{пр}^{0,3233}$	0,591	103	0,591
Висота h_n (мм) платформи і вантажопідйомність q_n (м) причепа	$\frac{0,625}{0,662}$	Сповільнено зростаюча степенева $h_n = 349,34 q_n^{0,241}$	0,438	121	0,438
Висота h_n (мм) і об'єм V_n (м ³) платформи	$\frac{0,829}{0,854}$	Сповільнено зростаюча степенева $h_n = 273,029 V_n^{0,4474}$	0,729	84	0,729

Джерело: розроблено авторами

При зміні маси і номінальної вантажопідйомності причепа відповідно від 0,735 до 7,10 т і від 2,0 до 24,0 т в розрахунку на одну тонну збільшення маси і вантажопідйомності причепа довжина платформи зростає в тій же послідовності на 424 і 152 мм. Зі зміною об'єму платформи від 2,0 до 15,2 м³ його збільшення на один м³ супроводжується зростанням довжини платформи на 330 мм. Зі збільшенням маси і вантажопідйомності причепа понад відповідно 4 і 10 т та об'єму платформи понад 8 м³ інтенсивність зростання її ширини значно уповільнюється. Із збільшенням маси причепів $m_{пр}$ від 4 до 7,1 т і вантажопідйомності q_n від 10 до 24 т та об'єму платформи V_n від 8,0 до 15,2 м³ зростання висоти платформи значно уповільнюється. Уповільнене зростання висоти платформи із збільшенням масово-об'ємних параметрів тракторних

причепів свідчить, що висота платформи в міру збільшення $m_{\text{пр}}$, $q_{\text{н}}$ і $V_{\text{п}}$ має сягати відповідних граничних значень.



а) зміна довжини платформи $l_{\text{п}}$; б) зміна ширини платформи $b_{\text{п}}$; в) зміна висоти платформи $h_{\text{п}}$

Рисунок 2 – Кореляційні поля і модельні лінії регресії довжини $l_{\text{п}}$, ширини $b_{\text{п}}$ і висоти $h_{\text{п}}$ платформ тракторних причепів по масі $m_{\text{пр}}$, вантажопідйомності $q_{\text{н}}$ і об'єму платформи $V_{\text{п}}$

Джерело: розроблено авторами

Граничне значення висоти платформи $h_{\text{п}}$ можна визначити за асимптотою гіперболи, оскільки її вважають [14] частковим випадком степеневі функції. Якщо експериментальні парні значення $h_{\text{п}}$ і $m_{\text{пр}}$, $h_{\text{п}}$ і $q_{\text{н}}$ та $h_{\text{п}}$ і $V_{\text{п}}$ апроксимувати рівняннями сповільнено зростаючих гіпербол, то значення R^2 -коефіцієнтів, що визначають наближення вирівняних і експериментальних значень висоти платформи, дорівнюють відповідно 0,406 та 0,274 і 0,536. Асимптоти рівнянь гіпербол в тій же послідовності дорівнюють 774,19 мм та 714,09 і 712,77 мм. Помилки рівнянь криволінійної регресії $h_{\text{п}}$ на $m_{\text{пр}}$ та $h_{\text{п}}$ на $q_{\text{н}}$ і $h_{\text{п}}$ на $V_{\text{п}}$ дорівнюють відповідно (табл. 2) 103 мм та 121 і 84 мм. Асимптоти рівнянь гіпербол це водночас і граничні значення висоти платформи залежно від $m_{\text{пр}}$ та $q_{\text{н}}$ і $V_{\text{п}}$. Визначені граничні значення висоти платформи тракторних причепів по основних бортах залежно від масово-об'ємних параметрів ТЗ знаходяться в межах помилок рівнянь криволінійної регресії. Тому при проектуванні тракторних причепів варто дотримуватися їх висоти платформи по основних бортах, що знаходиться в межах 775 мм з урахуванням помилок відповідних рівнянь криволінійної регресії.

Висновки. За коефіцієнтами детермінації із сукупного впливу різних факторів на довжину та ширину і висоту платформи тракторних причепів на частку факторів, що визначають їх масово-об'ємні параметри, припадає відповідно 37,1–79,4% та 28,1–39,8 і 43,8–72,9% варіації. Результати досліджень варто враховувати при проектуванні і конструюванні тракторних причепів та організації їх використання в транспортно-технологічному забезпеченні механізованого виробництва аграрної продукції.

Напрямок подальших розвідок на нашу думку слід спрямовувати на дослідження і проектування навантажувально-транспортного комплексу в технологічних процесах виробництва продукції рослинництва.

Список літератури

1. Мацепуро М.Е. К вопросу разработки подвижного состава сельскохозяйственного транспорта. *Вопросы земледельческой механики*. Минск: Гос. изд-во БССР. 1959. Т. 1. С. 230–283.
2. Завалишин Ф.С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве. Москва: Колос, 1973. 319 с.
3. Диденко Н.К. Обоснование грузоподъемности транспортных средств. *Математические методы прогнозирования сельскохозяйственного производства: прогнозирование развития материально-технической базы*. Киев: УкрНИИНТИ, 1970. Вып. 3. С. 31–33.
4. Мерзвинская Е.П., Рыбкина А.А. Тракторные транспортные машины. *Справочник конструктора сельскохозяйственных машин*: В 4 т. / под ред. М.И. Клецкина. Москва: Машиностроение, 1968. Т. 4. С. 80–96.
5. Douglas W. Harwood, Darren J. Torbic, Karen R. Richard, William D. Glauz and Lily Elefteriadou. Review of Truck Characteristics as Factors in Roadway Design. *Transportation Research Board*. Washington D. C. 2003. 198 p.
6. Лимонт А.С. Вантажопідоймність і розміри кузовів тракторних причепів. *Вісник Харків. нац. техн. ун-ту с. г. ім. Петра Василенка: механізація с.-г. виробництва*. Харків, 2012. Вип. 124. Т. 1. С. 110–120.
7. Лимонт А.С. Прогнозирование массово-размерных параметров тракторных прицепов. *Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве*: сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Минск, 21–23 ноября 2018 г.) / Мин-во сельского хозяйства и продовольствия республики Беларусь, Белорусский гос. аграр. техн. ун-т / ред. кол.: В.П. Чеботарев и др. Минск: БГАТУ, 2018. С. 396–399.
8. Лимонт А.С. Корреляционно-регрессионные модели объемных и массово-размерных параметров тракторных прицепов. *Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства*: сб. науч. трудов / ред. кол.: В.Р. Петровец и др. Горки: БГСХА, 2019. Вып. 4. С. 129–134.
9. Герасимович А.И., Матвеева Я.И. Математическая статистика: учеб. пособ. [для инж.-техн. и эконом. спец. вузов]. Минск: Вышэйшая школа, 1978.
10. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учеб. пособ. Москва: Изд-во Москов. ун-та, 1972. 292 с.
11. Методика статистической обработки эмпирических данных. РТМ 44–62. Москва: Изд-во стандартов, 1966. 100 с.
12. Уланова Е.С., Забелин В.Н. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии: монография. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1990. 208 с.
13. Рыжов П.А. Математическая статистика в горном деле. Москва: Высшая школа, 1973. 287 с.
14. Бронштейн И.Н. и Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. 608 с.

References

1. Matsepuro, M. Ie. (1959). K voprosu razrabotki podvizhnogo sostava selskokozyaystvennogo transporta. [On the issue of developing rolling stock of agricultural transport]. *Voprosyi zemledelcheskoy mehaniki – Agricultural mechanics issues*, 1, 230–283 [in Russian].
2. Zavalishin, F.S. (1973). *Osnovyi rascheta mehanizirovannyih protsessov v rastenievodstve* [Fundamentals of the calculation of mechanized processes in crop production]. Moskva: Kolos [in Russian].
3. Didenko, N.K. (1970). Obosnovanie gruzopod'emnosti transportnyih sredstv. [Rationale for the carrying capacity of vehicles]. *Matematicheskie metodyi prognozirovaniya selskokozyaystvennogo proizvodstva: prognozirovanie razvitiya materialno-tehnicheskoy bazyi – Mathematical methods for forecasting agricultural production: forecasting the development of material and technical base*, 2, 31–33 [in Russian].
4. Merzhvinskaya, E.P. & Ryibkina, A.A. (1968). Traktornye transportnye mashiny. [Tractor Transport Machines]. *Spravochnik konstruktora selskokozyaystvennyih mashin – Agricultural Machine Designer Reference*, 4, 80–96 [in Russian].
5. Douglas, W. Harwood, Darren J. Torbic, Karen R. Richard & William D. (2003) Glauz and Lily Elefteriadou. Review of Truck Characteristics as Factors in Roadway Design. *Transportation Research Board*. Washington D. C. 198 p.
6. Limont, A.S. (2012). Vantazhopidomyist i rozmiri kuzoviv traktornih причепив. [Vantazhopidomomi i rozmiri body_v tractor tractors]. *Visnik Harkiv. nats. tehn. un-tu s. g. im. Petra Vasilenka: mehanizatsiya*

- s.-g. virobnitstva. Harkiv – Visnik Harkiv. nat. tech. un-that. city of im. Petra Vasilenka: mechanization s.-g. virobnitstva, 12, 1, 110–120 [in Ukrainian].
7. Limont, A.S. (2018). Prognozirovaniye massovo-razmernykh parametrov traktornykh pritsepov. [Prediction of mass-dimensional parameters of tractor trailers]. *Tekhnicheskoe obespechenie innovatsionnykh tekhnologiy v selskom hozyaystve*: sb. nauch. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Minsk, 21–23 noyabrya 2018 g.) / Min-vo selskogo hozyaystva i prodovolstviya respubliki Belarus, Belorusskiy gos. agrar. tehn. un-t / red. kol.: V.P. Chebotarev [i dr.]. – *Technical support of innovative technologies in agriculture*: sat scientific Art. Int. scientific-practical conf. (Minsk, November 21–23, 2018) / Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, Belarusian State. agrarian. tech. un-t / ed. col. : V.P. Chebotarev [et al.]. Minsk: BGATU, 396–399 [in Russian].
 8. Limont, A.S. (2019). Korrelyatsionno-regressionnyye modeli ob'emnykh i massovo-razmernykh parametrov traktornykh pritsepov. [Correlation-regression models of volumetric and mass-dimensional parameters of tractor trailers]. *Innovatsionnyye resheniya v tekhnologiyah i mehanizatsii selskohozyaystvennogo proizvodstva*: sb. nauch. trudov / red. kol.: V.R. Petrovets [i dr.]. – *Innovative solutions in technologies and mechanization of agricultural production*: Sat. scientific proceedings / ed. col. : V.R. Petrovets [et al.]. Gorki: BGSHA, 4, 129–134 [in Russian].
 9. Gerasimovich, A.I., Matveeva Ya.I. (1978). *Matematicheskaya statistika*: ucheb. posob. [dlya inzh.-tehn. i ekonom. spets. vtuzov]. [*Mathematical statistics*: textbook. help for engineering-technical. and economy. specialist. technical colleges]. Minsk: Higher School, 200 [in Russian].
 10. Dmitriev, E.A. (1972). *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii* [*Mathematical statistics in soil science*]. Moscow: Moscow Publishing House. university, 292 [in Russian].
 11. *Metodika statisticheskoy obrabotki empiricheskikh dannykh*. (1966) *RTM 44–62*. [*The technique of statistical processing of empirical data. RTM 44–62*]. Moscow: Publishing House of Standards, 100 [in Russian].
 12. Ulanova, E.S. & Zabelin, V.N. (1990). *Metodyi korrelyatsionnogo i regressionnogo analiza v agrometeorologii* [*Methods of correlation and regression analysis in agrometeorology*]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 208 [in Russian].
 13. Ryzhov, P.A. (1973). *Matematicheskaya statistika v gornom dele*. [*Mathematical statistics in mining*]. Moscow: Higher School, 287 [in Russian].
 14. Bronshtejn I.N. and Semendyaev, K.A. (1962). *Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashihsya vtuzov*. [*Maths reference for engineers and university students*]. Moscow: State Publishing House of Physics and Mathematics, 608 [in Russian].

Anatoliy Limont, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Zhytomyr Agrotechnical Colledge, Zhytomyr, Ukraine

Zlata Limont

The technical lyceum of Dnipro National University of Railway Tiansport, Dnipro, Ukraine

The Mass and Volume Parameters and the Linear Dimensions of the Platform of Tractor Trailers

The paper is armed at determining the mass and volume parameters of tractor trailers and looking far the qualitative and quantitative relations between the linear dimensions of the platform of transport vehicles and their mass and volume parameters. The mass and nominal loading capacity of trailers, as well as the volume of their plat form according to the main ramps were taken as the above parameters. The linear dimensions of the platform determine their internal length and width and the height by the mass ramps.

The investigated statistical binary relations are assessed by the coefficients correlation which augured additional values within the limits of 0.319–0.891, as well as by the correlation relations between the resultative indices according to factorial values from 0.530 to 0.868.

The qualitative chandes in the resultative indices depending on the factorial indices with the use of standard computer prodrans are described by the regression equations. In accordance with R^2 -coefficient by means of equalizing the experimental values of the investigated resultative indices by a set of approximating functions the character of the corresponding changes is determined. Depending on the mass and nominal loading capacity of the trailer and the volume of the platform according to the main ramps its internal length is changed according to rectilinear dependences with additional angular coefficients its width – by gradually increasing hyperbolas, and the height of the platform according to the main ramps gradually increases according to the degree functions. With respect to the changes in the height of the platform depending on the investigated factorial indices by the equations of gradually increasing hyperbolas as to their asymptotes the authors have determined the marginal increase in the height of the main ramps of the platform. Along with the change in the mass and nominal loading capacity of the trailers from 0.735 to 7.10 t and from 2.0 to 24.0 t respectively per ton, the increase in the mass and loading capacity of the trailer the length of the platform increases with the same

consequence by 424 and 152 mm. Along with the change of the platform volume per from 2.0 to 15.2 m³, its increase per m³ is accompanied by the increase in the length of the platform by 330 mm. Along with the increase of mass and loading capacity of the trailer in more than 4 and 10 t respectively, as well as the increase of the platform volume in more than 8 m³, the intensity of the increase of its width slows down gradually. The marginal increase in the height of the main ramps of the platform along with the change in its volume, mass and loading capacity of the trailer amounts to 713, 714 and 775 mm respectively.

The research results can be used for prognosticating the dimensions of the trailers under their calculation and design, as well as under the organization of the transporting support of the mechanized production of agricultural produce.

tractor trailers, mass, loading capacity, platform, volume, dimensions, correlation

Одержано (Received) 03.07.2020

Прорецензовано (Reviewed) 23.07.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 531.43:621.891

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).250-265](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).250-265)

В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, **С.В. Лисенко**, доц., канд. техн. наук, **А.В. Гриньків**, канд. техн. наук, ст. наук. співр., **А.Є. Чернай**, асп., **В.В. Слонь**, здобувач, **А.П. Лукашук**, асп.

*Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: AulinVV@gmail.com*

Вплив процесів, що відбуваються в рухомих спряженнях деталей транспортних машин під дією компонентів геомодифікатора, на ефективність триботехнологій припрацювання і відновлення

Показано, що ефективність реалізації триботехнологій припрацювання і відновлення систем і агрегатів транспортних машин залежить від підготовки робочого середовища в якому відбувається припрацювання трибоспрямих деталей. Розглянуто властивості основних компонентів геомодифікатора КГМТ-1: SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Обґрунтована їх активізація при подрібненні та подачі в зону тертя, реалізацію станів і процесів самоорганізації. З'ясовано умови формування захисних покриттів на робочих поверхнях деталей. Виявлено, що для матеріалів компонентів геомодифікатора КГМТ-1 з сильно гомеополлярними зв'язками, таких як SiO_2 , SiC та алюмосилікатний мінерал каолінит, спостерігається процес аморфізації, фазового перетворення $\alpha\text{-Si-k-Si}$. Показано як фізичні процеси обумовлюють протікання трибохімічних реакцій і формування захисних покриттів.
механічна активація, диспергування частинок, геомодифікатор тертя, спряження деталей, мастильне середовище, трибохімічні реакції

В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, **С.В. Лисенко**, доц., канд. техн. наук, **А.В. Гриньків**, канд. техн. наук, ст. научн. сотр, **А.Є. Чернай**, асп., **В.В. Слонь**, соискатель, **А.П. Лукашук**, асп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Влияние процессов, происходящих в подвижных сопряжениях деталей транспортных машин под действием компонентов геомодификатора, на эффективность триботехнологий приработки и восстановления

Показано, что эффективность реализации триботехнологий приработки и восстановления систем и агрегатов транспортных машин зависит от подготовки рабочей среды в котором происходит приработка трибоспрямих деталей. Рассмотрены свойства основных компонентов геомодификатора КГМТ-1: SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Обоснован их активизация при измельчении и подачи в зону трения, реализацию состояний и процессов самоорганизации. Выявлены условия формирования защитных покрытий на рабочих поверхностях деталей. Виявлено, что для материалов компонентов геомодифікатора КГМТ-1 с сильно гомеополлярными связями, таких как SiO_2 , SiC и алюмосилікатний мінерал каолінит, наблюдается процесс аморфизации, фазового превращения $\alpha\text{-Si-k-Si}$. Показано как физические процессы обуславливают протекание трибохимических реакций и формирования защитных покрытий.

механическая активация, диспергирование частиц, геомодификаторы трения, сопряжения деталей, смазочное среду, трибохимические реакции

Постановка проблеми. Рухомі спряження деталей систем і агрегатів транспортних машин знаходиться поблизу стану рівноваги, якщо відсутня когерентність матеріалів їх поверхневих шарів у трибоконтках [1]. При введенні в

зону трибоспряження суміші порошків геомодифікаторів тертя така система набуває неупорядкованої поведінки. При цьому великі частинки геомодифікаторів можуть утворювати когерентні і некогерентні фазові границі з матеріалами поверхонь деталей в залежності від міри відмінності фаз за структурою і усталеністю кристалічної ґратки. Когерентні фази можуть посилювати, або послабляти фазові границі частинок компонентів геомодифікаторів з поверхнями трибоспряження деталей. Для функціонування такої системи характерними є окремі елементи самоорганізації, які мають істотний керуючий вплив на протікаючі процеси і ефективність триботехнічного припрацювання і відновлення спряжень деталей. Важливим є взаємодії між частинками компонент геомодифікаторів і їх взаємодія з робочою поверхнею деталей систем і агрегатів транспортних машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання геомодифікаторів в мастильних матеріалах в зазорі трибоспряжень деталей сприяє формуванню рівноважної шорсткості їх робочих поверхонь під дією диспергівних та активуючих компонентів. При цьому рівноважна шорсткість прискорює досягнення сталої мікрогеометрії поверхні, що відтворюється в процесі тертя [2].

При визначенні особливостей структурнофазових перетворювань матеріалів при терті [3, 4] та закономірностей зношування робочих поверхонь деталей трибоспряжень доцільним є використання фізичної мезомеханіки зношування [5-7]. Трибофізико-матеріалознавчий підхід дає можливість оцінити ресурс спряжень деталей [8], виявити зміни триботехнічних характеристик та фізичних процесів в матеріалах [9]. При з'ясуванні сутності процесу припрацювання спряжень деталей [10] важливими є трибологічні переходи [11] і можливості триботехнологій припрацювання [12] та відновлення [9].

В роботі [13] розглядаються триботехнології припрацювання і відновлення на етапах життєвого циклу транспортних машин, але необхідно враховувати режими мащення [14, 15] та вплив наночастинок присадки на фізико-механічні властивості поверхні тертя [16]. Визначено, що триботехнології припрацювання і відновлення потребують системно-спрямованого [17] та синергетичного [18, 19] підходу до їх удосконалення щоб належним чином підвищити зносостійкість і рівень надійності й, по можливості, створити smart-покриття в зеленій трибології [20]. В триботехнологіях відновлення важливим є застосування багатокомпонентних присадок в мастильні матеріали, передусім це геомодифікатор тертя [21-24] та механізм формування композиційної оливи [25-27], який на сьогодні остаточно не виявлено.

Зносостійкість і надійність деталей транспортних машин залежить передусім від процесів взаємодії компонентів геомодифікаторів з оливою та їх робочими поверхнями [28, 29]. Разом з тим для оптимального керування режимами функціонування трибоспряжень деталей систем і агрегатів транспортних машин ще недостатньо розглянуто вплив компонентів комплексних присадок на поверхню тертя [30].

В процесі диспергування можливе спостереження укрупнених частинок компонентів геомодифікаторів у вигляді молекулярно-щільних агрегатів [31]. В роботі [32] формування частинок суміші не залежить від вихідної величини питомої поверхні і гранулометричного складу присадки. В той час в залежності від інтенсивності підведеної механічної енергії в процесі подрібнення частинок твердих компонентів геомодифікаторів відбувається зміна механізму їх дефектоутворення при переході від крихкого руйнування до стадії пластичного плину.

Умови навантаження, вплив мастильного середовища і матеріалів локального контакту з реалізацією процесів і стану самоорганізації змінюють швидкість зростання ентропії, віддаляючи або наближаючи момент руйнування частинок порошкової суміші

геомодифікатора, реалізуючи трибохімічні реакції з утворенням ювенільних поверхонь трибоспрямижень деталей [33].

Щоб підготувати порошкові суміші геомодифікатора до додавання їх в мастильне середовище і сформувати умови реалізації трибохімічних реакцій необхідно:

- подрібнити компоненти суміші, попередньо за допомогою подрібнювачів, або здійснити подрібнення в зоні тертя деталей;

- забезпечити ефективне змішування компонентів для отримання максимального числа контактів частинок й формування композиційного мастильного середовища [27];

- в зоні контакту частинок створити умови для забезпечення взаємної дифузії атомів або іонів компонентів, сприяти утворенню твердого розчину та виділення на поверхнях тертя кінцевого продукту трибохімічної реакції [30].

При терті поверхневі шари спряжених деталей піддаються сильному впливу мастильного середовища, в якому вони працюють при одночасному збуренні матеріалів трибосистем [34]. Врахування фізико-хімічних та механічних факторів процесів руйнування поверхневих шарів трибоспрямижень деталей дає підстави розглядати процес зношування, як кумулятивний, який підсумовує дії окремих факторів у процесі багаторазового повторюваного навантаження фрикційних зв'язків з відділенням частинок зносу з робочої поверхні деталі [34, 35].

Механічна активація частинок компонентів геомодифікатора в процесі подрібнення і механохімії в трибоспрямиженнях деталей при реалізації триботехнологій припрацювання і відновлення базується на двох основних принципах: імпульсний характер процесу виникнення поля механічних напружень та його релаксація; локальний характер механічного впливу на частинки порошкової суміші геомодифікатора в контактi між собою та з робочими поверхнями деталей спряження. Важливим при цьому є утворення ділатонно-компресонних локальних областей [36], в яких виникають поле механічних напружень і канали їх релаксації. Тривалість та форми існування поля напружень при реалізації самоорганізації процесів в трибоспрямиженнях деталей з композиційним мастильним середовищем та формуванням захисних покриттів на прикладі геомодифікатора КГМТ-1, слід враховувати при створенні і удосконаленні триботехнічного припрацювання і відновлення, але це потребує теоретичного обґрунтування та експериментального підтвердження.

Постановка завдання. Метою роботи є з'ясування впливу процесів, що протікають в трибоспрямиженнях деталей транспортних засобів при диспергуванні та активуванні частинок компонентів геомодифікатора КГМТ-1, на формування захисних ювенільних покриттів на робочих поверхнях деталей та ефективність підвищення зносостійкості і надійності спряжень деталей систем і агрегатів транспортних машин створеними триботехнологіями припрацювання та відновлення.

Виклад основного матеріалу. Ефективність реалізації триботехнологій припрацювання і відновлення спряжень деталей систем і агрегатів транспортних машин передусім залежить від підготовки робочого середовища (композиційні оливи, електроліти), які активізують суміші компоненти функціональна присадка. Традиційні технології подрібнення порошкових сумішей функціональних присадок, засновані на процесах роздавлювання, розколювання та ударяння та ін.. Разом з тим вони не задовольняють сучасним вимогам за ступенем диспергування частинок геомодифікаторів. Зазначимо, що достатнім ступенем вважається таке подрібнення, коли після введення в зону спряження частинки можуть взаємодіяти між собою і робочими поверхнями деталей на дифузійному і фізико-хімічному рівнях без їх пошкодження. В той час диспергування частинок геомодифікаторів тонкого помолу і субмікроскопічних розмірів та їх взаємодія між собою, з мастильним середовищем і

робочими поверхнями рухомих спряжень деталей недостатньо досліджено. Особливо це стосується механізмів і умов диспергування компонентів мінеральної сировини, з якої виготовляється геомодифікатор КГМТ-1.

Механічне подрібнення і активація твердих частинок геомодифікатора у дробарних апаратах в технологічному відношенні є традиційним прийомом, який дозволяє реалізувати імпульсне підведення механічної енергії до оброблюваних частинок порошкових сумішей. Підведення механічної енергії до порошкової суміші геомодифікатора при підготовці основи присадки забезпечується завдяки конструктивно-технологічних рішень промислових дробарних пристроїв [33]. При безпосередньому поданні в трибоспряження деталей це реалізується на плямах фактичного контакту поверхонь трибоспряжень деталей.

В основі механічного подрібнення частинок геомодифікатора, їх активації та участі у трибохімічних реакціях лежать фізичні явища, які виникають при впливі на матеріали діючих високих тисків зі зсувом. В результаті протікання фізичних явищ утворюються структурні і хімічні дефектів в об'ємі і на поверхнях матеріалів частинок геомодифікаторів, у поверхневих шарах матеріалів спряжених зразків і деталей. Зазначимо, що ці процеси принципово відрізняються від процесів подрібнення на підготовчій стадії й отримання геомодифікаторів з мінеральної сировини, в яких основну роль відіграють утворення нових поверхонь, а також розміри частинок компонентів. На стадії збагачення і поділу компонентів геомодифікатора, як мінеральної сировини, взятих окремо, слід використовувати методи попередньої переробки частинок для забезпечення оптимальних умов введення їх в зону трибоконтaktu деталей і отримати на стадії синтезу нові функціональні наноструктуровані матеріали та зносостійкі покриття на робочих поверхнях деталей у середовищі композиційної оливи.

Визначено, якщо частинки порошкової багатокомпонентної суміші геомодифікатора, що піддаються механічній обробці однофазні, то релаксація механічних напружень супроводжується наступними процесами: утворенням нової поверхні; появою дефектів у кристалах і метастабільних форм; аморфізацією твердої речовини частинок та хімічними перетвореннями. Питома вага реалізації процесів залежить від:

- умов трибомеханічного навантаження: конструкції трибоспряження деталей, інтенсивності підведення механічної енергії, швидкості навантаження і розвантаження зони трибоконтaktu;

- комплексу фізико-механічних властивостей частинок компонентів геомодифікатора;

- температури трибомеханічного впливу.

Спостереження за полем механічних напружень свідчить, що характер їх релаксації може змінюватися в процесі активації частинок компонентів геомодифікатора. Збільшення швидкості розвитку магістральних тріщин при руйнуванні кристалів частинок компонентів супроводжується зміною механізму руйнування поблизу джерела тріщини. Змінюються також розміри частинок геомодифікатора у відповідності до переходу процесу від крихкого подрібнення до їх пластичної деформації. Зазначимо, що позитивною ефективністю процесу подрібнення є отримання максимальної площі поверхні частинок при мінімальних витратах механічної енергії, а процесу активації – накопичення енергії у вигляді дефектів або інших змін у матеріалах частинок геомодифікатора та матеріалах спряжень деталей. При цьому наявна можливість зниження енергії активації хімічного перетворення або поліпшення умов для протікання процесів, особливо це стосується впливу просторової

орієнтації і об'єму молекул на хід трибохімічних реакцій.

Виявлено, що при розробці триботехнологій припрацювання і відновлення та їх удосконалення слід врахувати реальність ситуацій, коли час механічного впливу та формування поля напружень і їх релаксацій в трибохімічному процесі більше тривалості протікання самої хімічної реакції і процесу механічної активації. Зазначимо, якщо час механічного впливу та формування поля напружень менше часу хімічної реакції, то це свідчить про розділеність цих процесів в часі. Кінетика процесів в зоні тертя трибоспряжень деталей з геомодифікатором залежить від зміни розмірів і форми його частинок, компонентів геомодифікатора, питомої площі утвореної поверхні, спонтанно утворених комплексів й обумовлює формування вторинних структур матеріалу компонентів.

Для реалізації триботехнологій припрацювання і відновлення після попередньої механічної обробки подрібненням частинки геомодифікатора, вони вводяться в зону спряження деталей з певною затримкою в часі, оскільки враховується поділ у часі стадій силового впливу та трибохімічного процесу, який призводить до високочуджених станів матеріалів частинок, які вже встигають до цього моменту релаксувати і не можуть брати участь в ініціюванні трибохімічних реакцій. Успадкованість ознак матеріалів компонентів геомодифікатора, спостерігали на стадіях їх підготовки і формування композиційних олів. Зазначимо, що при розробці триботехнологій відновлення, найчастіше виключають з розгляду механоактивації реагентів на стадії трибохімічних реакцій у трибоспряженні деталей.

Якщо реалізується тонке подрібнення геомодифікатора, то у технологічному процесі підготовки його комплексного складу, можливо значно прискорити субмікроскопічне диспергування і активацію функціональних частинок компонентів в трибоспряженні деталей, які сприяють реалізації фізико-хімічних взаємодій в зоні контакту. Швидкість протікання процесів у зоні контакту визначається взаємодією частинок, що вступають в трибохімічну реакцію. При цьому враховуються число і площа локальних контактів частинок між собою з робочими поверхнями спряжених деталей, які визначають швидкість протікання трибохімічної реакції. Передусім це стосується початкової стадії процесу трибоконтрактування. Субмікроскопічне диспергування частинок геомодифікатора приводить до підвищення однорідності змішування та утворення просторово-часової структури коагуляційного типу в ротаційному полі композиційного мастильного матеріалу в трибоспряженні деталей, яка інтенсифікується частотою його пружної хвилі.

Показано, що для забезпечення тонкого помолу геомодифікатора практичне значення відіграє явище втоми матеріалу частинок його компонентів, зниження статичної і динамічної міцності частинок в момент періодичних навантажень і розвантажень зони локального контакту з достатньо високою частотою. Разом з тим імпульсний механічний вплив підвищує втомлюваність матеріалу частинок геомодифікатора і відповідно зменшує міцність їх структури. При цьому прискорюється руйнування, оскільки залишкові деформації не встигають розвинути, як і при ударному руйнуванні швидко наростаючою силою. Характерним для міцності реальних частинок геомодифікатора є масштабний фактор: збільшується міцність частинок із зменшенням їх розмірів в інтервалі $10^{-1} \dots 10^{-4}$ мм. Масштабний фактор пояснює різке підвищення складності процесу подрібнення при переході до тонких і субмікроскопічних фракцій частинок геомодифікатора.

Виявлено, що процес грубого помолу базується на розвитку наявних дефектів структури матеріалу частинок. Разом з тим при переході до більш дрібних фракцій частинок геомодифікатора дефекти в них стають більш рідкісними, а самі частинки –

більш міцними. Практична межа механічного диспергування частинок геомодифікатора становить від 1,0 до 0,1 мкм [36]. При подальшому подрібненні спостерігається утворення нових дефектів у майже ідеально міцних частинках і до їх подальшого накопичення і розвитку. У триботехнологіях припрацювання і відновлення основним завданням механоактивації частинок геомодифікатора є прискорення трибохімічної взаємодії частинок функціональних компонентів в першу чергу з робочими поверхнями трибоспряжень деталей, а також самоорганізація селективної взаємодії частинок компонентів геомодифікатора між собою. Розв'язання цього завдання вимагає субмікроскопічного і наномасштабного диспергування. Ступінь диспергування частинок визначається гранулометричним складом частинок компонентів геомодифікатора.

Дослідженню підлягали компоненти геомодифікатора КГМТ-1: Si, SiO₂, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃ та ін. Частинок кварцу SiO₂, активовані ударним напруженням утворюються, головним чином неправильної форми з гострими краями. Частинок кварцу, піддані подвійній ударній дії, мають округлу форму з гладкою поверхнею. Вторинні частинки кварцу, отримані шляхом ударних навантажень, мають розмір до 0,2 мкм, а при подвійному ударному впливі – не більше 0,01 мкм [33]. У відповідності до ступеня подрібнення частинки мають різні розміри питомої поверхні. При зменшенні їх розміру питома поверхня збільшується по мірі зростання переданої матеріалу механічної енергії, поки не досягається стан рівноважного подрібнення.

Показано, що вирішальна роль в зміні первинної структури належить матеріалу компонента геомодифікатора. При цьому істотним є взаємозв'язок між структурою і реакційною здатністю матеріалу подрібнених частинок. Якщо підсилюється інтенсивність механічного подрібнення, то зміни первинної та вторинної структур матеріалу частинок відбуваються в одному і тому ж напрямку. Разом з тим слід зазначити, що вторинна структура матеріалу частинок геомодифікатора важлива для поверхневих трибохімічних реакцій. На основі цього можливо пояснити механізм дії геомодифікаторів у формуванні наноструктурованих шарів на робочих поверхнях трибоспряжень деталей.

Визначено, що прискорення реакції взаємодії та зниження температури синтезу нових хімічних з'єднань елементів, нових фаз, можливо пояснити утворенням молекулярно-щільного контакту частинок різних компонентів геомодифікатора між собою і поверхнями трибоспряжень деталей, їх пластичного плину, завдяки активації локальної площини зсуву трибоконтракту. Час життя збуджених станів матеріалу частинок геомодифікатора зростає при пониженні температури, що свідчить про більш високу активність при низьких швидкісних режимах.

Виявлено, що з ростом температури рухливість частинок компонентів геомодифікатора починає зростати, йдуть процеси пригнічення, сповільнення та утворення дефектів і рекристалізації їх матеріалу, які пов'язані із зменшенням надлишкової ентропії. В процесі активації, після нетривалого диспергування, відбувається укрупнення частинок. Показано, що швидкість укрупнення частинок геомодифікатора тим вище, чим інтенсивніше підводиться механічна енергія, але фізико-механічні властивості матеріалу частинок компонентів знижуються. Утворення молекулярно-щільних агрегатів у процесі інтенсивного пластичного плину матеріалу частинок є одним з визначальних чинників твердофазного механохімічного синтезу.

З'ясовано, що формування молекулярно-щільних агрегатів компонентів геомодифікаторів, що містить в якості одного з основних компонентів MgO, в процесі механохімічної взаємодії обумовлює розвиток ланцюгової реакції за рахунок екзотермічного ефекту. З'ясовано, що експериментально спостережувані високі

температури в зоні трибоконтакту розвиваються за рахунок протікання трибохімічної реакції на ювенільній поверхні деталей трибоспряження й утворених нових поверхонь диспергованих частинок компонентів геомодифікатора. Інтенсивний локальний розігрів матеріалів рухомих спряжень деталей відіграє важливу роль у реалізації триботехнологій припрацювання і відновлення при формуванні шарів вторинних структур активованих матеріалів частинок компонентів геомодифікатора.

Встановлено, що концентрація тріщин, порожнин, внутрішніх напружень у матеріалах частинок безперервно зменшується по мірі того, як в процесі розколювання їх розмір зменшується. Зі зменшенням розміру частинок підвищуються їх гомогенність і міцність. Визначено, що для забезпечення процесу більш глибокого подрібнення необхідні безперервно зростаючі механічні напруження. Ефективність такого диспергування частинок геомодифікатора можлива шляхом впливу на них деформацій розтягу. Внаслідок стискання частинок компонентів геомодифікатора в зоні локальних мікрооб'ємів, при виході з трибоконтакту, відбувається різкий спад навантаження на частинки після кожного обтиснення у замкнутому циклі роботи трибоспряження деталей. Визначено, що при імпульсному обтисненні твердих частинок SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 геомодифікатора КГМТ-1, порядку $900\text{...}1400 \text{ МПа}\cdot\text{с}^{-1}$, вихідні розміри частинок істотно зменшуються (табл. 1).

Таблиця 1 – Залежність розмірів частинок, геомодифікатора КГМТ-1 від часу диспергування за допомогою вібромлину та безпосередньо в зоні тертя при інтенсивності тиску $1000 \text{ МПа}\cdot\text{с}^{-1}$.

Компонент геомодифікатора	Умови диспергування	Розмір частинок геомодифікатора (нм) від тривалості випробувань (год.)			
		0,25	0,50	0,75	1,00
SiO_2	після диспергування вібромлином	1000	900	800	700
SiO_2	диспергування безпосередньо в зоні тертя	900	500	250	100
MgO	після диспергування вібромлином	900	750	600	500
MgO	диспергування безпосередньо в зоні тертя	300	200	150	100

Джерело: розроблено авторами

Визначено, що за короткий цикл навантаження-розвантаження в зоні контакту поверхонь трибоспряження деталей або зразків можлива реалізація диспергування частинок компонентів геомодифікатора до рівня оптимальної взаємодії з елементами системи трибоспряження деталей без пошкодження їх робочих поверхонь після припрацювання. Критерієм застосовності такого способу диспергування частинок різних матеріалів може слугувати відношення границі їх міцності на стиск до границі міцності на розтяг. Чим вище значення цього відношення, тим більш ефективним є спосіб подрібнення матеріалу компонентів геомодифікатора.

Отримані результати закономірностей зміни розмірів частинок компонентів геомодифікатора КГМТ-1 (табл. 2) на основі експериментальних досліджень.

Таблиця 2 – Закономірність зміни розмірів подрібнених частинок компонентів геомодифікатора КГМТ-1, які мають різні границі міцності (МПа), від інтенсивності об'ємного стиску ($\text{МПа} \cdot \text{с}^{-1}$)

Межі інтервалів міцності компонентів геомодифікатора, σ_B , МПа	Дисперсність частинок геомодифікатора (нм) від тривалості часу випробування (год.)		
	1	2	3
(0; 10)	400	150	120
(10; 50)	650	500	400
(50; 100)	1100	750	600
(100; 150)	1350	900	750

Джерело: розроблено авторами

Визначено, що для кожного компонента при визначеному імпульсі тиску об'ємного стиску існує певна границя диспергування. У вихідних частинках компонентів геомодифікатора з існуючими дефектами, коли основну роль відіграє не зародження, а розмноження дислокацій, то порогова енергія істотно мала в порівнянні з модулем зсуву $10^{-3} \dots 10^{-4}$. Гетерогенне виникнення точкових дефектів при наявності дислокацій або інших джерел дефектів вимагає подолання високого енергетичного бар'єру. У реальних кристалах матеріалів компонентів геомодифікатора КГМТ-1, що мають дефекти, пороговий рівень надлишкової енергії, необхідний для відтворення дефектів, є значно нижчим.

Виявлено, що при перевищенні граничного значення енергії починається зворотний процес – агрегування або спресовування субмікроскопічних частинок геомодифікатора. З'ясовано, що чим вище границя міцності матеріалу частинки компоненти, тим вище процес її подрібнення.

Встановлено, що якщо механічний імпульс тиску вищий за граничну величину і відсутнє мастильне середовище, в зазорі трибоспряжень зразків та деталей утворюються достатньо щільні, але порівняно малостійкі скупчення частинок компонентів геомодифікатора. При цьому у сформованого покриття каркас одержуваних агрегатів частинок компонентів геомодифікатора складають більш тверді і великі частинки, проміжки між якими заповнюються більш дрібними фракціями частинок різного складу.

При розробці схеми диспергування частинок геомодифікатора використовується ефект локальної зони поширення тиску на довжину $L \approx (3 \dots 4)\delta$, де δ – величина зазору між контактуючими спряженими зразками або деталями при об'ємному стиску $\sim 500 \dots 600$ МПа. При кожному циклі "підвищення тиску – зменшення тиску", що діє в мікрооб'ємі матеріалу частинок компонентів, в зоні трибоспряжень деталей утворюється своєрідна, безперервно змінювана область підшару, прилегла частина якого контактує з поверхневими шарами спряжених деталей за фізико-хімічним механізмом їх взаємодії. Мінімальна дисперсність частинок компонентів геомодифікаторів пропорційна енергонапруженості зони тертя спряження деталей і досягає величини $\sim 0,5$ нм. При дисипації енергії, що передається частинкам геомодифікатора при механічному диспергуванні в трибоспряженні деталей, швидко зникають збуджені стани, а зберігаються лише рівноважні метастабільні стани зі зміненою структурою матеріалів частинок.

З'ясовано, що умови рівноваги, які вимагаються згідно термодинаміки оборотних процесів, практично не виконуються. Разом з тим визначено, що співвідношення рівноважної термодинаміки можна застосовувати при обґрунтуванні характеру протікання трибохімічних реакцій у тих випадках, коли час життя дефекту

ґратки матеріалу частинок геомодифікатора, утвореного механічним шляхом, більше, ніж час їх протікання, в тому числі час встановлення рівноваги. Трибохімічна рівновага системи з матеріалами спряжених деталей, що піддаються активації в процесі експлуатації, можна розглядати як реально існуючу рівновагу, і застосовувати до неї співвідношення термодинаміки оборотних процесів [31].

Визначено, що трибомеханічний вплив на частинки компонентів геомодифікатора призводить не тільки до утворення певних типів дефектів кристалічної ґратки матеріалу, але і прискорює їх відпал. В важконавантажених трибоспряженнях деталей при трибомеханоактивації з'являється максимум концентрації дефектів ґратки їх матеріалів, положення якого залежить від матеріалу компонентів геомодифікатора і інтенсивності термомеханічного навантаження. Встановлено, що максимум залежності величини питомої поверхні $S_{\text{пит}}$ від тривалості механічної активації спостерігається для основних компонентів SiO_2 , MgO геомодифікатора КГМТ-1 при випробуваннях спряження зразків (табл. 3).

Можна бачити, що для компоненти SiO_2 геомодифікатора КГМТ-1 з малою вихідною поверхнею відбувається нелінійна зміна поверхні: швидке її збільшення на початку процесу, а після деякого періоду подрібнення досягається кінцева стаціонарна величина. Зазначимо, що зменшення поверхні подрібнюваних частинок компонент геомодифікатора пояснюється станом рівноваги Хюттига при подрібненні.

Таблиця 3 – Залежність величини питомої поверхні $S_{\text{пит}}$, від тривалості диспергування при подрібненні вібрмлином та безпосередньо в зоні тертя трибоспряжень зразків

Компонент геомодифікатора	Умови диспергування	Залежність питомої поверхні ($\text{м}^2/\text{г}$) від тривалості випробувань, год				
		0,25	0,50	0,75	1,00	2,0
SiO_2	після диспергування вібрмлином	2,5	2,4	5,2	8,2	10,3
SiO_2	диспергування безпосередньо в зоні тертя	6,2	12,4	13,2	14,0	14,2
MgO	після диспергування вібрмлином	2,1	3,4	5,8	7,2	8,0
MgO	диспергування безпосередньо в зоні тертя	3,4	5,8	9,6	20,0	25,0

Джерело: розроблено авторами

Виявлено, що для матеріалів компонентів геомодифікатора КГМТ-1 з сильно гомеоплярними зв'язками: SiO_2 , SiC , алюмосилікатний мінерал каолінит спостерігається процес аморфізації. Для визначення ступеня розупорядкованості тонкоподрібненої і субмікродиспергованої частинки матеріалу компонентів геомодифікатора використовуються параметри ступеня кристалічності і аморфізації. Для компоненти SiO_2 КГМТ-1 спостерігається деяке збільшення і подальше зменшення ступеня аморфізації в процесі диспергування в трибоконтаті зразків і деталей. Наслідком наявності аморфної фази кремнію $\alpha\text{-Si}$ в зоні рухомого контакту зразків і деталей і перекладеної імпульсними трибоджерелами в активний структурно-нестійкий стан аморфно-кристалічної $\alpha\text{-}k$ -границі поділу, є кристалізація $\alpha\text{-Si}$ з утворенням зносостійкого шару полікристалічного $k\text{-Si}$ на робочих поверхнях деталей трибоспряження в діапазоні температур, що виникають на плямах фактичного контакту.

Час охолодження мікрооб'ємів матеріалів функціональних сполук (α -Si) геомодифікатора, що вийшли з контакту, а також поверхонь контакту спряжених деталей від температури спалаху до середньої температури робочої поверхні, протікають в умовах швидкостей ковзання зразків і деталей 3-4 м/с, складає $10^{-5} \dots 10^{-6}$ с. Через те, що час релаксації стабільної кристалічної структури еквіатомного металу складає близько 10^{-13} с, то можна стверджувати, що відповідні структури поверхневих шарів трибоспряжень матеріалу деталей в "пасивному" стані повністю кристалізовані. Аморфно-кристалічна будова α -Si- k -Si границі поділу фаз, насиченою додатковими компонентами геомодифікатора і киснем з робочого середовища, що передбачає перевищення часу релаксації стабільної кристалічної структури вказане значення то спостерігається необхідний дифузійний перерозподіл чужорідних атомів. Ці стани виявляються зв'язаними в стійкі, але малорухомі комплекси (кластери), при низькій температурі робочого середовища за межами зони контакту.

Найбільш ймовірна фіксація аморфно-кристалічного стану матеріалу частинок при наявності в загартованому з високою швидкістю α -Si \rightarrow k -Si домішкових елементів, що гальмують при переохолодженні формування рівноважних кристалічних фаз k -Si. Фіксація на виході з трибоконтракту спряжених деталей метастабільної структури сформованого поверхневого трибошару забезпечує зниження енергії переходу мікрооб'ємів цього шару в "активний" стан при повторенні контакту. Позитивний ефект від фіксації метастабільної аморфно-кристалічної структури пов'язаний з тим, що ця структура має більш низьку енергію переходу в активний стан, що реалізує локалізацію зсуву при спостереженні процесу ковзання в найтоншому поверхневому шарі матеріалу деталей трибоспряження.

Слід зазначити, що зсувна компонента трибомеханічного контакту, не зміщуючи рівноваги між багатоконпонентною речовиною геомодифікатора КГМТ-1 і продуктом реакції, надає сильний вплив на швидкість процесу формування наноструктурованих трибошарів на робочих поверхнях деталей спряжень. Деформація зсуву матеріалів поверхневих шарів з притаманними їй зміщеннями атомів один відносно одного сприятлива для структурних змін, а деформація всебічного стиснення, пов'язана зі зменшенням або збільшенням міжатомних відстаней, значно рідше супроводжується хімічними ефектами.

Встановлено, що у багатьох випадках відбувається не тільки зміна швидкості реакції на ювенільній поверхні трибоконтракту спряжень деталей в результаті активації елементів системи спряження, але і зміна механізму каталітичного процесу. Це дозволяє шляхом механічної активації підвищувати селективність дії каталізатору Al_2O_3 , що міститься в геомодифікаторі КГМТ-1 більше ніж 4% за масою як його компонента. Особливу увагу заслуговує той факт, що механокаталіз в трибоспряженні деталей протікає в умовах, коли одночасно відбувається каталітична реакція і механічний вплив. Аморфізація SiO_2 та Al_2O_3 відбувається нетермічним процесом активування. Зазначимо також, що після хемосорбції на активних центрах поверхні тертя ініціюється утворення і зростання зародків функціональних силіцидних покриттів на робочих поверхнях деталей трибоспряження. Після утворення продукту твердофазної хімічної реакції, в залежності від співвідношення молекулярних об'ємів продукту і вихідної речовини компонентів геомодифікатора КГМТ-1, процес буде продовжуватися в кінетичному режимі або перейде у дифузійну область.

Висновки:

1. Встановлено, що найбільш обґрунтованим напрямком застосування методів активації й подрібнення частинок компонентів геомодифікатора КГМТ-1, а також механохімічних твердофазних їх реакцій є трибофізичні процеси в зоні рухомих

спряжень деталей систем і агрегатів транспортних засобів.

2. Здійснення гетерогенних трибохімічних реакцій у зоні трибоконтракту деталей в момент механічної активації частинок компонентів геомодифікаторів природного мінералу, як багатокомпонентної суміші призводить до якісно нових ефектів та полегшує протікання трибохімічної взаємодії активованих частинок геомодифікаторів КГМТ-1 з поверхнями тертя.

3. З'ясовано механізм самоорганізації диспергування компонентів геомодифікаторів тертя, коли швидкість швидкість протікання реакції визначається пластичною деформацією твердих частинок в трибоспряженні. Формування молекулярно-щільних агрегатів частинок геомодифікатора ініціює реалізацію процесу активації подрібненням, в якому може розвиватися самопідтримуюча реакція за рахунок екзотермічного ефекту.

4. Показано, що розупорядковані аморфні матеріали частинок компонентів геомодифікатора, містять структурні і стехіометричні дефекти, які підвищують їх реакційну здатність й спостерігається прояв нових властивостей у вигляді формування зносостійких наноструктурованих трибошарів на робочих поверхнях деталей спряжень.

5. Отримані результати дозволяють вирішити важливе завдання застосування мінеральної сировини – геомодифікатору КГМТ-1, шляхом диспергування частинок його компонентів в трибоспряженні: підвищення ресурсу функціонування рухомих спряжень систем і агрегатів транспортних машин формуванням захисних покриттів на робочих поверхнях деталей та створенням нових більш ефективних триботехнологій припрацювання та відновлення.

Список літератури

1. Горский В.В. Масштабный скачок и формирование аморфно-кристаллических сплавов в явлении структурной приспособляемости металлов при трении в активных средах. *Трение и износ*. 1993. №1. С.34-41.
2. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 526 с.
3. Аулін В.В., Кузик О.В., Лисенко С.В., Вербицький О.В. Особливості структурно-фазових перетворень в матеріалах деталей машин та механізмів при терті. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*: матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 225-227.
4. Аулін В.В., Чернай А.Є., Лукашук А.П. До фізичної природи швидкоплинних процесів у поверхневих шарах деталей трибоспряжень. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: Матеріали 1^{ої} Міжнародної науково-практичної конференції, 17-19 квітня 2019 р., Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С.13-14.
5. Аулін В.В., Лисенко С.В., Жилова І.В., Лисенко В.М. Фізична мезомеханіка зношування робочих поверхонь деталей трибоспряжень мобільної сільськогосподарської і автотранспортної техніки. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*: матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 223-225.
6. Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В., Жилова І.В. Фізико-мезомеханічний підхід до виявлення характеру зношування спряжень деталей сільськогосподарської і автотранспортної техніки. *Проблеми трибології*. Хмельницький: ХНУ, 2017. №4 С.82-86.
7. Аулін В.В., Жилова І.В., Лисенко С.В. Мезомеханіка – сучасний підхід до теорії зношування. *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. тез доповідей XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 75-77.
8. Аулін В.В., Кузик О.В., Жилова І.В., Лукашук А.П. Трибофізикоматеріалознавчий підхід при оцінці ресурсу деталей мобільної сільськогосподарської техніки. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*: матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 227-228.
9. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В., Чернай А.Є., Лукашук А.П. Можливості технологій триботехнічного відновлення для підвищення зносостійкості і довговічності спряжень деталей

- транспортних засобів. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал*. 2018, №1(10). С.5-11.
10. Аулін В.В., Вербицький О.В., Лисенко С.В., Лукашук А.П. Тертя та зношування – взаємозв'язані процеси в контактній зоні трибоспряжень деталей автотранспортної та сільськогосподарської техніки. *Підвищення надійності машин і обладнання: Зб. тез доповідей XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців*. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 73-75.
 11. Аулін В.В., Кропівний В.М., Кузик О.В. Формування структури високоміцних чавунів при виготовленні та лазерній модифікації деталей машин. *Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: International research and practice conference: Conference proceedings, December, 27-28 2017. Radom: Izdevnieciba "Baltija Publishing".* P. 103-106.
 12. Aulin V., Zamota T., Hrynkiv A., Lysenko S. at all. Increase of formation efficiency of gears contact spot at electrochemical-mechanical running-in. *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. Хмельницький. ХНУ, 24 (4/94) (2019). С.33-39.
 13. Аулін В.В., Тарнавський Д.В. Системне застосування триботехнологій припрацювання і відновлення на етапах життєвого циклу засобів транспорту. *Підвищення надійності машин і обладнання: зб. тез доповідей XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців*. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 86-87.
 14. Аулін В.В., Диха О.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Вплив режиму мащення на триботехнічні характеристики поверхні спряжень деталей дизелів автомобілів. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту: збірник наукових матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конференції*. ЦНТУ, м.Кропивницький, Україна, 14-15 листопада 2018 р.. Кропивницький. 2018. С.218-240.
 15. Аулін В.В., Деркач О.Д., Макаренко Д.О., Гриньків А.В. Вплив режимів експлуатації на зношування деталей, виготовлених з полімерно-композитного матеріалу. *Проблеми трибології*. Хмельницький: ХНУ, 2018. №4 С.65-69.
 16. Аулін В.В., Деркач О.Д., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Вплив фулереновмісних оливок на фізико-механічні властивості поверхні тертя спряжень деталей. *Проблеми трибології*. Хмельницький: ХНУ, 2018. №4 С.60-64.
 17. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В., Чернай А.Е., Лукашук А.П. Системно-спрямований підхід до розробки технологій безрозбірного відновлення спряжень деталей. *Крамаровські читання: зб. тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції, 21-22 лют. 2019 р., м. Київ, НУБіП. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2019. С. 94-96.*
 18. Аулін В.В., Лисенко С.В., Жилова І.В., Вербицький О.В. Синергетика підвищення зносостійкості і надійності трибоспряжень деталей систем і агрегатів машин. *Крамаровські читання: зб. тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції, 21-22 лют. 2019 р., м. Київ, НУБіП. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2019. С. 127-129.*
 19. Аулін В.В., Лисенко С.В., Жилова І.В., Вербицький О.В. Синергетичне підвищення надійності трибоспряжень деталей систем і агрегатів транспортних машин. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали 10ї Міжнародної науково-практичної конференції, 17-19 квітня 2019 р., Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С.7-8.*
 20. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В., Жилова І.В. Проблеми створення smart- покриттів в зеленій трибології. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали 10ї Міжнародної науково-практичної конференції, 17-19 квітня 2019 р., Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С.53-56.*
 21. Aulin V., Lysenko S., Lyashuk O., Hrynkiv A., Velykodnyi D., Vovk Y., Holub D., Chernai A. Wear resistance increase of samples tribomating in oil composite with geo modifier KGMF-1. *Tribology in Industry*. Vol. 41, No. 2 (2019). P. 156-165.
 22. Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Dykha A., Zamota T., Dzyura V. Exploring a possibility to control the stressed-strained state of cylinder liners in diesel engines by the tribotechnology of alignment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 3 (12 - 99). P. 6-16.
 23. Aulin V., Lysenko S., Hrynkiv A., Chernai A., Zhylova I., Lukashuk A. Wear resistance increase of samples tribomating "Steel 45-cast iron SCH20" with geo modifier KGMF-1. *Проблеми трибології*. Хмельницький. ХНУ, 2019. №2 С.55-60.
 24. Aulin V., Derkach O., Makarenko D., Hrynkiv A., Pankov A., Tykhyi A. Analysis of tribological efficiency of movable junctions "polymeric-composite materials – steel" *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 4 (12-100). P. 6-15.
 25. Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Lyashuk O., Zamota T., Holub D. Studying the tribological properties of mated materials C61900-A48-25BC1.25BNo.25 in composite oils containing geomodifiers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 5 (12-101). P. 38-47.

26. Aulin V., Lyashuk O., Hrynkiv A., Lysenko S., Zamota T., Vovk Y., Pankov A., Tykhyi A., Horkunenko A. Determination of the rational composition of the additive to oil with the use of the Katerynivka friction geo modifier. *Tribology in Industry*. Vol. 41. No. 4 (2019). P.548-562.
27. Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Zamota T., Pankov A., Tykhyi A. Determining the rational composition of tribologically active additive to oil to improve characteristics of tribosystems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6 (12-102). P. 52-64.
28. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Модель надійності деталей транспортних машин за процесами реалізації триботехнологій їх припрацювання і відновлення. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 2(33). С.50-64.
29. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Чернай А.Є., Лукашук А.П. Процес зміни стану оливи при припрацюванні спряжень деталей та обкатці двигунів транспортних машин *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 15-17 квітня 2020 р., Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.162-165.*
30. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В., Чернай А.Є., Лукашук А.П. Оптимальне керування режимами функціонування трибоспряминами деталей систем і агрегатів транспортних машин. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 15-17 квітня 2020 р., Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.178-179.*
31. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1986. 303с.
32. Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ. *Успех химии*. 2006. 75 (3). С.203-216.
33. Ткаченко Э.А. Трибохимические аспекты геомодификаторов трения. *Перспективные материалы, покрытия и технологии. Предельные состояния элементов конструкций* Матер. межд. научн. техн. конференции. Севастополь. 2011. С.107-115.
34. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах. Кіровоград: Лисенко В.Ф., 2014. 369 с.
35. Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення: монографія. Кропивницький: Лисенко В. Ф., 2016. 303 с.
36. Аулін Віктор Васильович. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки. Дисертація д-ра техн. наук: 05.02.04, Хмельниц. нац. ун-т. Хмельницький, 2015. 360 с.

References

1. Gorskiy, V.V. (1993). Masshtabnyiy skachok i formirovanie amorfnokristallicheskih splavov v yavlenii strukturnoy prispособlivaemosti metallov pri trenii v aktivnyih sredah [Large-scale jump and formation of amorphous-crystalline alloys in the phenomenon of structural adaptability of metals by friction in active media]. *Trenie i iznos - Friction and wear, 1*, 34-41 [in Russian].
2. Kragelskiy, I.V., Dobyichin, M.N. & Kombatov, V.S. (1977). *Osnovnyy raschetov na trenie i iznos [Basics of calculations for friction and wear]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
3. Aulin, V.V., Kuzyk O.V., Lysenko, S.V. & Verbytskyi, O.V. (2017). Osoblyvosti strukturno-fazovykh peretvoren v materialakh detalei mashyn ta mekhanizmiv pry terti [Features of structural-phase transformations in materials of details of machines and mechanisms at friction]. Problemy konstruiuvannya, vyrobnytstva ta ekspluatatsii silskohospodarskoi tekhniki: *materialy XI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the XI International scientific-practical conference*. Kropyvnytskyi: TsNTU, 225-227 [in Ukrainian].
4. Aulin, V.V., Chernai, A.Ie. & Lukashuk, A.P. (2019). Do fizychnoi pryrody shvydkoplynykh protsesiv u poverkhnykh sharakh detalei trybospriazhen [To the physical nature of transient processes in the surface layers of tribocouple parts]. *Increase of Machine and Equipment Reliability: Materialy 1oi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference, 17-19 kvitnia 2019 r., Kropyvnytskyi: TsNTU, 13-14* [in Ukrainian].
5. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Zhylova, I.V. & Lysenko, V.M. (2017). Fizychna mezomekhanika znoshuvannya robochykh poverkhon detalei trybospriazhen mobilnoi silskohospodarskoi i avtotransportnoi tekhniki [Physical mesomechanics of wear of working surfaces of details of tribocouples of mobile agricultural and motor transport equipment]. Problems of design, production and operation of agricultural machinery: *materialy XI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the XI International scientific-practical conference*. Kropyvnytskyi: TsNTU, 223-225 [in Ukrainian].

6. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Kuzyk, O.V. & Zhylova, I.V. (2017). Fyzyko-mezomekhanichni pidkhd do vyjavlennia kharakteru znoshuvannia spriazhen detalei silskohospodarskoi i avtotransportnoi tekhniky [Physico-mesomechanical approach to identifying the nature of wear of the joints of parts of agricultural and motor vehicles]. *Problemy trybolohii - Problems of tribology*. Khmelnytskyi: KhNU, 4, 82-86 [in Ukrainian].
7. Aulin, V.V., Zhylova, I.V. & Lysenko, S.V. (2018). Mezomekhanika – suchasnyi pidkhd do teorii znoshuvannia [Mesomechanics - a modern approach to the theory of wear]. Improving the reliability of machinery and equipment: *zb. tez dopovidei KhII Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh naukovtsiv - Coll. abstracts of the XII All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists*. Kropyvnytskyi: TsNTU, 75-77 [in Ukrainian].
8. Aulin, V.V., Kuzyk, O.V., Zhylova, I.V. & Lukashuk, A.P. (2017). Trybofizykomaterialoznavchyi pidkhd pry otsyntsi resursu detalei mobilnoi silskohospodarskoi tekhniky [Tribophysico-material approach in estimating the resource of mobile agricultural machinery parts]. Problems of design, production and operation of agricultural machinery: *materialy XI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the XI International scientific-practical conference*. Kropyvnytskyi: TsNTU, 227-228 [in Ukrainian].
9. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Hrynkiv, A.V., Chernai, A.Ie. & Lukashuk, A.P. (2018). Mozhlyvosti tekhnolohii trybotekhnichnoho vidnovlennia dlia pidvyshchennia znosostiikosti i dovhovichnosti spriazhen detalei transportnykh zasobiv [Possibilities of tribotechnical restoration technologies for increase of wear resistance and durability of conjugations of details of vehicles]. *Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti. Naukovyi zhurnal - Modern technologies in mechanical engineering and transport. Scientific journal*, 1(10), 5-11 [in Ukrainian].
10. Aulin, V.V., Verbytskyi, O.V., Lysenko, S.V. & Lukashuk, A.P. (2018). Tertia ta znoshuvannia – vzaïmozv'iazani protsesy v kontaktii zoni trybospriazhen detalei avtotransportnoi ta silskohospodarskoi tekhniky [Friction and wear - interconnected processes in the contact zone of the triad couplings of parts of motor vehicles and agricultural machinery]. Improving the reliability of machinery and equipment: *Zb. tez dopovidei KhII Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh naukovtsiv - Coll. abstracts of the XII All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists*. Kropyvnytskyi: TsNTU, 73-75 [in Ukrainian].
11. Aulin, V.V., Kropivnyi, V.M. & Kuzyk, O.V. (2017). Formuvannia struktury vysokomitsnykh chavuniv pry vyhotovlenni ta lazernii modyfikatsii detalei mashyn [Formation of the structure of high-strength cast iron in the manufacture and laser modification of machine parts]. Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: *International research and practice conference: Conference proceedings*, December, 27-28 2017. Radom: Izdavneciba "Baltija Publishing". P. 103-106 [in Ukrainian].
12. Aulin, V., Zamota, T., Hrynkiv, A., Lysenko, S. at all. (2019). Increase of formation efficiency of gears contact spot at electrochemical-mechanical running-in. *Problems of tribology*. Khmelnytskyi. KhNU, 24 (4/94). S.33-39 [in English].
13. Aulin, V.V. & Tarnavskiy, D.V. (2018). Systemne zastosuvannia trybotekhnolohii prypratsiuvannia i vidnovlennia na etapakh zhyttievoho tsykladu zasobiv transportu [Systematic application of tribotechnologies of running-in and restoration at the stages of the life cycle of vehicles]. Improving the reliability of machinery and equipment: *zb. tez dopovidei KhII Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh naukovtsiv - Coll. abstracts of the XII All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists*. Kropyvnytskyi: TsNTU, 86-87 [in Ukrainian].
14. Aulin, V.V., Dykha, O.V., Lysenko, S.V. & Hrynkiv, A.V. (2018). Vplyv rezhymu mashchennia na trybotekhnichni kharakterystyky poverkhni spriazhen detalei dyzeliv avtomobiliv [Influence of lubrication mode on tribotechnical characteristics of the interface surface of diesel car parts]. Innovative technologies for the development and efficiency of road transport: *zbirnyk naukovykh materialiv mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii - a collection of scientific materials of the international scientific-practical Internet conference*. TsNTU, m.Kropyvnytskyi, Ukraina, 14-15 lystopada 2018 r.. Kropyvnytskyi, 218-240 [in Ukrainian].
15. Aulin, V.V., Derkach, O.D., Makarenko, D.O. & Hrynkiv, A.V. (2018). Vplyv rezhymiv ekspluatatsii na znoshuvannia detalei, vyhotovlenykh z polimerno-kompozytnoho materialu [Influence of operating modes on wear of parts made of polymer-composite material]. *Problemy trybolohii - Problems of tribology*. Khmelnytskyi: KhNU, 4, 65-69 [in Ukrainian].
16. Aulin, V.V., Derkach, O.D., Lysenko, S.V. & Hrynkiv, A.V. (2018). Vplyv fullerenovmisnykh olyv na fyzyko-mekhanichni vlastyvoli poverkhni tertia spriazhen detalei [Influence of fullerene-containing oils on physical and mechanical properties of the friction surface of parts]. *Problemy trybolohii - Problems of*

- tribology. Khmelnytskyi: KhNU, 4, 60-64 [in Ukrainian].
17. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Hrynkiv, A.V., Chernai, A.E. & Lukashuk, A.P. (2019). Systemno-spriamovanyi pidkhid do rozrobky tekhnolohii bezrozbirnoho vidnovlennia spriazhen detalei [System-oriented approach to the development of technologies for disassembly of conjugation of parts]. Kramarov readings: *zb. tez dopovidei VI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii - collection. abstracts of the VI International Scientific and Technical Conference*, 21-22 liut. 2019 r., m. Kyiv, NUBiP. – K.: Vydavnychi tsestr NUBiP Ukrainy, 94-96 [in Ukrainian].
 18. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Zhylova, I.V. & Verbytskyi, O.V. (2019). Synerhetyka pidvyshchennia znosostykosti i nadiinosti trybospriazhen detalei system i ahrehativ mashyn [Synergetics of increase of wear resistance and reliability of tribocouples of details of systems and units of cars]. Kramarov readings: *zb. tez dopovidei VI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii - collection. abstracts of the VI International Scientific and Technical Conference*, 21-22 liut. 2019 r., m. Kyiv, NUBiP. – K.: Vydavnychi tsestr NUBiP Ukrainy, 127-129 [in Ukrainian].
 19. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Zhylova, I.V. & Verbytskyi, O.V. (2019). Synerhetychne pidvyshchennia nadiinosti trybospriazhen detalei system i ahrehativ transportnykh mashyn [Synergetic increase of reliability of tribocouples of details of systems and units of transport cars]. Increase of Machine and Equipment Reliability: *materialy 1oi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the 1st International scientific-practical conference*, 17-19 kvitnia 2019 r., Kropyvnytskyi: TsNTU, 7-8 [in Ukrainian].
 20. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Hrynkiv, A.V. & Zhylova, I.V. (2019). Problemy stvorennya smart-pokryttiv v zelenii trybolohii (2019). Increase of Machine and Equipment Reliability: *materialy 1oi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the 1st International scientific-practical conference*, 17-19 kvitnia 2019 r., Kropyvnytskyi: TsNTU, 53-56 [in Ukrainian].
 21. Aulin, V., Lysenko, S., Lyashuk, O., Hrynkiv, A., Velykodnyi, D., Vovk, Y., Holub, D. & Chernai, A. (2019). Wear resistance increase of samples tribomating in oil composite with geo modifier KGMF-1. *Tribology in Industry, Vol. 41, 2*, P. 156-165 [in English].
 22. Aulin, V., Hrynkiv, A., Lysenko, S., Dykha, A., Zamota, T. & Dzyura, V. (2019). Exploring a possibility to control the stressed-strained state of cylinder liners in diesel engines by the tribotechnology of alignment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 3 (12 - 99). P. 6-16 [in English].
 23. Aulin, V., Lysenko, S., Hrynkiv, A., Chernai, A., Zhylova, I. & Lukashuk, A. (2019). Wear resistance increase of samples tribomating "Steel 45-cast iron SCH20" with geo modifier KGMF-1. *Problemy trybolohii. Khmelnytskyi. KhNU*, 2, 55-60 [in English].
 24. Aulin, V., Derkach, O., Makarenko, D., Hrynkiv, A., Pankov, A. & Tykhyi, A. (2019). Analysis of tribological efficiency of movable junctions "polymeric-composite materials – steel" *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 4 (12-100)*, P. 6-15 [in English].
 25. Aulin, V., Hrynkiv, A., Lysenko, S., Lyashuk, O., Zamota, T. & Holub, D. (2019). Studying the tribological properties of mated materials C61900-A48-25BC1.25BNo.25 in composite oils containing geomodifiers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 5 (12-101)*, P. 38-47 [in English].
 26. Aulin, V., Lyashuk, O., Hrynkiv, A., Lysenko, S., Zamota, T., Vovk, Y., Pankov, A., Tykhyi, A. & Horkunenko, A. (2019). Determination of the rational composition of the additive to oil with the use of the Katerynivka friction geo modifier. *Tribology in Industry, Vol. 41, 4*, P.548-562 [in English].
 27. Aulin, V., Hrynkiv, A., Lysenko, S., Zamota, T., Pankov, A. & Tykhyi, A. (2019). Determining the rational composition of tribologically active additive to oil to improve characteristics of tribosystems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 6 (12-102)*, P. 52-64 [in English].
 28. Aulin, V.V., Lysenko, S.V. & Hrynkiv, A.V. (2019). Model nadiinosti detalei transportnykh mashyn za protsesamy realizatsii trybotekhnolohii yikh prypratsiuvannia i vidnovlennia [The model of reliability of details of transport cars on processes of realization of tribotechnologies of their running in and restoration]. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky - Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical sciences, Vol. 2(33)*, 50-64 [in Ukrainian].
 29. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V., Lysenko, S.V., Chernai, A.Ie. & Lukashuk, A.P. (2020). Protse zminy stanu olyvy pry prypratsiuvanni spriazhen detalei ta obkattsi dvyhuniv transportnykh mashyn [The process of changing the state of the oil during the running-in of the couplings of parts and running-in of engines of transport machines]. Increase of Machine and Equipment Reliability: *materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the International scientific-practical conference*, 15-17 kvitnia 2020 r., Kropyvnytskyi: TsNTU, 162-165 [in Ukrainian].
 30. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Hrynkiv, A.V., Chernai, A.Ie. & Lukashuk, A.P. (2020). Optymalne keruvannia rezhymamy funktsionuvannia trybospriazhenniamy detalei system i ahrehativ transportnykh mashyn [Optimal control of modes of operation of tribocouples of details of systems and units of transport cars]. Increase of Machine and Equipment Reliability: *materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi*

- konferentsii* (15-17 kvitnia 2020 r.) - *materials of the International Scientific and Practical Conference*, Kropyvnytskyi: TsNTU, 178-179 [in Ukrainian].
31. Avvakumov, E.G. (1986). *Mekhanicheskie metody aktivatsii himicheskikh protsessov [Mechanical methods of activation of chemical processes]*. Novosibirsk: Nauka [in Russian].
 32. Boldyrev, V.V. (2006). *Mehanohimiya i mekhanicheskaya aktivatsiya tverdyih veschestv [Mechanochemistry and mechanical activation of solids]*. *Uspeh himii - The success of chemistry*, 75(3), 203-216 [in Russian].
 33. Tkachenko, E.A. (2011). *Tribohimicheskie aspekty geomodifikatorov treniya [Tribophysical aspects of friction geomodifiers]*. Promising materials, coatings and technologies. Limit states of structural elements: *mater. mezhd. nauchn. tehn. konferentsii - Mater. Int. Scientific Tech. Conference*. Sevastopol, 107-115 [in Russian].
 34. Aulin, V.V. (2014). *Fizychni osnovy protsesiv i staniv samoorhanizatsii v trybotekhnichnykh systemakh [Physical bases of processes and states of self-organization in tribotechnical systems]*. Kirovohrad: Lysenko V.F., 369 [in Ukrainian].
 35. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Kuzyk, O.V., Hryniv, A.V. & Holub, D.V. (2016). *Trybofizychni osnovy pidvyshchennia nadiinosti mobilnoi silskohospodarskoi ta avtotransportnoi tekhniki tekhnolohiiamy trybotekhnichnoho vidnovlennia: monohrafiia [Tribophysical bases of increase of reliability of mobile agricultural and motor transport technics by technologies of tribotechnical restoration: monograph]*. Kropyvnytskyi: Lysenko V. F., 303 [in Ukrainian].
 36. Aulin, V.V. (2015). *Trybofizychni osnovy pidvyshchennia znosostiikosti detalei ta robochykh orhaniv silskohospodarskoi tekhniki [Tribophysical bases of increase of wear resistance of details and working bodies of agricultural machinery]*. *Doctor's thesis*, Khmelnyts. nats. un-t. Khmelnytskyi, 360 [in Ukrainian].

Viktor Aulin, Prof., DSc., **Sergey Lysenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Andriy Grinkiv**, PhD tech. sci., Senior Researcher, **Andriy Chernai**, post-graduate, **Viktor Slon**, applicant, **Andriy Lukashuk**, post-graduate *Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

Influence of the Processes Occurring in the Movable Interfaces of the Parts of Transport Machines Under the Action of the Components of the Geomodifier on the Efficiency of Tribotechnologies of Running-in and Recovery

It is shown that the effectiveness of the implementation of tribotechnologies for running-in and restoration of systems and assemblies of transport machines depends on the preparation of the working environment in which the running-in of tribocouplings of parts takes place. When using a geomodifier to add to engine and transmission oil, it is important to refine the particles of its components and obtain special properties of their surfaces. The properties of the main components of the KGMT-1 geomodifier: SiO₂, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃ are considered. Their activation during grinding and feeding into the friction zone is substantiated.

The change in the size of the particles of the components of the geomodifier on the duration of the test under various operating conditions and within the limits of the strength intervals was investigated. The course of various physical processes according to nonequilibrium thermodynamics and the realization of states and processes of self-organization are considered. It was found that, depending on the degree of fragmentation, the particles of the components exhibit different activity, and therefore, different conditions for the formation of protective coatings on the working surfaces of parts and tribomechanical and tribophysical effects on particles are realized. It is shown that the latter manifests itself during the formation of defects, specific surface area, and duration of mechanical activation. It was revealed that for the materials of the KGMT-1 geomodifier components with strongly homeopolar bonds, such as SiO₂, SiC, and the aluminosilicate mineral kaolinite, an amorphization process is observed.

The influence of the α -Si-k-Si phase transformation in the materials of the KGMT-1 additive on the efficiency of the implementation of tribotechnologies has been determined. It is shown how physical processes in a composite oil cause tribochemical reactions and formation of coatings on the working surfaces of interfaces of parts of systems and aggregates of transport machines.

mechanical activation, dispersion of particles, geomodifiers of friction, mating of parts, lubricating medium, tribochemical reactions

Одержано (Received) 25.09.2020

Прорецензовано (Reviewed) 30.09.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 536.24: 621/43

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).266-274](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).266-274)

В.А. Сиволапов, ст. викл., **А.В. Новицький**, доц., канд. техн. наук,
В.С. Хмельовський, доц., д-р техн. наук, **О.М. Бистрий**, ст. викл.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ,
Україна*

e-mail: 0507425963@ukr.net, Novytskyu@nubip.edu.ua

Дослідження процесу теплопередачі в циліндрах двигуна внутрішнього згоряння

В статі проведено аналіз наукових публікацій і літературних досліджень процесів теплопередачі в циліндрах двигунів внутрішнього згоряння. Представлено дослідження температурних полів в двигунах під час їх роботи на різних режимах з використанням програмного комплексу та розрахункового модуля. Проаналізовано результати моделювання та проведення термометрування в однорідній і пластинуваній гільзах циліндрів двигунів. Приведено графічні залежності та розподіл температури по товщині стінки циліндра під час максимальної і мінімальної температури на поверхні циліндра.

На основі досліджень встановлено, що при пластинуванні і запресуванні вставки температурні поля в циліндрі двигуна змінюються, підвищується температура на внутрішній поверхні циліндра при пластинуванні на 6,5 °С, а при запресуванні – на 4,5 °С. Це пояснюється тим, що контактний шар при пластинуванні знаходиться в зоні нестационарного режиму, а при запресуванні контактний шар знаходиться в зоні стаціонару і, таким чином, збільшує товщину циліндра на 2 міліметри. Встановлено, що різниця мінімальної і максимальної температур на внутрішній поверхні циліндра практично залишається такою ж як у однорідного циліндра.

двигун, гільза, ремонт, відновлення, пластинування, теплопередача

В. А. Сиволапов, ст. препод., **А. В. Новицький**, доц., канд. техн. наук, **В.С. Хмельовський**, доц., д-р техн. наук, **А. Н. Быстрый**, ст. препод.

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина

Исследование процесса теплопередачи в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания

В статье проведен анализ научных публикаций и литературных исследований процессов теплопередачи в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания. Представлены исследования температурных полей в двигателях во время их работы на различных режимах с использованием программного комплекса и расчетного модуля. Проанализированы результаты моделирования и проведения термометрирования в однородной и пластинированной гильзах цилиндров двигателей. Приведены графические зависимости и распределение температуры по толщине стенки цилиндра при максимальной и минимальной температуре на поверхности цилиндра.

На основании исследований установлено, что при пластинировании и запрессовке вставки температурные поля в цилиндре двигателя меняются, повышается температура на внутренней поверхности цилиндра при пластинировании на 6,5 °С, а при запрессовке – на 4,5 °С. Это объясняется тем, что контактный слой при пластинировании находится в зоне нестационарного режима, а при запрессовке контактный слой находится в зоне стационара и, таким образом, увеличивает толщину цилиндра на 2 миллиметра. Установлено, что разница минимальной и максимальной температур на внутренней поверхности цилиндра практически остается такой же как у однородного цилиндра.

двигатель, гильза, ремонт, восстановление, пластинирование, теплопередача

Постановка проблеми. Рівень надійності мобільних енергетичних засобів забезпечується не тільки конструктивними та технологічними, але й експлуатаційними методами, які ґрунтуються на стратегіях технічного обслуговування і ремонту [1, 7].

© В.А. Сиволапов, А.В. Новицький, В.С. Хмельовський, О.М. Бистрий, 2020

Останнім часом на мобільних енергетичних засобах вітчизняного і зарубіжного виробництва все частіше встановлюються двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ), блоки циліндрів яких виготовлені з алюмінієвих сплавів. Для одних моделей ДВЗ заводами-виробниками передбачена можливість відновлення зношених поверхонь циліндрів, а для інших – ні. В той же час, відновлення блоків циліндрів дозволяє не тільки відновлювати працездатність ДВЗ, але й використовувати їх залишковий ресурс. В результаті цього забезпечується економія матеріальних, енергетичних і трудових витрат.

Технологія відновлення блоків циліндрів ДВЗ з алюмінієвих сплавів постановкою ремонтних чавунних гільз все частіше застосовується в ремонтній практиці, але її широке використання стримується відсутністю обґрунтованих рекомендацій щодо вибору значень технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів». В останні десятиліття одним із ефективних методів відновлення деталей ДВЗ постановкою додаткових елементів є метод пластинування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз конструкцій блоків циліндрів сучасних ДВЗ показує, що конструктивне виконання окремих елементів блоків, особливо циліндрів і поверхні прилягання до голівки блоку циліндрів значною мірою визначає причини виходу з ладу ДВЗ і характер пошкоджень деталей.

Розробці та вдосконаленню способів відновлення циліндрів ДВЗ присвячені роботи багатьох вчених. Оpubліковані в літературі рекомендації щодо вибору значень технологічних параметрів мають загальний характер і не завжди належним чином обґрунтовані [5, 6, 8]. При відновленні блоків циліндрів з постановкою ремонтних чавунних гільз вноситься суттєва зміна в конструкцію циліндрів, змінюється їх теплова провідність і жорсткість [5].

В статті [3] розглянуті деякі аспекти технології відновлення деталей способом пластинування. Вказаний спосіб дозволяє багаторазово відновлювати роботоздатність деталей, має менші показники енерговитрат порівняно з іншими способами відновлення на номінальний розмір. На підставі проведеного математичного моделювання процесу поверхнево-пластичного деформування додаткової деталі – згортної втулки, виявлені параметри відновлення деталей відповідно нормативно-технологічної документації; визначені оптимальні значення параметрів робочого інструмента, отримана номограма, що спрощує вибір вказаних параметрів на прикладі ремонту гільз дизельних ДВЗ.

В наукових матеріалах [2] запропоновано удосконалити вказаний метод відновлення посадочних діаметрів опорних поверхонь, що полягає у встановленні на зношену поверхню металевої гофрованої аплікаційної листової вставки з необхідними міцністними характеристиками і геометрією, що забезпечують задані умови роботи рухомого з'єднання. В дослідженнях [2] авторами використано елементи технології розклатки листової вставки на поверхню деталі з попередньою нарізаною гвинтовою канавкою.

В науковій роботі [9] запропоновано новий метод захисту від корозії і ремонту виробів з внутрішніми поверхнями поверхонь типу тіл обертання. З цією метою використовується метод пластинування. Розроблено методику визначення основних параметрів технологічного процесу.

Слід зазначити, що технологічні рекомендації щодо пластинування поверхонь корпусних деталей наведені в багатьох наукових роботах [2-4, 8], але питання математичного моделювання процесів пластинування внутрішніх циліндричних поверхонь гільз ДВЗ ще розкриті недостатньо, тому є актуальними і потребують подальших досліджень.

Постановка завдання. Метою представленої статті є:

- дослідження температурних полів в ДВЗ під час їх роботи на різних режимах з використанням програмного комплексу та розрахункового модуля;
- проведення термометрування в однорідній і пластинованій гільзах циліндрів ДВЗ.

Виклад основного матеріалу. Дослідження процесу теплопередачі в циліндрах ДВЗ проводяться для вирішення завдань, які пов'язані із дослідженням процесів тепломасопереносу (ТМП), за допомогою розробленого програмного комплексу. Вказаний комплекс дослідження процесів ТМП складається з інтегральної оболонки і набору розрахункових модулів [11]. Для представленого програмного комплексу розроблено розрахунковий модуль для дослідження температурних полів в ДВЗ під час їх роботи на різних режимах. Програмою реалізується циклічне завдання результуючої за теплопередачею температури газів під час робочого ходу і вихлопу з боку камери згоряння t_P і результуючої температури горючої суміші під час всмоктування і стиснення t_B , яка фіксується на кордоні моделі на час Δt .

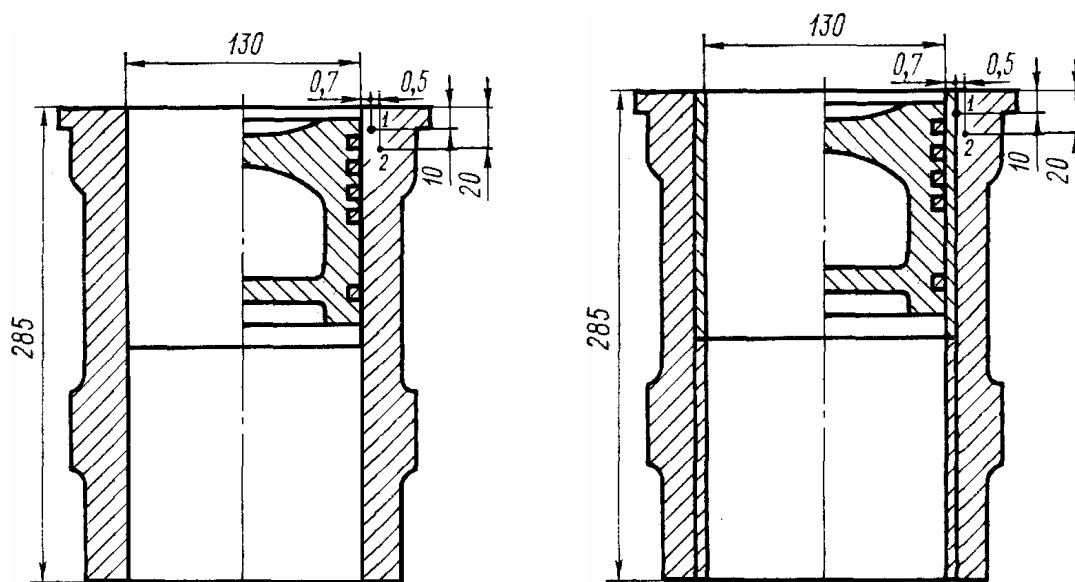


Рисунок 1 – Розміщення термопар при термометруванні гільзи циліндрів

Джерело: розроблено авторами

В статті [4] наведені дані безпосереднього вимірювання температур в однорідному і пластинованому (зі вставленої ремонтною вкладкою) гільзах циліндрів ДВЗ ЯМЗ-238. Вимірювання проводились з використанням хромель-нікелевих термопар, вмонтованих в гільзу за схемою, показаної на рис. 1.

Середня температура в точці 1 для однорідного циліндра дорівнює $t = 156^\circ\text{C}$, для пластинованого $t = 147^\circ\text{C}$. Для пластинованого циліндра $t = 162^\circ\text{C}$ і 150°C . Наведено ці значення середніх температур при кількості оборотів $n = 2000$ об/хв. та номінальній потужності $N = 100\%$.

На початку будемо вирішувати одновимірну нестационарну задачу процесу теплопровідності в стінці циліндра двигуна, що працює при номінальній потужності для варіанту – однорідна стінка циліндра двигуна. Цей процес описується одновимірним рівнянням теплопровідності:

$$\lambda_3 \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = c_3 \rho_3 \frac{\partial t}{\partial \tau}; \quad (1)$$

де λ – теплопровідність;
 $c \cdot \rho$ – об'ємна теплоємність;
 t – температура;
 τ – час,
 x – поточна координата.

Крок по координаті x був прийнятий 0,0001 м. Товщина стінки циліндра дорівнює 0,008 м. Крок за часом був прийнятий $\Delta\tau = 0,015$ с (половина обороту двигуна при $n = 2000$ мін/об).

Коефіцієнт теплопровідності чавуну $\lambda = 60$ Вт/м.град [4]. Коефіцієнт об'ємної теплоємності $c \cdot \rho = 4200000$ Вт с /м³ град.

В роботі [10] наведені граничні умови, отримані на підставі розрахунку, експерименту і літературних джерел, які ми використовуємо при моделюванні для отримання першого наближення.

Результуюча по теплопередачі температура газів з боку камери згоряння за такт робочого ходу і випуску - 800 °С; результуюча по теплопередачі температура газів при впуску і стиску - 60 °С; температура охолоджуючої води в кришці циліндра - 90 °С; коефіцієнт тепловіддачі від газів до днища кришки. в камері згоряння - 330 ккал/м² ч град.

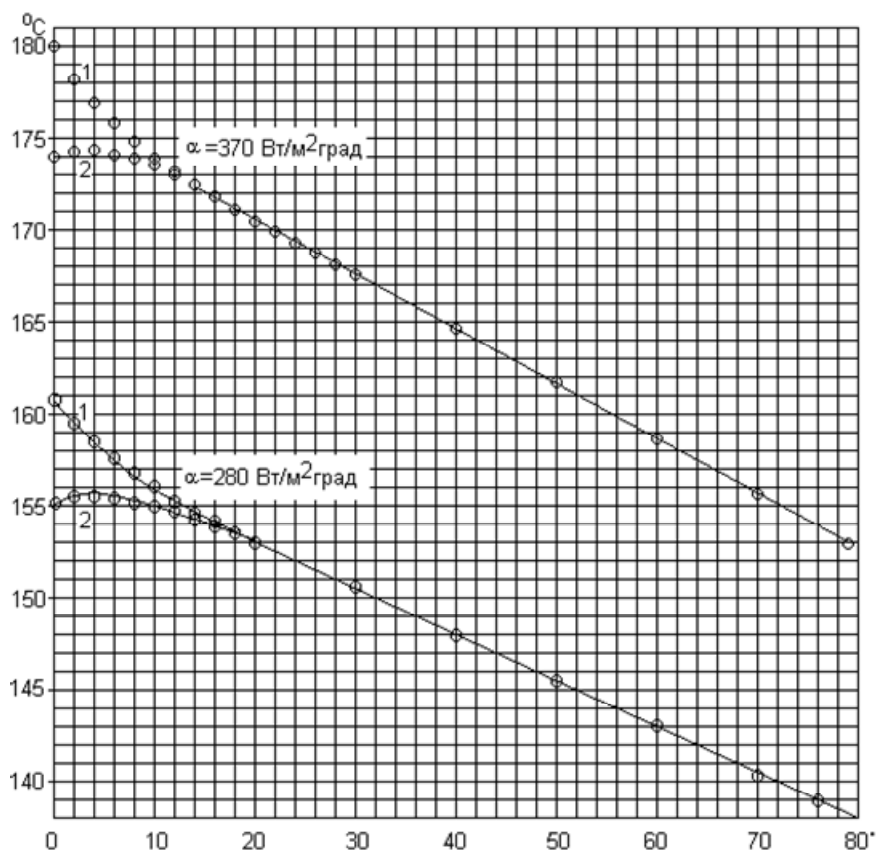
Завдання вирішувалася до встановлення квазістаціонарного режиму. Результати рішення наведені на рис. 2 ($\alpha=370$ Вт/м²·град). З рис. 2 бачимо, що значення температури, отримане методом моделювання, перевищує значення температури, отримане в результаті термометрування. Це можна пояснити тим, що коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої стінки циліндра менше, ніж від днища.

Визначимо коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої стінки циліндра. Для цього, змінюючи значення коефіцієнта тепловіддачі α , будемо вирішувати завдання до тих пір, поки в квазістаціонарному режимі середнє значення температури в точці 1,2 мм, отримане методом моделювання, не буде співпадати із значенням температури, отриманої методом термометрування. Значення $\alpha=280$ Вт/м²·град і буде шуканим значенням коефіцієнта тепловіддачі при прийнятому нами значенні результуючої по тепловіддачі температури 800 °С.

Після визначення коефіцієнта тепловіддачі від внутрішньої поверхні циліндра ДВЗ ми можемо визначити значення коефіцієнта теплопровідності контактного шару λ_k .

Прийнято вважати, що тепло від однієї дотичної поверхні до іншої передається тільки теплопровідністю через місця безпосереднього контакту і через прошарок середовища. Відповідно термічний опір контакту буде визначатися, за двома величинами – термічним опором безпосереднього металевго контакту R_m і термічним опором середовища R_c .

У ряді робіт робиться спроба з урахуванням умов теплообміну в турбінах розрахувати зазначені термічні опору аналітичним шляхом і дати залежності, ґрунтуючись на результатах дослідження контакту шорстких поверхонь з урахуванням їх мікрогеометрії і міцності матеріалу дотичних тіл.



1 - під час максимальної температури на поверхні циліндра, 2 - під час мінімальної температури

Рисунок 2 – Розподіл температури по товщині стінки циліндра ДВЗ

Джерело: розроблено авторами

Слід зазначити, що для поршневих ДВЗ запропоновані формули вимагають уточнення, тому що розрахункові значення термічних опорів контакту виходять приблизно на порядок нижче фактичних. Цей висновок вказує на те, що процес проходження тепла через контакт має, можливо, більш складну природу і не може бути описаний залежностями, виведеними при допущенні про поділ теплових потоків обернено пропорційно відношенню термічного опору середовища і місць безпосереднього контакту.

Виходячи з представленого вище аналізу та висновків, будемо вирішувати одновимірну задачу теплопровідності для пластинованого циліндра.

Процес теплопровідності для цього випадку описується системою одновимірних рівнянь в приватних похідних параболічного типу:

$$\lambda_1 \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = c_1 \rho_1 \frac{\partial t}{\partial \tau}; \quad (1)$$

$$\lambda_2 \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = c_2 \rho_2 \frac{\partial t}{\partial \tau}; \quad (2)$$

$$\lambda_3 \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = c_3 \rho_3 \frac{\partial t}{\partial \tau}; \quad (3)$$

де індекси $i = 1 - 3$ означають: $i = 1$ – матеріал циліндра (1), $i = 2$ – матеріал пластини (2), $i = 3$ - міжконтактне середовище між гільзою і циліндром (3);

λ ($i = 1, 2, 3$) – теплопровідність;
 $c \cdot \rho$ ($i = 1, 2, 3$) – об'ємна теплоємність.

На границях областей були прийняті граничні умови IV роду. При щільному контакті пластини і стінки циліндра з урахуванням близьких коефіцієнтів теплопровідності вуглецевої сталі ($\lambda=52$ Вт/м.град), з якої виготовляють пластини товщиною 0,7 мм, і чавуну, з якого виготовляють гільзи циліндрів, умовно можна було б вважати однорідною стінкою. Однак різниця температур в пластинованій і однорідній гільзах 6 °С в точці 0,7 мм від поверхні циліндра вказує на відсутність щільного контакту.

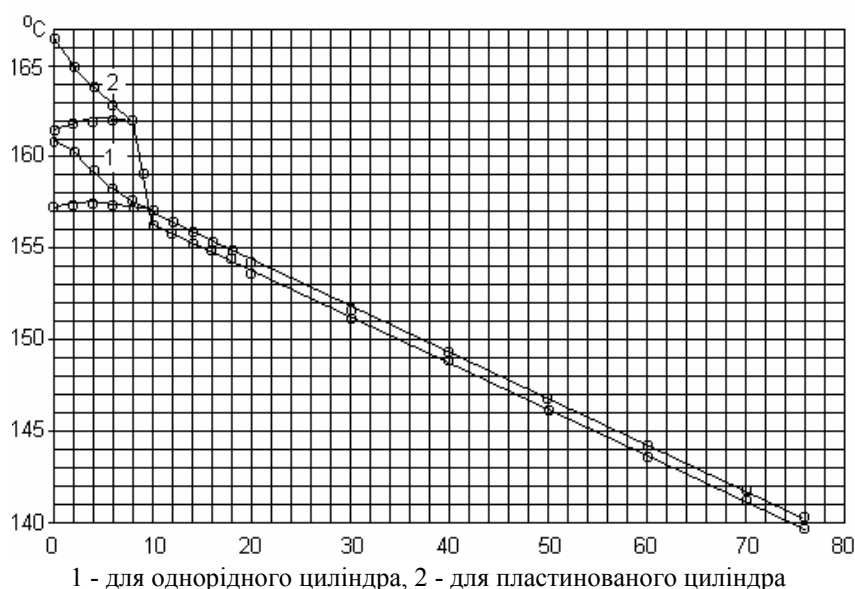


Рисунок 3 - Розподіл температури по товщині стінки циліндра ДВЗ

Джерело: розроблено авторами

При вирішенні задачі теплопровідності для пластинованого циліндра перші сім вузлів $\lambda = 52$ Вт/м·град в восьмому вузлі, який знаходиться на відстані 7,5 мм від поверхні циліндра, введемо коефіцієнт контактного шару λ_k . В інших вузлах $\lambda = 60$ Вт/м·град (коефіцієнт теплопровідності чавуну).

Виходячи з наведеного, вирішуючи завдання з тими ж граничними умовами, до встановлення квазістаціонарного режиму, змінюємо значення коефіцієнта теплопровідності контактної шару λ_k до тих пір, поки не доб'ємося збігу значення температури в точці 0,75 мм, отриманого методом термометрування на працюючому двигуні, із середнім значенням температури в цій точці, отриманим методом моделювання, і таким чином визначаємо значення λ_k . На рис. 3 (крива - 2) приведено рішення, отримане методом моделювання. Збіг температур відбулося при $\lambda_k = 3$ Вт/м·град. Для порівняння на рисунку 3 наведена також крива розподілу температури в однорідному циліндрі.

Для прикладу, розглянемо циліндр з запресованою чавунною вставкою товщиною 2 мм. Задамо теж граничні умови, а значення теплопровідності контактної шару $\lambda_k = 3$ Вт/м·град задамо на глибині 2 мм. Вирішення цього завдання наведено на рис. 4 (крива 1). З представлених рисунків 3 і 4 видно що при пластинуванні і запресуванні вставки температурні поля в циліндрі ДВЗ змінюються. Підвищується температура на внутрішній поверхні циліндра при пластинуванні на 6,5 °С, при запресуванні на 4,5 °С. Це можна пояснити тим що контактний шар при пластинуванні

знаходиться в зоні нестационарного режиму, а при запресуванні контактний шар знаходиться в зоні стаціонару і, таким чином, збільшує товщину циліндра на два міліметри. Виходячи з цього, різниця мінімальної і максимальної температур на внутрішній поверхні циліндра практично залишається такою ж як у однорідного циліндра. У разі пластинування вказана різниця збільшується на 2 °С.

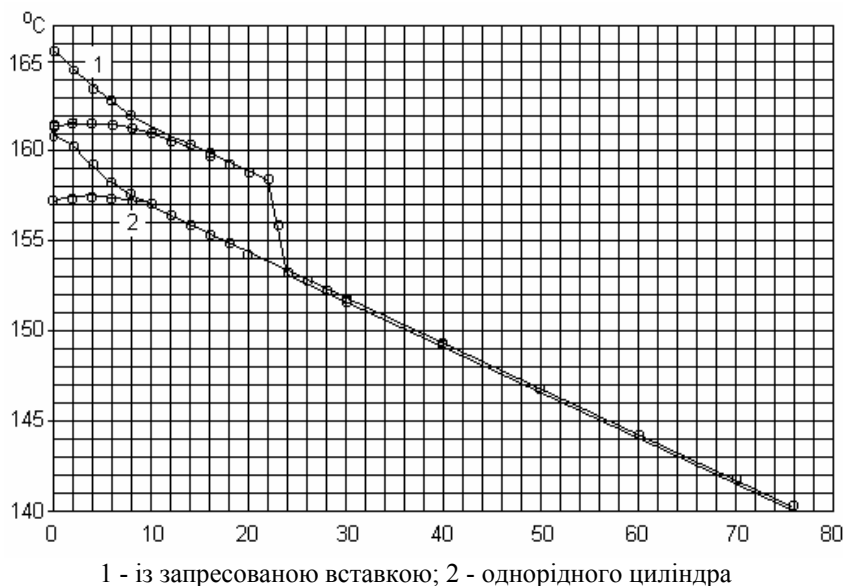


Рисунок 4 – Розподіл температури по товщині стінки циліндра ДВЗ

Джерело: розроблено авторами

Висновки. Таким чином, моделювання стає найбільш дієвим науковим інструментом при розробці та проведенні перспективної оцінки варіантів удосконалення ДВЗ.

Питання прогнозування теплового стану деталей ДВЗ, що відновлюються або варіантів деталей ДВЗ в процесі їх удосконалення представляють винятковий інтерес для конструкторських бюро, ремонтних і сервісних підприємств.

Список літератури

1. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми підвищення експлуатаційної надійності та можливості удоскона. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування: зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту.* 2015. Вип. 28. С. 126-131.
2. Герук С.М., Федірко П.П. Відновлення отворів у корпусних деталях методом пластинування. *Крамаровські читання: зб. тез доповідей V Міжнар. наук.-техн. конф., 22-23 лютого 2018 р. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2018. С. 189-191.*
3. Гранкін С.Г., Гранкіна О.В. Обґрунтування режимів розкочування при ремонті деталей пластинуванням. *Праці Таврійського ДАТУ.* 2013. Вип. 13, т. 3. С. 38-45.
4. Дьяченко Н.Х., Дашков С. Н., Костин А. К., Бурин М. М. Теплообмен в двигателях и теплонапряженность их деталей. Изд-во «Машиностроение» Ленинград, 1969. 247 с.
5. Завороткин Е.А. Совершенствование технологии восстановления блоков цилиндров из алюминиевых сплавов постановкой ремонтных чугуновых гильз: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: 05.20.03. Санкт-Петербург. 2012. 18 с.
6. Захаров Ю.А., Булатов Р.Р. Восстановление рабочей поверхности гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания автомобилей. *Технические науки. «Молодой ученый».* 2015. № 5 (85) С. 145-147.

7. Новицький А.В. Моніторинг тенденцій розвитку системи технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарської техніки. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2014. №1 (2). С. 41-48.
8. Савченко Н.Ф. Совершенствование ремонтных работ с использованием технологии пластинирования. *Физические и компьютерные технологии: труды 18-й Межд. научн.-техн. конференции*. Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2012. С. 101–103.
9. Савченко Н. Ф. Технология пластинирования для повышения коррозионной устойчивости изделий. *Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении* : Материалы межд. научн.-техн. конф., 20–22 сент. 2017 г. Одесса: ОНПУ, 2017. 148 с.
10. Соболев Н. И., Титунин Б. А. Пластинирование деталей машин. Ленинград: Изд-во «Машиностроение», 1987. 224 с.
11. Сорокин Н.А., Тарапон А.Г., Тернавский В.О. Программный комплекс для моделирования процессов тепломассопереноса при аварийных ситуациях. *Методы и средства компьютерного моделирования ИПМЭ НАНУ: сб. трудов*. К., 1997. С. 58–60.

References

1. Aulin, V.V. & Hryniv, A.V. (2015). Problemy pidvyshchennia ekspluatatsiinoi nadiinosti ta mozhlyvosti udoskonalennia stratehii tekhnichnoho obsluhovuvannia mobilnoi silskohospodarskoi tekhniky [Problems increase of operational reliability and the possibility of improvement maintenance service strategies the mobile of agricultural machinery]. *Tekhnika v sil's'kohopodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia. Zbirnyk naukovykh prats' KNTU – Machinery in agricultural production, industry machine building, automation. Collected works of KNTU. Vol. 28*, 126-131 [in Ukrainian].
2. Heruk, C.M. & Fedirko, P.P. (2018). Vidnovlennia otvoriv u korpusnykh detaliakh metodom plastynuvanniam [Renovation of openings in body parts by the method of plates]. Kramarovski reading: *V Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. (22-23 liutoho 2018 r.) – International Scientific and Technical Conference*. (pp. 189–191). Kyiv: Vydavnychyj tsentr NUBiP Ukrainy [in Ukrainian].
3. Hrankin, S.H. & Hrankina, O.V. (2013). Obhruntuvannia rezhymiv rozkochuvannia pry remonti detalei platynuvanniam [Grounding the modes of surface plastic deformation during parts repair by plate setting]. *Pratsi Tavriiskoho DATU – Works of Tavriya TSAU, 13, 3*, 38–45 [in Ukrainian].
4. Diachenko, N.Kh., Dashkov, S.N., Kostyn, A.K. & Buryh, M.M. (1969). *Teploobmen v dvyhateliakh y teplonapriazhennost ykh detalei [Heat transfer in engines and heat density of their parts]*. Yzd-vo «Mashynostroenie» Leningrad [in Russian].
5. Zavorotkin E.A. (2012). Sovershenstvovanie tehnologi vosstanovlenija blokov cilindrov iz aljuminievyh splavov postanovkoj remontnyh chugunnyh gil'z [Improvement of the technology for the restoration of cylinder blocks from aluminum alloys by installing repair cast iron liners]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Sankt-Peterburg. 2012. 18 s. [in Russian].
6. Zaharov, Ju.A. & Bulatov, R.R. (2015). Vosstanovlenie rabochej poverhnosti gil'z cilindrov dvigatelej vnutrennego sgoranija avtomobilej [Restoration of the working surface of the cylinder liners of internal combustion engines of cars]. *Tekhnicheskie nauki. «Molodoj uchenyj» – Technical science. "Young Scientist"*, 5 (85), 145–147. [in Russian].
7. Novyts'kyj, A.V. (2014). Monitorynh tendentsij rozvytku systemy tekhnichnoho obsluhovuvannia i remontu sil's'kohopodars'koi tekhniky [Monitoring of development trends in the system of maintenance and repair of agricultural machinery]. *Tekhnichnyj servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv – Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes, 1 (2)*, 41-48. [in Ukrainian].
8. Savchenko, N.F. (2012). Sovershenstvovanie remontnyh rabot s ispol'zovaniem tehnologii plastynirovaniya [Improvement of repair work using plating technology]. Physical and computer technologies: 18 Mezhd. nauchn.-tehn. konferencija – *International Scientific and Practical Conference*. (pp. 101-103). Har'kov: HNPK “FJeD” [in Russian].
9. Savchenko, N. F. (2017). Tehnologija plastynirovaniya dlja povyshenija korrozionnoj ustojchivosti izdelij [Plating technology to improve the corrosion resistance of products]. New and unconventional technologies in resource and energy saving: *Mezhd. nauchn.-tehn. konf. (20–22 sent. 2017 g.) – International Scientific and Practical Conference*. (pp. 148). Odessa: ONPU [in Russian].
10. Sobolev, N.I. & Titunin, B.A. (1987). *Plastynirovanie detalej mashin [Plating machine parts]*. Leningrad : Izd-vo «Mashynostroenie». [in Russian].
11. Sorokin, N.A., Tarapon, A.G. & Ternavskij, V.O. (1997). Programmnyj kompleks dlja modelirovaniya processov teplomassopere nosa pri avarijnyh situacijah [A software package for modeling heat and mass

transfer processes in emergency situations]. *Metody i sredstva komp'juternogo modelirovanija IPMJe NANU: sb. trudov – Methods and means of computer modeling IPME NASU: collection of articles. works.* Kiev.58 - 60 [in Russian].

Volodumir Suvolapov, Senior Lecturer, **Andriy Novitskiy**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vasul Khmelevski**, Assoc. Prof., DSc., **Oleksandr Bustruy**, Senior Lecturer
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Investigation of the Heat Transfer Process in Internal Combustion Engine Cylinders

The article analyzes scientific publications and literary studies of heat transfer processes in cylinders of internal combustion engines. The research of temperature fields in engines during their operation at different modes with the use of a software package and calculation module is presented. The results of modeling and thermo-metering in homogeneous and laminated engine cylinder liners are analyzed. Graphic dependencies and temperature distribution by cylinder wall thickness at maximum and minimum temperature on cylinder surface are given.

On the basis of researches it is established that at laminating and pressing of inserts temperature fields in the engine cylinder change, temperature on an internal surface of the cylinder increases at laminating on 6,5 °C, and at pressing - on 4,5 °C. This is explained by the fact that the contact layer during plastification is in the zone of non-stationary mode, and when pressing the contact layer is in the zone of stationary mode and thus increases the thickness of the cylinder by 2 millimeters. It is established that the difference of minimum and maximum temperatures on the inner surface of the cylinder practically remains the same as that of a homogeneous cylinder.

Thus, modeling becomes the most effective scientific tool in the development and implementation of long-term evaluation of options for improving ICE.

engine, sleeve, repair, restoration, plating, heat transfer

Одержано (Received) 06.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 12.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.89

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).274-281](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).274-281)

Є.К. Солових, проф., д-р техн. наук, **В.О. Дубовик**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Пукалов**, доц., канд. техн. наук, **Ю.А. Невдаха**, доц., канд. техн. наук, **А.М. Серета**

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: zenesperanto@gmail.com*

Підвищення якості припрацювання деталей двигунів автомобілів при обкатці застосуванням присадки комплексної дії

У роботі обґрунтовано, що для підвищення якості та прискорення припрацювання деталей двигунів автомобілів при обкатці потрібна комплексна присадка, що включає як поверхнево-активні так і хімічно-активні речовини. Розглянуто передумови отримання плівок перенесення на поверхнях тертя сполучень двигуна при обкатці. Проведено порівняльні лабораторні дослідження запропонованої присадки.

Застосування запропонованої присадки комплексної дії сприяє зміні структури поверхневого шару металу в процесі тертя під дією температури і навантаження, що призведе до підвищення якості припрацювання деталей двигунів автомобілів при обкатці.

обкатка, припрацювання, масло, присадка, вибіркового перенос, тертя, спрацювання

© Є.К. Солових, В.О. Дубовик, В.В. Пукалов, Ю.А. Невдаха, А.М. Серета, 2020

Е.К. Соловух, проф., д-р техн. наук, **В.А. Дубовик**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Пукалов**, доц., канд. техн. наук, **Ю.А. Невдаха**, доц., канд. техн. наук, **А.Н. Серєда**

Центральнoукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Повышение качества приработки деталей двигателей автомобилей при обкатке использованием присадки комплексного действия

В работе обосновано, что для повышения качества и ускорения приработки деталей двигателей автомобилей при обкатке необходима комплексная присадка, которая включает как поверхностно-активные так и химическо активные вещества. Рассмотрены предпосылки получения пленок переноса на поверхностях трения сопряжений двигателя при обкатке. Проведены сравнительные лабораторные исследования предложенной присадки.

Применение предложенной присадки комплексного действия способствует изменению структуры поверхностного слоя металла в процессе трения под действием температуры и нагрузки, что приводит к повышению качества приработки деталей двигателей автомобилей при обкатке.

обкатка, приработка, масло, присадка, выборочный перенос, трение, износ

Постановка проблеми. В умовах станцій технічного обслуговування, досягти конструктивними заходами прискорення і підвищення якості припрацювання деталей двигунів дуже складно і не завжди економічно доцільно. Технологічні заходи потребують значних матеріальних затрат, висококваліфікованих спеціалістів і дорогого обладнання. Тому одним з перспективних напрямків покращення якості припрацювання є експлуатаційні заходи.

При цьому науково обґрунтовані режими обкатки двигуна, які дозволяють підвищити якість припрацювання поверхонь тертя. Все це впливає на довговічність двигуна і його експлуатацію з підвищеним ресурсом.

Огляд літературних джерел вказує на те, що хімотологічний склад присадок різного типу і процесів, які протікають на робочих поверхнях деталей двигунів при обкатці потребує подальших досліджень.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Значний науковий і практичний внесок у вдосконалення процесів припрацювання деталей двигунів мають роботи М.П. Воїнова, Д.М. Гаркунова, А.С. Гуревича, В.В. Долбіна, В.Ф. Карпенкова, Р.В. Кугеля, І.М. Крагельського, С.С. Некрасова, В.В. Стрельцова, Н.В. Храмцова, В.І. Ципцина, Г.П. Шаронова та інші. Згідно їх досліджень за своєю фізико-хімічною дією припрацювальні присадки можна розділити на ряд груп:

- інактивні речовини (ІР);
- поверхнево-активні речовини (ПАР);
- хімічно-активні речовини (ХАР);
- композиції, які сприяють вибіркового переносу (КСВП).

Широке розповсюдження отримали металоплакувальні присадки, які використовують явище вибіркового перенесення (ВП) металу при терті, відкрите Гаркуновим Д.Н. і Крагельським І.М. Явище ВП засноване на тому, що при певних умовах спостерігається утворення плівок перенесення (антифрикційних плівок) металів із складу присадок, які забезпечують низький коефіцієнт тертя і зниження спрацювання деталей [1].

Аналіз досліджень по підвищенню надійності двигунів після ремонту при обкатці показав, що в умовах авторемонтних підприємств найбільш економічними і ефективними є експлуатаційні заходи по прискоренню припрацювання деталей двигуна, які полягають в застосуванні комплексних присадок до масла і повітря. Це дозволяє знизити припрацювальний знос і тим самим збільшити ресурс двигуна в цілому. Аналіз присадок для припрацювання деталей двигунів після ремонту виявив найбільш перспективним використання комплексних присадок, які містять ПАР і ХАР.

Постановка завдання. Метою роботи є підвищення якості процесу припрацювання деталей двигунів автомобілів при обкатці застосуванням присадки комплексної дії.

Завданнями є теоретичне обґрунтування утворення плівок перенесення при обкатці двигунів і проведення порівняльних досліджень розробленої комплексної присадки до моторного масла М-8-В.

Виклад основного матеріалу. Прискорення припрацювання деталей засноване на адсорбційному зниженні міцності металу при реалізації ефекту Ребіндера [2]. До таких речовин відносять: олеїнову кислоту, гліцерин, ефіри органічних кислот.

При описі контактної взаємодії будемо використовувати поняття молекулярних сил. Крагельським І.В. у загальне рівняння сили тертя, поряд з механічною компонентою, введена молекулярна складова [3].

В останні роки різко зросла кількість робіт в яких граничний шар мастильного середовища з прилягаючими плівками на твердих контактуючих поверхнях розглядається як один з основних факторів взаємодії [4, 5].

У дослідженнях, пов'язаних з вибіркоким перенесенням використовується комплексний підхід до розуміння фрикційної взаємодії з позиції фізико-хімічної механіки, основи якої були закладені Ребіндером П.А. [6].

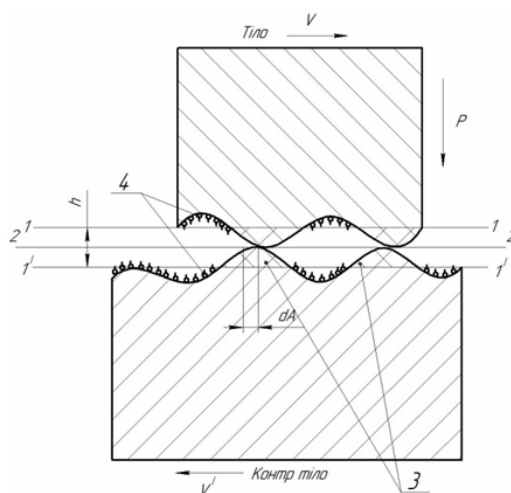
Наявність ефективних методів дослідження структури і складу поверхневих шарів дозволило отримати результати, які використовують при описі процесу зношування як комплексу процесів руйнування вихідних структур, формування нових і їх руйнування. Це викликало створення теорій фрикційної взаємодії на основі описання процесів масопереносу при терті.

В даній роботі будемо використовувати одну з таких теорій, запропоновану Д.І. Ригні [7]. Згідно його досліджень була запропонована модель тертя і вираз для коефіцієнта тертя:

$$\mu(h) = [1 - f(h)] \frac{(n \cdot A)^e}{P} \left\{ \tau_{\max}^e \left[F\left(\frac{\tau_s^e}{\tau_{\max}^e}\right) - \exp(-\alpha^e \cdot h) \cdot F\left(\frac{\tau_1}{\tau_{\max}^e}\right) \right] + \tau_{\max} \cdot \exp(-\alpha^e \cdot h) \cdot F\left(\frac{\tau_1}{\tau_{\max}}\right) \right\} + f(h) \frac{n \cdot A}{P} \cdot \tau_{\max} \cdot F\left(\frac{\tau_1}{\tau_{\max}}\right). \quad (1)$$

де h – товщина перенесеної плівки; τ_s - опір зсуву на поверхні вільній від плівки; τ_s^e - опір зсуву на поверхні плівки; τ_1 - опір зсуву між плівкою і поверхнею деталі; τ_{\max}^e - опір зсуву у плівці переносу; A – площа одиничного контакту; n – число контактів; P – нормальне навантаження; $f(h)$ – доля нерівностей, які вільні від плівки; α – коефіцієнт, що характеризує зниження пластичності у плівці перенесення; e – показник, який характеризує властивості плівки перенесення.

Приведений вираз враховує тертя у перенесеній плівці, в основному матеріалі під плівкою і у матеріалі вільному від плівки. Він описує фрикційну взаємодію у тому випадку, коли м'яка плівка перенесення міцна закріплена на основному матеріалі, а поверхня ковзання співпадає з межею розділу плівки і контртіла. Однак при зсуві можуть спостерігатись такі випадки, коли площина ковзання буде знаходитись в середині плівки або на межі розділу плівки і основного матеріалу. У цьому випадку створюються умови для відшарування перенесеного матеріалу. Тому, більш загальним випадком фрикційної взаємодії є утворення перенесеної плівки на обох поверхнях тертя деталей (рис. 1)



1-1, (1'-1') – межі розділення перенесеної плівки і поверхневого шару металу тіл; 2-2 – межа розділення на рівні «плівка-плівка», перенесена на взаємодіючі тіла; 3 – плівки перенесені на поверхні тіл тертя; 4 – адсорбований і хемосорбований шар масла; v, v' – швидкості руху; P – навантаження; dA – площа одиничного контакту; h – товщина перенесених плівок.

Рисунок 1 – Схема фрикційної взаємодії поверхонь вкритих плівками перенесення
Джерело: розроблено авторами з використанням [1, 3, 4, 6]

Структура плівки перенесення характеризується суттєвою неоднорідністю, великим числом пор, які є мікрорезервуарами для змащувального матеріалу. Дрібнодисперсні частки металу з активною поверхнею служать також центрами утворення полімероподібних продуктів. Присутність в зоні контакту поверхнево-активних речовин з металами приводе до реалізації особливого механізму фрикційної взаємодії, що характеризується колоїдною системою часток у змащувальному матеріалі і структурним перетворенням на поверхні розділу (згідно досліджень Стрельцова В.В.). Це приводе до швидкої адаптації пари тертя і переходу її у усталений режим роботи.

При терті шорсткості робочих поверхонь піддаються впливу пружних і пластичних деформацій, що супроводжується структурними перетвореннями та появою дислокацій. В результаті збільшується вільна поверхнева енергія, що викликає перетворення речовин і активацію хімічних реакцій.

Зміна часу життя міжатомного зв'язку під навантаженням в залежності від напруження σ і температури T описується рівнянням С.М. Журкова:

$$\tau = \tau_0 \cdot \exp \frac{U_0 - \gamma \cdot \sigma}{k \cdot T}, \quad (2)$$

де τ – час до руйнування, с;

τ_0 – період теплових коливань атомів, с;

U_0 – величина енергетичного бар'єру, Дж; σ – напруження, МПа;

k – стала Больцмана ($k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К);

γ – коефіцієнт, який характеризує властивості міцності твердого тіла;

T – абсолютна температура, К.

Для коефіцієнту тертя f , аналогічне рівняння буде мати вигляд:

$$f = f \cdot \exp \frac{U_0 - \gamma \cdot \sigma}{k \cdot T} \quad (3)$$

Хімічне модифікування поверхонь тертя (сюди ж можна віднести процес вибіркового перенесення) залежить від наявності у змащувальному матеріалі хімічно-активних речовин, які взаємодіють з металічними поверхнями і знижують схильність поверхонь до утворення металічних зв'язків, що запобігає схоплюванню і підвищеному

зношуванню при важких режимах тертя. У якості критерію, який враховує хімічну модифікацію використовують наступне співвідношення:

$$P_{\text{р.х.}} = \frac{R \cdot T}{U}, \quad (4)$$

де U – енергія активації розпаду міжатомних зв'язків хімічно модифікованих шарів, Дж;

T – абсолютна температура, К;

R – універсальна газова постійна, $R=8,31$ Дж/моль.

Зносостійкість поверхні буде залежати від співвідношення швидкості стирання модифікованих шарів і їх утворення у процесі тертя, від фізико-хімічних властивостей цих шарів, їх розмірів (товщини і глибини).

З точки зору енергетичних перетворень утворення рівновісного стану відбувається пропорційно приросту енергії активації $d(A_a)$ в одиницю часу (згідно досліджень Стрельцова В.В.), який визначається:

$$10adA_a = \frac{dS}{dt} = a \left(\frac{dA_T}{dt} \cdot \frac{dA_0}{dt} \right), \quad (5)$$

де a – постійний коефіцієнт, с/Н; S – площа контакту, м^2 ;

dA_T – енергія тертя, Дж; dA_0 – енергія, яка відводиться, Дж.

При постійній площі контакту ($dS/dt=0$) процес переходу у рівновісний стан. В процесі припрацювання енергія, яка відводиться, змінюється по складному закону і при деякому критичному значенні $S=S_{\text{кр}}$ досягає граничного значення і остається незмінною або зменшується.

Процеси контакту, тертя і зношування, як правило, пов'язані з безпосередніми фізичними взаємодіями поверхонь при їх відносних переміщеннях. На ці процеси впливає мастильне середовище, яке виконує наступні функції: розділяє поверхні тертя і зменшує безпосереднього контакту металічних поверхонь; змінює пластичні властивості взаємодіючих поверхонь; охолоджує поверхні тертя і змиває з них або вимиває із зазорів частки металів і їх оксиди, які оказують абразивний вплив на поверхні тертя. При наявності плівок перенесення, поверхні, що труться переміщуються одна відносно іншої з малим опором зсуву і без пошкоджень. В залежності від товщини плівки ($10^{-3} \dots 10^{-2}$ мкм), розподіл в ній поверхонь профілів і ступеню геометричного прилягання поверхонь виникають різні режими змащування.

Основне призначення масел для обкатки полягає у створенні між рухомими поверхнями плівки, яка здатна зменшити число прямих взаємодій твердих тіл і характеризується малим опором зсуву. Граничне змащення повинне володіти високою адгезією до поверхні тертя, зменшувати зношування і володіти малою міцністю на зріз, що забезпечує мале тертя.

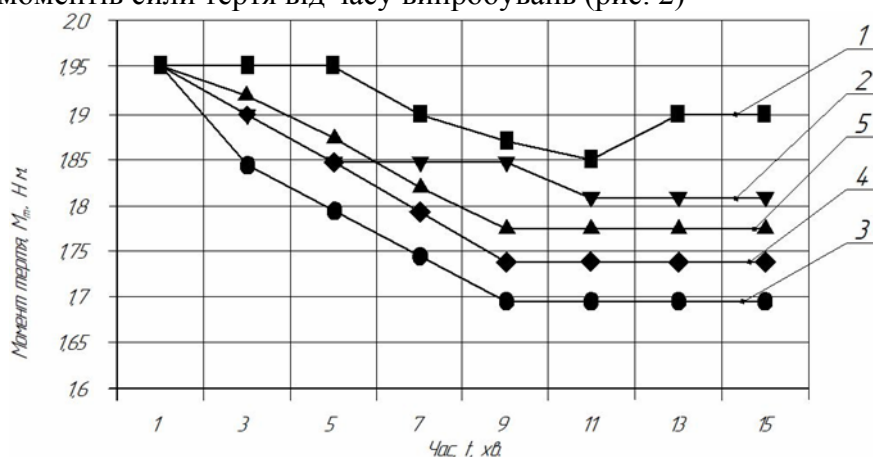
Взаємодія твердого тіла з маслом, що приводить до появи захисної граничної плівки представляється трьома механізмами: фізичною і хімічною адсорбцією, хімічною реакцією.

Тому для підвищення якості і прискорення припрацювання потрібна комплексна присадка, яка включає в себе і ПАР і ХАР. Виходячи з цього нами пропонується покращена комплексна присадка за основу якої взято розроблений і запатентований склад для обробки пар тертя (патент на корисну модель №125160, Україна [8]), що має наступний склад у відсотках по масі:

- олеїнова кислота $C_{17}H_{33}COOH$ – 2,0%;
- літєвий ферит із зворотною структурою шпінелі $Fe[Li_{0,5}Fe_{1,5}]O_4$ – 0,5%;
- тетраборат етилендіамонія $[C_2H_4(NH_3)_2]H_4B_4O_9$ – 0,3%;
- октадецилсульфатат натрію $C_{18}H_{37}SO_3Na$ – 0,2%;

- мінеральне масло – до 100%.

Для перевірки припрацювальних якостей запропонованої присадки проводили порівняльні випробування на зношування на установці СМТ-1 за схемою «ролик-колодка». Використовували масло М-8-В з розробленою присадкою. Визначали залежності моментів сили тертя від часу випробувань (рис. 2)



склад 1 – Масло М-8-В (температура – 333 К); склад 2 – Масло М-8-В + присадка 3 % (температура – 333 К); склад 3 – Масло М-8-В + присадка 3 % (температура – 293 К – 5 хв. і 333 К – 10 хв.); склад 4 – Масло М-8-В + присадка 3% (температура – 293 К); склад 5 – бензин АИ-92 + присадка 3% (температура – 293 К).

Рисунок 2 – Залежність моменту сили тертя від часу випробувань при ($n=500 \text{ хв}^{-1}$; $P=600 \text{ Н}$; $t=15 \text{ хв.}$)

Джерело: розроблено авторами

З наведеного графіку видно, що зниження моменту сили тертя на маслі М-8-В відбувається на п'ятій хвилині і по мірі припрацювання знижується не суттєво. Додавання у моторне масло присадки сприяє інтенсивному формуванню оптимальної мікрогеометрії і, відповідно, інтенсивному зниженню, а також більш швидкій стабілізації моменту сили тертя. У цьому випадку зниження моменту сили тертя спостерігається з першої хвилини, а стабілізація відбувається на 9 - 11 хвилинах. На протязі часу, в наслідок пластифікування сполучених поверхонь твердих тіл поверхнево-активними речовинами і малої твердості захисних покриттів, які утворюються, фактична площа контакту збільшується. Це приводить до зменшення питомого навантаження і температури в зоні контакту.

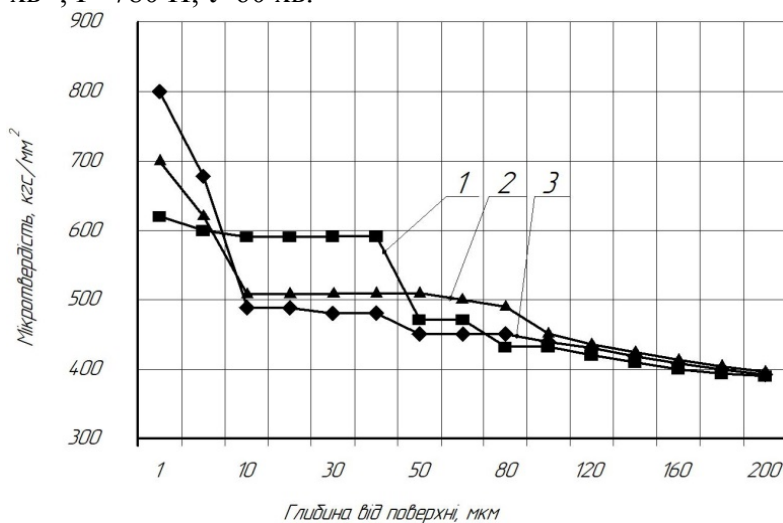
Також визначали шорсткість поверхні зразків припрацьованих на різних складах (табл. 1) і їх мікротвердість (рис. 3).

Шорсткість поверхонь після припрацювання свідчить про формування оптимальної мікрогеометрії з'єднання. В результаті обробки профілограм були отримані наступні характеристики шорсткості зразків.

Таблиця 1 – Результати оцінки шорсткості припрацьованих поверхонь.

Склад	Параметри шорсткості, мкм		
	R_{MAX}	R_z	R_a
Масло М-8-В	5,30	2,5	1,8
Масло М-8-В + присадки 3 %	2,50	0,85	0,6

Зразки, для визначення мікротвердості, були припрацьовані на наступних режимах $n=500 \text{ хв}^{-1}$; $P=780 \text{ Н}$; $t=60 \text{ хв}$.



склад 1 – Масло М-8-В (температура – 333 К); склад 2 - Масло М-8-В + присадка 3 % (температура – 333 К); склад 3 – Масло М-8-В + присадка 3 % (температура – 293 К).

Рисунок 3 – Залежність мікротвердості по глибині від поверхні зразків

Джерело: розроблено авторами

Збільшення мікротвердості поверхні тертя (поверхневих шарів) свідчить про ефективність присадки.

Висновки. Виявлено, що застосування запропонованої присадки комплексної дії формує металоплакуюче покриття на робочих поверхнях деталей та сприяє зміні структури поверхневого шару металу в процесі тертя під дією температури і навантаження. Чим підвищується якість процесу припрацювання деталей двигунів автомобілів при обкатці.

Список літератури

1. Радин Ю.А., Суслов П.Г. Безызносность деталей машин при трении. Ленинград: Машиностроение, 1989. 229 с.
2. Варнаков В.В., Стрельцов В.В., Попов В.М., Карпенков В.Ф. Технический сервис машин сельскохозяйственного назначения. Москва: Колос, 2000. 56 с.
3. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин: справочник. Москва: Машиностроение, 1984. 280 с.
4. Белый А.В., Прокопенко Г.Д., Мышкин Н.К. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев. Москва: Машиностроение, 1991. 208 с.
5. Справочник по триботехнике: в 3 т. Теоретические основы / под общ. Ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. Москва: Машиностроение, 1990. Т. 1. 480 с.
6. Ребиндер П.Я. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика: Изб. Труды. – Москва: Наука, 1989. 381 с.
7. Rigney D.A., Chen L.H., Naylor M.G., Spesivsev A.A. In Proc. Of the 1986. Int. Powder Metallurgy Conf. and Exhibition «The Future of Powder Metallurgy». Dusseldorf, 1986. p. 835 – 838.
8. Склад для обробки пар тертя: пат. на корисну модель №125160 Україна, опубл. 25.04.2018 р., бюл. №8.

Referencis

1. Radin, Yu.A. & Suslov, P.G. (1989). *Bezyznosnost detaley mashin pri trenii* [Non-wear of machine parts during friction]. Leningrad: Mashinostroenie [in Russian].

2. Varnakov, V.V., Streltsov, V.V., Popov, V.M. & Karpenkov, V.F. (2000). *Tekhnicheskiy servis mashin sel'skohozyaystvennogo naznacheniya [Technical service of agricultural machinery]*. Moscow: Kolos [in Russian].
3. Kragelskiy, I.V. & Mihin, N.M. (1984). *Uzlyi treniya mashin [Friction units of machines]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
4. Belyiy, A.V., Prokopenko, G.D. & Myishkin, N.K. (1991). *Struktura i metody formirovaniya iznosostoykikh poverhnostnykh sloev [Structure and methods of formation of wear-resistant surface layers]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
5. Hebdyi, M. Chichinadze, A.V. (1990). *Tribotechnics Handbook. Theoretical Foundations* (Vols. 1-3; Vol. 1). Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
6. Rebinder, P.Ya (1989). *Poverhnostnyie yavleniya v dispersnykh sistemah. Fiziko-himicheskaya mehanika: Izb. Trudyi [Surface phenomena in dispersed systems. Physico-chemical mechanics]*. Moscow: Nauka [in Russian].
7. Rigney, D.A., Chen, L.H., Naylor, M.G. & Spesivsev, A.A. (1986). In Proc. Of the 1986. Int. Powder Metallurgy Conf. and Exhibition «The Future of Powder Metallurgy». Dusseldorf [in English].
8. Pat. N125160 Ukraine. Sklad dlia obrobky par tertia [Composition for processing friction pairs]. Has been published April 25, 2018, Bul. N8 [in Ukrainian].

Yevhen Solovykh, Prof., DSc., **Viktor Dubovyk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Viktor Pukalov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Yurii Nevdakwa**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Andrii Sereda**
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Improving the Quality of Running-in of Car Engine Parts During Running-in Using a Complex Action Additive

The purpose of the work is to improve the quality of the process of running-in of car engine parts during running-in using the additive of complex action. The tasks are the theoretical substantiation of the formation of transfer films during engine running-in and the conduct of comparative studies of the developed complex additive to M-8-B motor oil.

The paper substantiates that in order to improve the quality and accelerate the running-in of car engine parts during running-in, a complex additive is required, which includes both surfactants and chemically active substances. The preconditions for obtaining transfer films on the friction surfaces of engine connections during running-in are considered. A frictional interaction is described in the case when the soft transfer film is strong and fixed on the main material, and the sliding surface coincides with the boundary between the film and the counter body. The presence in the zone of contact of surfactants with metals leads to the implementation of a special mechanism of frictional interaction, characterized by a colloidal system of particles in the lubricant and structural transformation on the interface.

Comparative laboratory studies of the proposed additive were performed. The dependence of the moment of friction force on the time of the tests, the surface roughness of the samples worked in different compositions, as well as the distribution of the microhardness of the samples by depth were investigated.

Based on the analysis of additives for running-in of engine parts, the use of complex additives containing surfactants and chemically active substances is determined as promising. Based on these studies, an additive containing ferrite spinel has been proposed. This allows you to control the running-in process through the structurally sensitive properties of the spinel composition. The use of the proposed additive of complex action helps to change the structure of the surface layer of the metal during friction under the action of temperature and load, which leads to improved quality of running-in of car engine parts during running-in.

running-in, running-in, oil, additive, selective transfer, friction, wear

Одержано (Received) 08.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 14.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 629.113.5.62-592

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).282-289](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).282-289)

Є.К. Солових, проф., д-р техн. наук, **В.О. Дубовик**, доц., канд. техн. наук, **А.Є. Солових**, доц., канд. техн. наук, **С.Є. Катеринич**, доц., канд. техн. наук, **М.І. Ішов**

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: zenesperanto@gmail.com

Дослідження процесу гальмування вивішених коліс автомобіля з гідравлічним приводом гальм

При експлуатації контроль гальмівних систем автомобілів здійснюється як в дорожніх, так і в стендових умовах. Найбільше розповсюдження отримали стендові методи, причому на силових стендах з біговими барабанами. Основним недоліком цих методів є висока вартість гальмівних стендів, а також значні матеріальні затрати при низькій якості отримання діагностичної інформації. Тому перспективним є метод діагностування гальмівних систем по зміні кутової швидкості вивішених коліс. Метод має високу оперативність, не вимагає великих капітальних витрат, що важливо для автотранспортних підприємств і станцій технічного обслуговування. Але цей метод не має достатньо повного теоретичного обґрунтування, особливо для автомобілів з гідравлічним приводом гальм. Тому в роботі обґрунтовано режими діагностування та діагностичні параметри, отримано аналітичні залежності процесу гальмування коліс автомобіля з гідроприводом гальм, які описують зміну кутового уповільнення вивішених коліс по часу на різних ділянках гальмівної діаграми, і часу запізнювання гальмівної системи. Отримані аналітичні залежності дають змогу досліджувати вплив різних чинників технічного стану гальмівних систем на показники процесу гальмування.

гальмівна система, гальмівна сила, гальмівний момент, силові параметри, кутове уповільнення, гальмівний барабан

Е.К. Соловых, проф., д-р техн. наук, **В.А. Дубовик**, доц., канд. техн. наук, **А.Е. Соловых** доц., канд. техн. наук, **С.Е. Катеринич**, доц., канд. техн. наук, **М.И. Ишов**

Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина

Исследование процесса торможения вывешенных колес автомобиля с гидравлическим приводом тормозов

При эксплуатации контроль тормозных систем автомобилей осуществляется как в дорожных, так и в стендовых условиях. Наибольшее распространение получили стендовые методы, причем на силовых стендах с беговыми барабанами. Основным недостатком этих методов является высокая стоимость тормозных стендов, а также значительные материальные затраты при низком качестве получения диагностической информации. Поэтому перспективным является метод диагностирования тормозных систем по изменению угловой скорости вывешенных колес. Метод имеет высокую оперативность, не требует больших капитальных затрат, что важно для автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания. Но этот метод не имеет достаточно полного теоретического обоснования, особенно для автомобилей с гидравлическим приводом тормозов. Поэтому в работе обосновано режима диагностики и диагностические параметры, получены аналитические зависимости процесса торможения колес автомобиля с гидроприводом тормозов, описывающие изменение углового замедления вывешенных колес по времени на различных участках тормозной диаграммы, и времени запаздывания тормозной системы. Полученные аналитические зависимости позволяют исследовать влияние различных факторов технического состояния тормозных систем на показатели процесса торможения.

тормозная система, тормозная сила, тормозной момент, силовые параметры, угловое замедление, тормозной барабан

Постановка проблеми. Одними з найважливіших систем і агрегатів автомобілів, що визначають безпеку дорожнього руху, а також їх надійність і продуктивність, є гальмівні системи.

В процесі експлуатації автомобілів відбувається зміна технічного стану гальм, що є причиною виникнення різних несправностей і відмов, які у багатьох випадках призводять до дорожньо-транспортного пригод. У зв'язку з цим своєчасне виявлення і попередження несправностей гальмівних систем автомобілів є актуальною задачею. Тому діагностування є якісно новою, більш досконалою формою контрольних робіт [1].

Контроль гальмівних систем автотранспортних засобів при експлуатації може здійснюватись як в дорожніх, так і в стендових умовах [1].

Найбільше розповсюдження отримали стендові методи, причому на силових стендах з біговими барабанами [2 – 4]. Але дані методи потребують наявності високовартісних стендів, а також значних матеріальних затрат при низькій якості отримання діагностичної інформації. Тому перспективним є метод діагностування гальмівних систем по зміні кутової швидкості вивішених коліс. Він полягає в реєстрації процесу гальмування вивішених коліс, отриманні гальмівних діаграм і визначенні по ним параметрів гальмівного процесу. Метод має високу оперативність, не вимагає великих капітальних витрат, що важливо для автотранспортних підприємств і станцій технічного обслуговування.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Вперше безгальмівний метод діагностування гальмівних систем автомобілів по зміні кутової швидкості вивішених коліс для автомобілів з гідроприводом гальм був розроблений в Саратовському технічному університеті [5 – 7]. Метод полягає у визначенні гальмівних якостей автомобілів в процесі гальмування вивішених коліс і коліс, що вільно обертаються з певною швидкістю на частковому режимі (зі зниженим зусиллям на педалі гальма і підвищеною початковою швидкістю гальмування) і з відключеним гідровакуумним підсилювачем гальм. В роботі [7] обґрунтований вибір діагностичних параметрів, в якості яких були прийняті час спрацьовування гальмівної системи, час уповільнення коліс в заданому інтервалі частоти обертання і гальмівний шлях коліс.

Подальшим розвитком даного методу є використання його для діагностування гальмівних систем автомобілів з пневматичним приводом [8]. В результаті теоретичних і експериментальних досліджень була розроблена математична модель процесу гальмування вивішених коліс автомобіля з пневматичним приводом гальм, проведено експериментальне обґрунтування режимів діагностування та дослідження впливу технічного стану гальм на зміну параметрів гальмівного процесу вивішених коліс, визначені нормативні значення діагностичних параметрів.

Розглянутий метод не має достатньо повного теоретичного обґрунтування, особливо для автомобілів з гідравлічним приводом гальм. Розроблена математична модель процесу гальмування вивішених коліс [9] не містить аналітичного виразу для визначення уповільнення незагальмованого колеса на ділянці запізнювання гальмівної системи, що не дозволяє досліджувати весь процес гальмування. Це призводить до неможливості теоретичного обґрунтування режимів діагностування, які приймаються лише за результатами експериментальних досліджень, а також об'єктивного обґрунтування діагностичних параметрів, що обмежує їх кількість.

Крім того, визначення технічного стану гальмівних систем проводиться без врахування зносу шин, що впливає на показники процесу гальмування і призводить до зниження точності і достовірності діагностування. Ці недоліки вказують на необхідність подальшого вдосконалення розглянутого методу.

Постановка завдання. На основі відомих досліджень розробити математичну модель процесу гальмування вивішених коліс автомобіля з гідравлічним приводом гальм, яка дозволяє дослідити вплив різних факторів технічного стану гальм на показники гальмівного процесу.

Виклад основного матеріалу. В основу математичної моделі покладено рівняння руху загальмованого колеса при гальмуванні автомобіля з приєднаною трансмісією (з включеним зчепленням) на прямолінійній горизонтальній ділянці дороги, яка в загальному випадку має вигляд:

$$P_{KT}r_{\delta} = M_{KT} + M_f - \sum I \cdot d\omega_k / dt + M_r, \quad (1)$$

де P_{KT} – дотична реакція, що діє на колесо з боку дороги, Н;

r_{δ} – динамічний радіус колеса, м;

M_{KT} – гальмівний момент, Нм;

M_f – момент опору кочення, Нм;

$\sum I$ – момент інерції всіх обертових частин, зв'язаних з піввіссю автомобіля $\text{Н}\cdot\text{м}^2$;

$d\omega_k/dt$ – кутове уповільнення колеса, с^{-2} ;

M_r – момент тертя у механізмах автомобіля, приведений до півосі.

Гальмування при вимкненому зчепленні:

$$I_K \cdot d\omega_k / dt = M_{KT} + M_C, \quad (2)$$

де I_K – момент інерції колеса і пов'язаних з ним обертових частин трансмісії, приведених до вісі колеса, $\text{Н}\cdot\text{м}^2$;

M_C – момент опору прокручуванню колеса, Нм.

Переходячи від уповільнення до прискорення і враховуючи, що

$d\omega_k/dt = d^2\varphi/dt^2$, отримаємо

$$I_K \cdot d^2\varphi/dt^2 = -M_{KT} - M_C, \quad (3)$$

де φ – кут повороту колеса, рад.

Зміна гальмівного моменту в процесі гальмування визначається характером зміни тиску в приводі. За аналогією приймається, що зміна тиску, а отже, гальмівної сили на ділянці наростання відбувається по лінійній залежності (рис. 1).

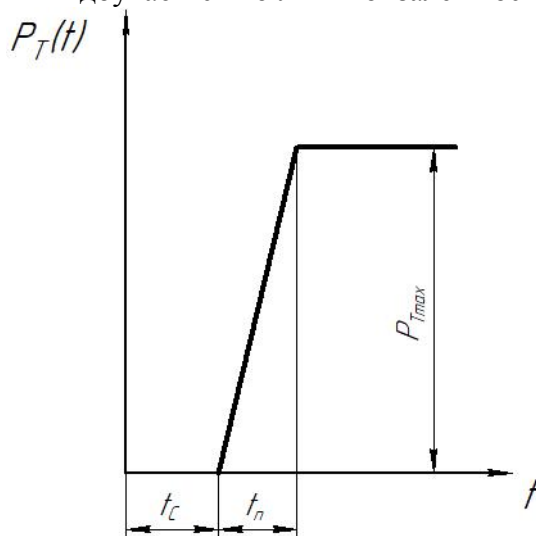


Рисунок 1 – Залежність гальмівної сили від часу

Джерело: розроблено авторами з використанням [1-9]

На ділянках запізнювання гальмівної системи і усталеного гальмування, гальмівна сила постійна і дорівнює відповідно нулю і P_{Tmax} . Тоді зміна гальмівної сили P_T від часу t може бути виражена такою залежністю:

$$P_T(t) = P_{T\max} B_1(t - t_c)/t_H + P_{T\max} B_2, \quad (4)$$

де $P_{T\max}$ – максимальна гальмівна сила, Н; t_H – момент наростання, с;
 B_1 і B_2 – коефіцієнти.

Коефіцієнти B_1 і B_2 мають наступні значення:

$B_1=0, B_2=0$, якщо $0 \leq t \leq t_c$;

$B_1=1, B_2=0$, якщо $t_c \leq t \leq t_c + t_H$;

$B_1=0, B_2=1$, якщо $t_c + t_H \leq t \leq T$.

де T – загальний час гальмування, с.

Рівняння 4 можна представити у наступному вигляді:

$$P_T(t) = P_{T\max} \left[(B_1/t_H)t + (B_2 t_H - B_1 t_c)/t_H \right]. \quad (5)$$

При гальмуванні колеса гальмівна сила діє на радіусі гальмівного барабану (рис. 2)

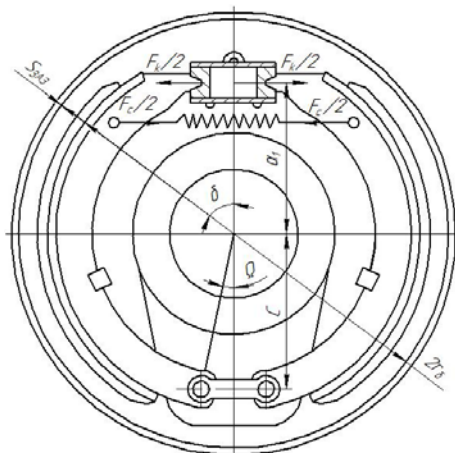


Рисунок 2 – Схема гальмівного механізму

Джерело: розроблено авторами з використанням [1-9]

Значення максимальної гальмівної сили:

$$P_{T\max} = M_{T\max} / r_б \quad (6)$$

$M_{T\max}$ – максимальний гальмівний момент, Нм;

$r_б$ – радіус гальмівного барабану, м.

Максимальний гальмівний момент:

$$M_{T\max} = P_{\text{ПР}\max} r_б C \quad (7)$$

де $P_{\text{ПР}\max}$ – сумарно максимальна приведена сила; Н;

C – коефіцієнт ефективності гальм.

Для барабанного двоклодкового гальмівного механізму з поршневым розтискним пристроєм і рівними приводними силами:

$$P_{\text{ПР}\max} = 2(\pi d^2 / 4)(p_{\max} - p_0), \quad (8)$$

де d – діаметр колісного гальмівного циліндра, м;

p_{\max} – максимальний тиск у гідроприводі, Па;

p_0 – тиск початку роботи гальм, Па.

Враховуючи (7) і (8) вираз (6) матиме вигляд:

$$P_{T\max} = \pi d^2 (p_{\max} - p_0) C / 2 \quad (9)$$

Коефіцієнти ефективності гальм розглянутого типу визначаються виразом:

$$C = Kf / (1 - f^2 S_K^2) \quad (10)$$

де K – коефіцієнт;

f – коефіцієнт тертя між фрикційними накладками і гальмівним барабаном;
 S_K – конструктивний показник самопідсилення гальмівного механізму.

Величини K і S_K вираховуються за формулами:

$$K = (a_1 + c) / (A_M r_0); \quad (11)$$

$$S_K = B_M / A_M \quad (12)$$

де a_1 – відстань від вісі гальмівного барабана до лінії дії приводних сил, м;

c – відстань від осей повороту колодок до вісі гальмівного барабана, м;

A_M і B_M – коефіцієнти.

Для випадку коли гальмування здійснюється у екстремому режимі, для якого характерний рівномірний розподіл тиску по довжині фрикційної накладки. В цьому випадку:

$$A_M = (c / r_0) \cdot [\cos(\alpha_0 + \theta) - \cos(\alpha_1 + \theta)] / (\alpha_1 - \alpha_0), \quad (13)$$

$$B_M = 1 - (c / r_0) \cdot [\sin(\alpha_1 + \theta) - \sin(\alpha_0 + \theta)] / (\alpha_1 - \alpha_0), \quad (14)$$

де α_0 – кут, утворений радіусами, проведеними з центру гальмівного барабана до осі повороту колодки і ближнього до осі краю накладки, рад;

α_1 – кут, утворений радіусами, проведеними з центру гальмівного барабана до осі повороту колодки і дальнього від осі краю накладки, рад.;

θ – половина кута, утвореного радіусами, проведеними з центру гальмівного барабана до осей повороту колодок, рад.

Підставляючи вирази (9) і (10) в рівняння (5), отримаємо:

$$P_T(t) = \frac{\pi d^2}{2} (p_{\max} - p_0) \frac{Kf}{1 - f^2 S_K^2} \left(\frac{B_1}{t_H} t + \frac{B_2 t_H - B_1 t_C}{t_H} \right), \quad (15)$$

$$M_{KT} = \frac{r_0 \pi d^2}{2} (p_{\max} - p_0) \frac{Kf}{1 - f^2 S_K^2} \left(\frac{B_1}{t_H} t + \frac{B_2 t_H - B_1 t_C}{t_H} \right). \quad (16)$$

Відповідно до цього теоретична зміна гальмівного моменту і моменту опору наведена на рис. 3.

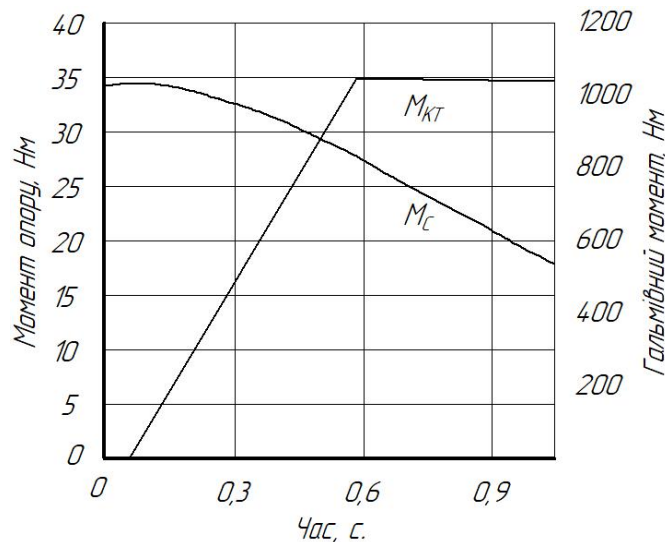


Рисунок 3 – Зміна гальмівного моменту і моменту опору по часу при гальмуванні колеса

Джерело: розроблено авторами з використанням [1-9]

Момент опору прокручування вивішених коліс може бути визначений силою опору P_C , приведеної до коліс. Вона описується лінійною емпіричною залежністю:

$$P_C = P_{C0} + k_C v, \quad (17)$$

де P_{C0} - сила опору при швидкості, близькій до нуля, Н;
 k_c – коефіцієнт, що враховує вплив швидкості на силу тертя, Нс / м;
 v – лінійна швидкість колеса, м/с.

Для одного вивішеного колеса

$$P_{CK} = P_C / m = P_{C0} / m + k_c v / m, \quad (18)$$

де P_{CK} – сила опору, яка припадає на одне колесо, Н;
 m – число коліс (для привідних $m = 2$, для ведених коліс $m = 1$).

Швидкість автомобіля v пов'язана з кутовою швидкістю колеса ω_K залежністю $v = \omega_K \cdot r_K$. Так як $\omega_K = d\phi/dt$, то

$$v = r_K \cdot d\phi / dt. \quad (19)$$

Після підстановки (19) у (18) отримаємо

$$P_{CK} = P_{C0} / m + (d\phi / dt) k_c r_K / m. \quad (20)$$

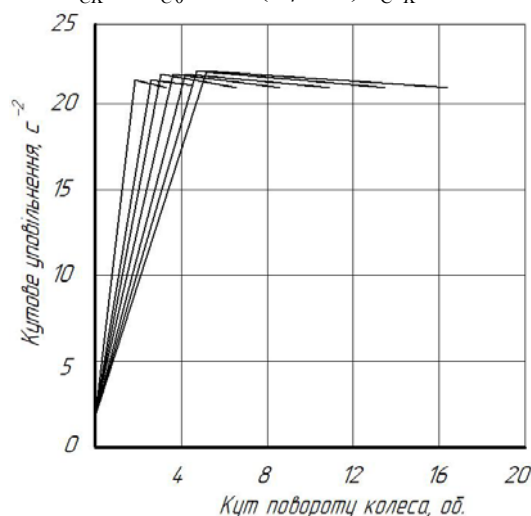


Рисунок 4 – Залежність кутового уповільнення від кута повороту колеса при різних зусиллях на педалі гальм

Джерело: розроблено авторами з використанням [1-9]

Висновки. Розроблена математична модель зміни гальмівного моменту і моменту опору від часу в процесі гальмування вивішених коліс автомобіля з гідравлічним приводом гальм, що описує зміну кутового уповільнення коліс в часі на різних ділянках гальмівної діаграми. Отримані аналітичні залежності дають змогу досліджувати вплив різних чинників на показники процесу гальмування.

Список літератури

1. Дубовик В.О., Невдаха Ю.А., Василенко І.Ф., Богатирьов Д.В. Підвищення точності вимірювання силових параметрів при діагностуванні гальмівних систем автомобілів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2019. Вип. 49. С. 83–92.
2. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник. Київ: Знання, 2004. 478 с.
3. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: підруч. Київ, Вища школа, 2007. 527 с.
4. Карташевич А.Н. Диагностирование автомобилей. Практикум : учеб. пособие / под ред. А.Н. Карташевича. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2011. 208 с.
5. Отставнов А.А., Фролов В.Г., Бойко А.А. Влияние технического состояния тормозов автомобиля на показатели эффективности его торможения. *Повышение эффективности использования автомобильного транспорта: межвуз. науч. сб. / Сарат. политехи, ин-т. Саратов, 1980. С. 103 - 115.*

6. Отставнов А.А., Фролов В.Г. Нормативные данные для диагностирования тормозных систем автомобилей ГАЗ-53А инерционным бесстендовым методом. *Повышение эффективности использования автомобильного транспорта: межвуз. науч. сб.* Саратов. политехн, ин-т. Саратов, 1981. С. 64 - 72.
7. Фролов В.Г. Исследование и разработка метода диагностирования тормозных систем автомобилей в отрыве от производственных баз: дис... канд. техн. наук. Саратов, 1981. 215 с.
8. Отставнов А.А., Бойко А.А., Ястребов А.Е. Экспериментальное исследование влияния технического состояния тормозных систем автомобиля КамАЗ на изменение параметров тормозного процесса вывешенных колёс. *Эффективность автомобильного транспорта: межвуз. науч. сб.* Саратов. политехи, ин-т. Саратов, 1991. С. 49 - 64.
9. Отставнов А.А., Шадыев Е.Р. Математическая модель процесса торможения вывешенного ведомого колеса автомобиля с гидроприводом тормозов. *Комплексное обеспечение показателей качества транспортных и технологических машин: Сб. ст. VII Междунар. науч.-техн. конф. Пенз. гос. ун-т. Пенза, 2001. С. 50 - 54.*

Referencis

1. Dubovyk, V.O., Nevdakha, Yu.A., Vasylenko, I.F. & Bohatyrov, D.V.(2019). Pidvyshchennia tochnosti vymiriuvannia sylovykh parametrov pry diahnostuvanni halmivnykh system avtomobiliv [Improvement of Accuracy of Measurement of Power Parameters at Diagnostics of Brake Systems of Cars]. *Zahalnoderzhavnyy mizhvidomchyi naukovy-tekhnichnyy zbirnyk. Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya silskohospodarskykh mashyn – National interagency scientific and technical collection. Design, production and operation of agricultural machines, 49, 83–92* [in Ukrainian].
2. Ludchenko, O.A. (2004). *Tekhnichne obsluhovuvannya i remont avtomobiliv: orhanizatsiia i upravlinnia: [Car maintenance and repair: organization and management]*. Kyiv: Znannia [in Ukrainian].
3. Ludchenko, O.A. (2007). *Tekhnichna ekspluatatsiia i obsluhovuvannya avtomobiliv: Tekhnolohiia [Car Maintenance and Maintenance: Technology]*. Kyiv, Vyscha shkola [in Ukrainian].
4. Kartashevych, A.N. (Ed.). (2011). *Dyahnostyrovanye avtomobylei [Car diagnostics]*. Mynsk: Novoe znanye; M.: YNFRA-M [in Russian]
5. Otstavnov, A.A., Frolov, V.G. & Boyko, A.A. (1980). Vliyanie tehnikeskogo sostoyaniya tormozov avtomobilya na pokazateli effektivnosti ego tormozheniya [Influence of the technical condition of the vehicle brakes on the performance indicators of its braking]. *Povyishenie effektivnosti ispolzovaniya avtomobilnogo transporta: Mezhevuz. nauch. sb. – Increasing the efficiency of using road transport: interuniversity. Scientific. sat. Sarat. politehi, in-t. – Saratov* [in Russian]
6. Otstavnov, A.A. & Frolov, V.G. (1981). Normativnyie dannyye dlya diaagnostirovaniya tormoznyih sistem avtomobiley GAZ-53A inertsiionnyim besstendovym metodom [Regulatory data for diagnosing the brake systems of GAZ-53A cars using the inertial standless method]. *Povyishenie effektivnosti ispolzovaniya avtomobilnogo transporta: Mezhevuz. nauch. sb. – Increasing the efficiency of using road transport: interuniversity. Scientific. sat. Sarat. politehn, in-t. – Saratov* [in Russian]
7. Frolov, V.G. (1981). Issledovanie i razrabotka metoda diaagnostirovaniya tormoznyih sistem avtomobiley v otryive ot proizvodstvennyih baz [Research and development of a method for diagnosing brake systems of cars in isolation from production bases]: *Candidate's thesis*. Saratov [in Russian]
8. Otstavnov, A.A., Boyko, A.A. & Yastrebov, A.E. (1991). Eksperimentalnoe issledovanie vliyaniya tehnikeskogo sostoyaniya tormoznyih sistem avtomobilya KamAZ na izmenenie parametrov tormoznogo protsessa vyveshennyih kolYos [Experimental study of the influence of the technical state of the brake systems of a KamAZ vehicle on the change in the parameters of the braking process of the suspended wheels]. *Effektivnost avtomobilnogo transporta: Mezhevuz. nauch. sb. – Efficiency of road transport: interuniversity. Scientific. sat. Sarat. politehi, in-t. – Saratov* [in Russian]
9. Otstavnov A.A. & Shadyiev E.R. (2001). Matematicheskaya model protsessa tormozheniya vyveshennogo vedomogo kolesa avtomobilya s gidroprivodom tormozov [Mathematical model of the braking process of a suspended driven wheel of a car with hydraulic brakes]. *Comprehensive provision of quality indicators for transport and technological machines: VII Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. – VII International Scientific and Technical Conference* (pp. 50-54). Penz. gos. un-t. – Penza [in Russian]

Yevhen Solovykh, Prof., DSc., **Viktor Dubovyk**, Assoc. Prof., PhD in tech. sci., **Andrii Solovykh**, Assoc. Prof., PhD in tech. sci., **Stanislav Katerynych**, Assoc. Prof., PhD in tech. sci., **Maksym Ishov**, student
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Investigation of the Braking Process of Suspended Wheels of a Car With a Hydraulic Brake Drive

For diagnosing car braking systems, bench methods have become the most widespread, and on power stands with running drums. The main disadvantage of these methods is the high cost of brake stands with low quality diagnostic information. At the same time the method of diagnosing brake systems on change of angular speed of the hung up wheels is perspective. But the considered method does not have a sufficiently complete theoretical justification, especially for cars with hydraulic brakes and therefore requires research.

Therefore, the work substantiates the diagnostic modes and diagnostic parameters, obtained analytical dependences of the process of braking car wheels with hydraulic brakes, which describe the change in the angular deceleration of the suspended wheels over time in different parts of the brake diagram and the delay time of the brake system. The mathematical model is based on the differential equation of motion of the braked wheel when braking a car with a connected transmission (with clutch engaged) on a straight horizontal section of road. The change in braking torque during braking is determined by the nature of the pressure change in the drive. When braking the wheel, the braking force acts on the radius of the brake drum. The obtained analytical dependences make it possible to study the influence of various factors of the technical condition of brake systems on the performance of the braking process.

In order to substantiate the diagnostic modes and diagnostic parameters, analytical dependences of the process of braking car wheels with hydraulic brakes have been developed, describing the change of angular deceleration of suspended wheels in time at different parts of the brake diagram and time delay of the brake system. The obtained analytical dependences make it possible to study the influence of various factors of the technical condition of brake systems on the performance of the braking process.

braking system, braking force, braking torque, power parameters, angular deceleration, brake drum

Одержано (Received) 08.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 15.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 656:338

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).290-304](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).290-304)

В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, **Д.В. Голуб**, доц., канд. техн. наук, **С.В. Лисенко**, доц., канд. техн. наук, **А.В. Гриньків**, канд. техн. наук, докторант, **В.О. Дьяченко**, асп., **А.С. Замуренко**, асп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: AulinVV@gmail.com, dimchik529@gmail.com, sv07091976@gmail.com,
avgrinkiv@gmail.com

Теоретичний підхід до оцінки ймовірностей безвідмовної роботи транспортних та виробничих систем і ланцюгів постачань на основі їх логічних структурних схем надійності

Дано теоретичне обґрунтування оцінки надійності функціонування транспортних та виробничих систем і ланцюгів постачань з використанням логічних структурних схем надійності. Виявлено, що їх побудова ґрунтується на аналізі наслідків відмов окремих елементів. Виділено властивості елементів систем та ланцюгів постачань для їх працездатного і непрацездатного станів. Наведено формули для розрахунку ймовірності їх безвідмовної роботи та відмови, а також напрацювання на відмову. Показано залежність ймовірності безвідмовної роботи транспортної та виробничої систем і ланцюгів постачань від рівня ймовірності та кількості її елементів. Розглянуто випадки послідовного та паралельного з'єднання елементів. Наведено методи розрахунку структурних логічних схем надійності та отримано формули, за якими проводиться оцінка ймовірності безвідмовної роботи транспортних та виробничих систем і ланцюгів постачань, а також ймовірність їх відмов. Наведена оцінка надійності за містковими структурними схемами, використовуючи методи мінімальних шляхів, мінімальних перерізів, перетворення з'єднання елементів "трикутник" - "зірочка", ключового елемента.

транспортна система, виробнича система, ланцюг постачань, безвідмовна робота, ймовірність, оцінка надійності, структурна схема, елементи, методи

В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, **Д.В. Голуб**, доц., канд. техн. наук, **С.В. Лисенко**, доц., канд. техн. наук, **А.В. Гриньків**, канд. техн. наук, докторант, **В.О. Дьяченко**, асп., **А.С. Замуренко**, асп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Теоретический подход к оценке вероятностей безотказной работы транспортных и производственных систем и цепей поставок на основе их логических структурных схем надежности

Дано теоретическое обоснование оценки надежности функционирования транспортных и производственных систем и цепей поставок с использованием логических структурных схем надежности. Обнаружено, что их построение основывается на анализе последствий отказов отдельных элементов. Выделенные свойства элементов, систем и для их работоспособного и неработоспособного состояний. Приведены формулы расчета вероятности их безотказной работы и отказов в целом, а также наработки на отказ. Показана зависимость вероятности безотказной работы транспортной и производственной систем и цепей поставок от уровня вероятности и количества ее элементов. Рассмотрены случаи последовательного и параллельного соединения элементов. Приведены методы расчета структурных логических схем надежности и получены формулы, по которым проводится оценка вероятности безотказной работы транспортных и производственных систем и цепей поставок, а также вероятность их отказов. Приведена оценка надежности по мостиковым структурным схемам, используя методы минимальных путей, минимальных сечений, преобразования соединения элементов "треугольник" - "звездочка", ключового элемента.

© В.В. Аулін, Д.В. Голуб, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків, В.О. Дьяченко, А.С. Замуренко, 2020

транспортная система, производственная система, цепь поставок, безотказная работа, вероятность, оценка надежности, структурная схема, элементы, методы

Постановка проблеми. Відомо [1, 2], що оцінку рівня надійності транспортної та виробничої систем починають з формулювання умов їх працездатності, з використанням ряду різних моделей, таких, як: словесні, аналітичні та графічні. Опис умов працездатності системи за словесними моделями є найпростішим, однак, переважно громіздким і недостатньо чітким. Аналітичні методи розрахунку надійності функціонування транспортних і виробничих систем дають можливість синтезувати структурну схему надійності складних систем з наперед заданими показниками надійності. Графічні моделі, якими є структурні схеми надійності є достатньо наочними і у багатьох випадках містять більш повну інформацію про логіку виникнення відмов у системі та їх наслідки, тобто відтворює логічні зв'язки між подіями відмов. В зв'язку з чим, при оцінці рівня надійності транспортних і виробничих систем, в першу чергу, є доцільним розгляд їх логічних структурних схем надійності, правил їх побудови та використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Складні транспортні і технічні системи та ланцюги постачань мають велику кількість елементів, надійність яких залежить не лише від надійності окремих елементів, але й від характеру зв'язків між ними, тобто від функціональної структури системи [1, 3, 4].

Розроблені методологічні підходи дослідження належного рівня ефективності і надійності транспортних систем [5] та експлуатаційних властивостей та якості їх функціонування [6, 7]. Розглянуті методи оцінки і аналізу надійності та ефективності транспортних і виробничих систем [8-10] та якості їх функціонування [11], але не систематизовано математичний інструментарій розрахунку [12]. В оцінках показників надійності слід враховувати багатофункціональну роботу підсистем транспортних і виробничих систем, а також ланцюгів постачання [13]. Визначено, що надійність зазначених систем підвищується впровадженням логістичного підходу [14, 15, 16] та визначенням критеріїв реалізації процесів забезпечення надійності та ефективності їх функціонування [17, 18]. Важливими є і методи формування систем і ланцюгів постачань [19].

Запропоновані основні напрямки підвищення надійності транспортних систем [20] та виявлено ряд проблем [21], серед яких належним чином виділяються методи теоретичного обґрунтування та розрахунку показників та фізико-інформаційний підхід їх дослідження [22].

В проблемі підвищення надійності процесів в транспортних і виробничих системах, ланцюгів постачань ефективними є і способи структурного резервування [23-26], які передбачають побудову структурних схем надійності та моделювання процесів [27, 28]. Щоб забезпечити ефективність функціонування системи і ланцюгів постачань необхідна розробка структурно-функціональних резервних схем процесів [29].

Розв'язання проблеми надійності технологічних процесів розглянуто на прикладі перевезень у агропромисловому виробництві [30] на та у міжнародному сполученні [31]. Важливим в даній проблемі є формування інформаційних потоків [32, 33].

З аналізу результатів досліджень по проблемі надійності транспортних систем можна бачити, що побудова логічних схем надійності ґрунтується на дослідженнях наслідків причин відмов окремих елементів:

- якщо відмова елемента приводить до відмови ланцюга або системи, то його в логічну схему надійності включають послідовно;
- якщо ж відмова елемента не призводить до відмови ланцюга або системи, то його в логічну схему надійності включають паралельно.

Безумовно актуальним для більш точного комплексного забезпечення надійності і ефективності транспортних систем, розробка методу оцінки ймовірності їх безвідмовної роботи на основі логічних структурних схем.

Постановка завдання. Метою даної роботи є розробка підходу оцінки ймовірності безвідмовної роботи транспортних та виробничих систем і ланцюгів постачань на основі логічних структурних схем надійності, що дає можливість оцінки їх залежності від рівня ймовірності та кількості елементів, а також прогнозування і попередження відмови.

Виклад основного матеріалу. Аналіз функціонування транспортних і виробничих систем та ланцюгів постачань в сучасних умовах, дає можливість виділити їх наступні властивості:

- самі системи, ланцюги постачань та кожний із їх елементів можуть перебувати лише в одному з двох станів - працездатному або непрацездатному;
- системи, ланцюги постачань працездатні або непрацездатні, якщо всі їх елементи відповідно теж працездатні або відмовили;
- відмова елемента в системі, ланцюзі постачань, що відмовили, не відновлюють їх працездатності;
- відновлення елемента в системі, ланцюзі постачань, що працюють, не може стати причиною їх відмов.

Транспортні і виробничі системи, ланцюги постачань, які відповідають зазначеним вимогам є монотонними або з когерентними структурами [34].

Прикладом ланцюга системи з монотонною структурою і незалежними елементами є ланцюг з послідовним з'єднанням n елементів (рис. 1).



Рисунок 1 – Послідовна логічна структурна схема надійності системи або ланцюга з n елементів

Зазначимо, що в логічну схему надійності елементи включають послідовно, коли їх відмова є причиною відмови системи або ланцюга. Позначимо через x_i працездатний стан елемента, а через \bar{x}_i - його непрацездатний стан. Аналогічно введемо позначення станів працездатного S і непрацездатного \bar{S} ланцюга або системи.

Ймовірність безвідмовної роботи у такому випадку є добутком ймовірностей безвідмовної роботи елементів [35]:

$$p_S(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t), \quad (1)$$

де $p_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи i -го елемента впродовж часу t .

При цьому ймовірність відмови системи та ланцюгу відповідно становитиме:

$$q_S(t) = 1 - p_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^n p_i(t). \quad (2)$$

За відомим показником $p_S(t)$ можна розрахувати точне значення напрацювання системи, ланцюга на відмову:

$$t_{BS} = \int_0^{\infty} p_S(t) dt. \quad (3)$$

Якщо відмови окремих елементів транспортної та виробничої системи або ланцюга постачань підпорядковані експоненційному закону розподілу:

$$q_i(t) = e^{-\lambda_i t} \approx 1 - \lambda_i t, \quad (4)$$

де λ_i – інтенсивність відмов i -го елемента, то за такої умови інтенсивність їх відмов є сумою інтенсивностей відмов її елементів:

$$\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t), \quad (5)$$

При експоненційному розподілі часу напрацювання на відмову для відновлюваних елементів параметр потоку відмов і напрацювання на відмову системи, ланцюга дорівнюють:

$$\omega_s(t) = \sum_{i=1}^n \omega_i(t); \quad (6)$$

$$t_{\text{BBS}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i(t)}. \quad (7)$$

Оцінка показників надійності для транспортних і виробничих систем та ланцюгів постачань з послідовними структурами свідчить, що їх надійність є не більшою від надійності найменш надійного елемента та із зростанням кількості елементів їх надійність не збільшується.

В логічну схему надійності елементи включають паралельно, коли їх відмова не є причиною відмови всієї системи та ланцюга. Паралельна структура ланцюга або системи з n елементів зображена на рис. 2.

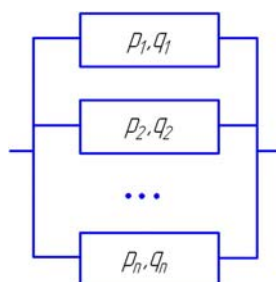


Рисунок 2 – Логічна схема надійності системи або ланцюга з паралельним з'єднанням елементів

Ймовірність відмови такої її структури становить:

$$q_s(t) = \prod_{i=1}^n q_i(t) = \prod_{i=1}^n [1 - p_i(t)], \quad (8)$$

а ймовірність безвідмовної роботи розраховують за формулою:

$$p_s(t) = 1 - q_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - p_i(t)]. \quad (9)$$

У випадку експоненційного закону розподілу напрацювання елементів системи або ланцюга на відмову, якщо ймовірності безвідмовної роботи елементів близькі до 1. Ймовірність безвідмовної роботи i -го елемента при цьому дорівнює:

$$p_i(t) = e^{-\lambda_i t} \approx 1 - \lambda_i t, \quad (10)$$

і, відповідно, ймовірність відмови i -го елемента становить:

$$q_i(t) = 1 - e^{-\lambda_i t} \approx \lambda_i t. \quad (11)$$

Ймовірність відмови системи або ланцюга при цьому дорівнює:

$$q_S(t) = (\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \dots \cdot \lambda_n) t^n, \tag{12}$$

а для рівнонадійних елементів, маємо:

$$q_S(t) \approx (\lambda t)^n, \tag{13}$$

де $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \dots \cdot \lambda_n = \prod_{i=1}^n \lambda_i$.

Середня тривалість безвідмовної роботи системи, ланцюга з паралельним з'єднанням n елементів у логічній схемі надійності можна визначити за формулою:

$$\bar{t}_{BBS} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} - \sum_{i < k} \frac{1}{\lambda_i + \lambda_k} + \sum_{i < k < e} \frac{1}{\lambda_i + \lambda_k + \lambda_e} + \dots + (-1)^n \frac{1}{\lambda_i + \lambda_k + \lambda_e + \dots + \lambda_n}, \tag{14}$$

а для рівнонадійних елементів, маємо:

$$\bar{t}_{BBS} = \frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} \right). \tag{15}$$

При експоненційному розподілі часу напрацювання на відмову для відновлюваних елементів тривалість напрацювання системи, ланцюга з паралельним з'єднанням елементів не є експоненціальною функцією. Виявлено, що напрацювання на відмову окремих елементів добре узгоджується із законом Вейбулла-Гнеденка з параметром форми b і середню тривалість напрацювання на відмову розраховують за формулою:

$$\bar{t}_{BBS} = \sum_{i=1}^n C_n^i (-1)^{i-1} \frac{\Gamma\left(\frac{1}{b} + 1\right)}{\lambda^{\frac{1}{b}} i^{\frac{1}{b}}}. \tag{16}$$

де $\Gamma\left(\frac{1}{b} + 1\right)$ – гама функція.

При паралельному з'єднанні елементів надійність системи (ланцюга) є не меншою від надійності найбільш надійного елемента. Зі зростанням кількості елементів надійність системи (ланцюга) не зменшується.

Більшість систем (ланцюгів), як правило є, не лише послідовними або паралельними, або послідовно-паралельними але й паралельно-послідовними. Оцінку надійності таких систем та їх ланцюгів проводять ітераційно, замінюючи групи послідовно та паралельно з'єднаних елементів еквівалентними (рис. 3) та остаточно розраховуючи їх надійність за формулами (3) і (8).

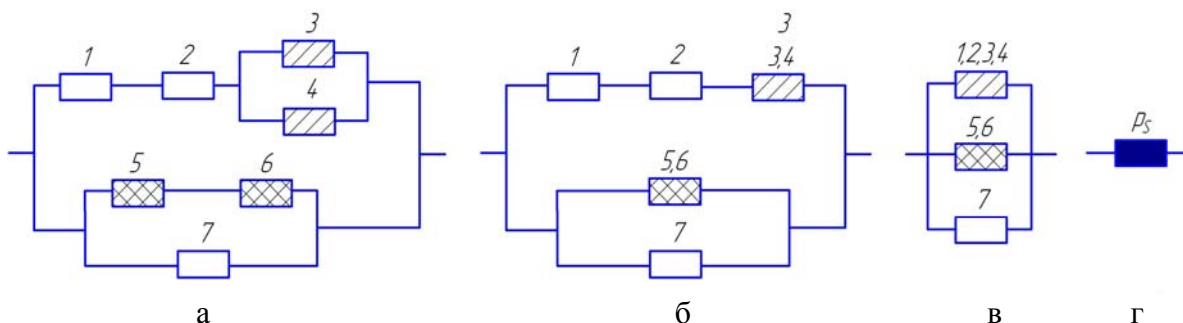


Рисунок 3 – Процедура аналізу послідовно-паралельної структури з'єднання елементів першої (а), другої (б), третьої (в) і четвертої (г) ітерації системи (ланцюга)

Розглянемо ітераційну процедуру підходу до оцінки послідовно-паралельної структури системи (ланцюга). На першій ітерації розглядають групу паралельно з'єднаних елементів 3 і 4, замінюють їх одним еквівалентним елементом 3, 4, розрахувавши ймовірність безвідмовної роботи такого еквівалентного елемента за формулою (9). На другій ітерації розглядають групу послідовно з'єднаних елементів 5 і 6, замінюють їх одним еквівалентним елементом 5,6, розрахувавши ймовірність безвідмовної роботи такого еквівалентного елемента за формулою (1). На третій ітерації розглядають групу послідовно з'єднаних елементів 1, 2 і 3,4, замінюють їх одним еквівалентним елементом 1, 2, 3, 4, розрахувавши ймовірність безвідмовної роботи такого еквівалентного елемента за формулою (1). На четвертій ітерації розглядають групу паралельно з'єднаних елементів 1, 2, 3, 4 і 5, 6 і 7, замінюючи їх одним еквівалентним елементом S . Розраховується ймовірність безвідмовної роботи такого еквівалентного елемента за формулою (9). Яка є ймовірністю безвідмовної роботи системи (ланцюга). Відповідно для першої та другої ітерації ймовірність безвідмовної роботи дорівнюють:

$$p_{3,4}(t) = 1 - [1 - p_3(t)][1 - p_4(t)];$$

$$p_{5,6}(t) = p_5(t)p_6(t),$$

а для третьої та четвертої ітерацій:

$$p_{1,2,3,4}(t) = p_1(t)p_2(t)p_{3,4}(t),$$

$$p_S(t) = 1 - [1 - p_{1,2,3,4}(t)][1 - p_{5,6}(t)][1 - p_7(t)].$$

Методи розрахунку логічних структурних схем надійності транспортних і виробничих систем та ланцюгів постачання, які не зводяться до послідовно-паралельних, використовуються для місткової схеми надійності (рис. 4). Для оцінки надійності за такими схемами використовують спеціальні методи: мінімальних шляхів, мінімальних перерізів, перетворення з'єднання елементів "трикутник"- "зірочка", ключового елемента [36].

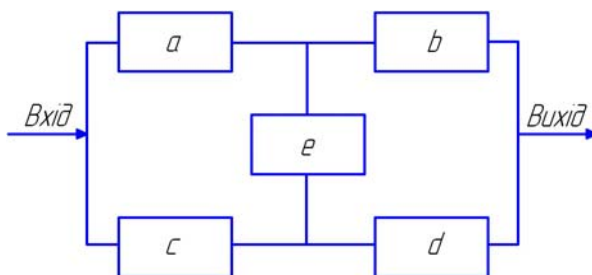


Рисунок 4 – Місткова структурна схема надійності транспортних та виробничих систем або їх ланцюгів з'єднання елементів

Щоб перейти до розгляду методу мінімальних шляхів, передусім слід сформулювати визначення шляху, набору елементів, які з'єднують «вхід» і «вихід». Для даної місткової схеми існують наступні шляхи: $abcde$, $abed$, $abce$, $abde$, $bede$, aed , ceb , abe , abc , abd , cda , cdb , cde , ab , cd . Зазначимо, що набори силуетів ac , ae , bd , be , ce і de шляхів не утворюють.

Мінімальним є шлях, після вилучення з якого хоча б одного елемента, решту елементів шляху вже не утворюють. Мінімальними шляхами в містковій схемі (рис. 4) є aed , ceb , ab , cd . Шлях cde не є мінімальним, адже після вилучення з нього елемента e , елементи cd , що залишилися, все ще утворюють шлях.

В термінах мінімальних шляхів умова працездатності транспортної та виробничої систем (ланцюгів) наступна: система (ланцюг) буде працездатною тоді, коли буде працездатним хоча б один мінімальний шлях. Система (ланцюг) також залишається працездатною, коли працездатною є хоча б одна із декількох її складових. Це відповідає схемі надійності з паралельним з'єднанням таких складових (рис. 5, а). Елементи мінімального шляху повинні бути з'єднані послідовно в схемі надійності (рис. 5, б).

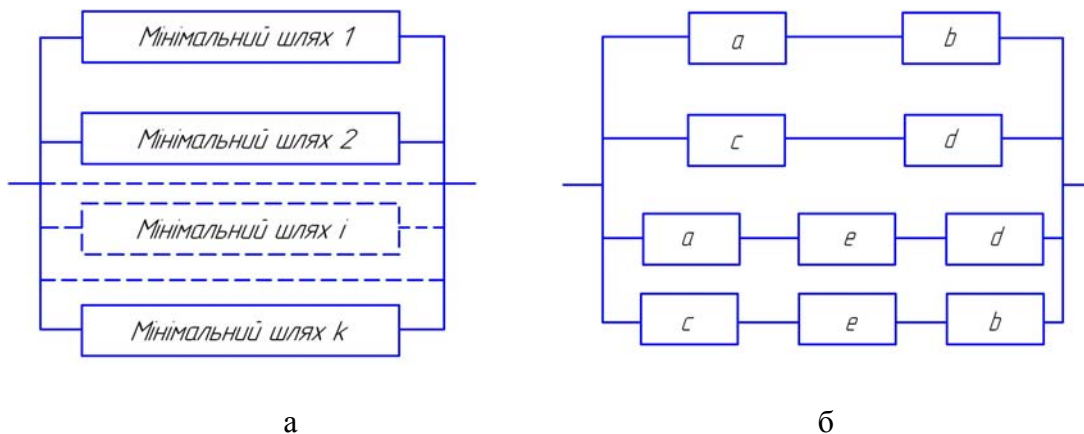
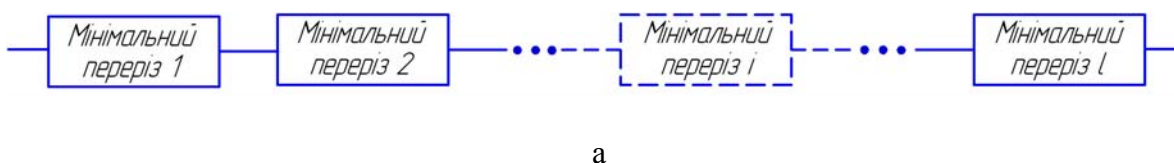


Рисунок 5 – Схема заміщення місткової схеми з паралельним (а) та послідовним (б) з'єднанням елементів, отримана методом мінімальних шляхів

Можна бачити, що схема заміщення є послідовно-паралельною, а її оцінка надійності не викликає складнощів. Щоб перейти до розгляду методу мінімальних перерізів передусім слід сформулювати визначення перерізу. Перерізом у схемі надійності є набір елементів, вилучення яких роз'єднує «вхід» і «вихід». Запишемо всі перерізи для місткової схеми: $abode, abed, abce, abde, bede, ade, bee, ace, bde, abd, acd, bde, ac, bd$. Також зазначимо, що набори abe, cde, ad, ae, be, de і ce перерізів не утворюють. Мінімальним є такий переріз, після вилучення з якого хоча б одного елемента, решту елементів перерізу вже не утворюють. Мінімальними перерізами в містковій схемі (рис. 4) є: aed, ceb, ac, bd . Переріз bde не є мінімальним, адже після вилучення з нього елемента e , елементи bd , що залишилися, все ще утворюють переріз.

В термінах мінімальних перерізів умова втрати працездатності системи (ланцюга): система (ланцюг) буде непрацездатною тоді, коли в ній буде непрацездатним хоча б один мінімальний переріз. Система (ланцюг) стає непрацездатною, коли непрацездатною є хоча б одна із декількох її складових. Це відповідає схемі надійності з послідовним з'єднанням таких складових (рис. 6, а). Відповідно до визначення елементи мінімального перерізу повинні бути з'єднані паралельно в схемі надійності системи або її ланцюгів (рис. 6, б).



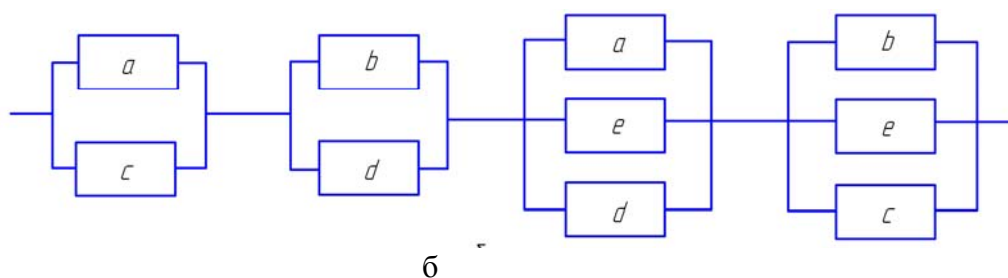


Рисунок 6 – Схема заміщення місткової схеми з послідовним (а) та паралельним (б) з'єднаннями елементів, отримана методом мінімальних перерізів

Таким чином, представлена схема заміщення є послідовно-паралельною, а її розрахунок не викликає жодних складнощів.

Якщо уважно проаналізувати місткову схему (рис. 7), то стане очевидним, що складність її розрахунку полягає в тому, що група елементів, виділених пунктирним контуром, з'єднана "трикутником".

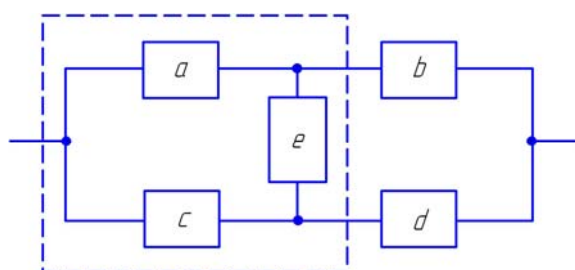


Рисунок 7 – Група елементів місткової схеми, що з'єднані "трикутником"

Для цієї схеми застосовують метод перетворення "трикутник" → "зірочка". Виділимо ці елементи окремо (рис. 8, а), для того, щоб перетворити початкове з'єднання елементів "трикутник" в еквівалентне з'єднання "зірочка" (рис. 8, б). Зазначимо, що забезпечується однакова ймовірність безвідмовної роботи ланок 1-2, 1-3, 2-3 як для "трикутника", так і для "зірочки".

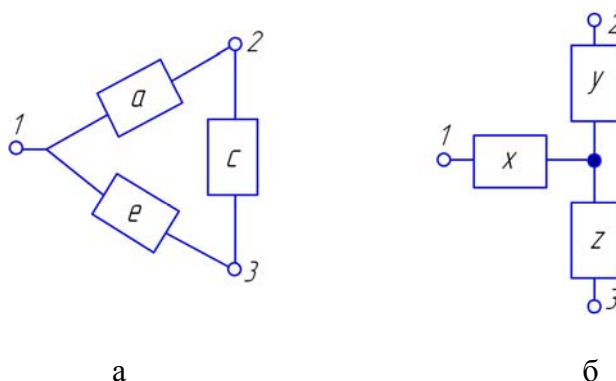


Рисунок 8 – Заміна групи елементів системи або ланцюга, що з'єднані трикутником (а), групою елементів, з'єднаних зірочкою (б)

Для останніх структурних перетворень характерною є система рівнянь:

$$\begin{cases} p_a + p_c p_e - p_a p_c p_e = p_x p_y, \\ p_c + p_c p_e - p_a p_c p_e = p_x p_z, \\ p_e + p_a p_e - p_a p_c p_e = p_y p_z. \end{cases} \quad (17)$$

Якщо ймовірності безвідмовної роботи елементів дорівнюють $p_a = p_c = p_e = p_{\Delta}$ і $p_z = p_x = p_y = p$, то система рівнянь спрощується:

$$p_{\Delta} + p_{\Delta}^2 - p_{\Delta}^3 = p^2. \quad (18)$$

Структурна схема заміщення (рис. 9), відносно структурної схеми, відображеної на рис. 7, є послідовно-паралельною, а її розрахунок не викликає складнощів.

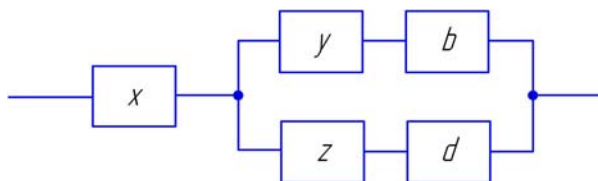


Рисунок 9 – Схема заміщення місткової схеми, отримана методом перетворення "трикутник" → "зірочка"

Ключовим елементом у структурній логічній схемі надійності системи або ланцюга є елемент з найбільшою кількістю зв'язків (рис. 10).

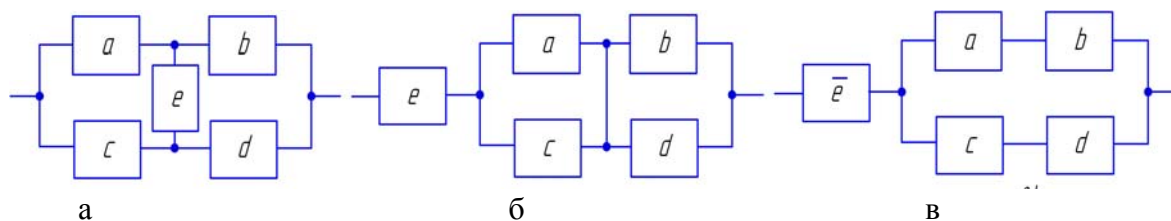


Рисунок 10 – Перетворення місткової структурно-логічної схеми надійності за методом ключового елемента, що має найбільшу кількість зв'язків (а), паралельним (а) та послідовним (б) з'єднанням

На основі розглянутого можливо сформулювати загальні правила розгляду складних структурних логічних схем надійності (рис. 10) за методом ключового елемента:

- у схемі надійності (рис. 10, а) вибирають ключовий елемент з найбільшою кількістю зв'язків e ;
- у місці ключового елемента e (рис. 10, б) використовують абсолютно надійний зв'язок (замикання), а сам ключовий елемент під'єднують до схеми паралельно;
- розраховують ймовірність p_I безвідмовної роботи для такої структурної схеми;
- у місці ключового елемента використовують абсолютно ненадійний зв'язок (обрив), а до схеми послідовно під'єднують елемент \bar{e} (рис. 10, в);
- розраховують ймовірність p_{II} безвідмовної роботи для такої структурної схеми надійності;
- знаходять ймовірність безвідмовної роботи початкової схеми надійності:
 $p_s = p_I + p_{II} \cdot$

Висновки.

1. Виявлено, що складні транспортні і виробничі системи та ланцюги постачань мають велику кількість елементів, а тому їх надійність залежить не лише від надійності окремих елементів, але й від характеру зв'язків між ними.

2. Проведення аналізу надійності транспортних і виробничих систем та ланцюгів постачань можливо за допомогою їх структурних логічних схем надійності і на відміну від фізичних схем, які відтворюють фізичні зв'язки між елементами, логічні схеми надійності будують так, щоб показати, які комбінації відмов окремих елементів приводять до відмови ланцюга або системи в цілому.

3. Побудова логічних структурних схем надійності ґрунтується на аналізі наслідків причин відмов окремих елементів, що в подальшому може бути використано при розробці теоретичних основ підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем, виробничих систем різних галузей та ланцюгів постачань.

Список літератури

1. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія / під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.
2. Курганов В.М. Управление эффективностью и надежностью функционирования систем доставки. *Грузовое и пассажирское автомобильное хозяйство*. 2009. Вып. № 6. С. 8-13.
3. Загашев И.О., Заир-Бек С.И. Технология развития критического мышления: перспективы для высшего образования. СПб.: Изд-во «Скифия», 2002. 283 с.
4. Ротштейн А.П., Штовбас С.Д., Козачко А.Н. Моделирование и оптимизация надежности многомерных алгоритмических процессов. Винница: "УНИВЕРСУМ-Винница", 2007. 215 с.
5. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Методологія підходів до дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту ВНТУ*. 2017. №2. С. 4-14.
6. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологія визначення основних експлуатаційних властивостей та якості функціонування транспортних і технічних систем. *Вісник інж. академії України*. 2017. №2. С. 110-115.
7. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічне обґрунтування дослідження та розв'язання проблеми надійності функціонування транспортних систем. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2017. №10. С. 29-36.
8. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методи оцінки і аналізу надійності автомобільних транспортних систем. Актуальні задачі сучасних технологій. *Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів*: зб. тез доповідей, (Тернопіль, 16–17 листопада 2017 р.). Том III. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.14-15.
9. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методи оцінки і аналізу надійності складних транспортних систем та технологічних процесів в них. *Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2018*: зб. тез доповідей XIV Міжнар. наук. конф., 19-22 травня 2018 року. НУБіП. Київ, 2018. С.47-51.
10. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. №1(11). С.5-10.
11. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методологічний підхід до визначення рівня якості функціонування транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2018. №1(7). С. 4-9.
12. Аулін В.В., Голуб Д.В., Луценко А.С. Математичний апарат оцінки надійності багатофункціональних транспортних систем. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*: зб. наук. матеріалів міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. ЦНТУ м.Кропивницький, Україна, 14-15 листопада 2018 р. Кропивницький, 2018. С.33-41.
13. Аулін В.В., Голуб Д.В. Забезпечення та підвищення надійності транспортних систем і процесів перевезень багатофункціональною роботою їх учасників. *Крамаровські читання*: зб. тез доповідей V Міжнар. наук.-техн. конф., 22-23 лют. 2018 р., м. Київ; НУБіП. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2018. С. 107-110.

14. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Підвищення ефективності транспортних систем в АПК на основі логістичного підходу. *Крамаровські читання: зб. тез доповідей V Міжнар. наук.-техн. конф.*, 22-23 лют. 2018 р., м. Київ; НУБіП. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2018. С. 135-138.
15. Аулін В.В., Головатий А.О. Ефективність створення та функціонування логістичних систем на АТП. *Підвищення надійності машин і обладнання: зб. тез доповідей XII Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих науковців. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 71-73.*
16. Olexiy Pavlenko, Denys Velikodnyy, Oleksandr Kalinichenko, Andriy Hrinkiv, Viktoriy Diychenko, Volodymyr Dzyura Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine. ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine. С.120-134.
17. Аулін В.В., Черновол М.И., Панков А.А. Критерий эффективности применения зерновых сеялок с механическими высевающими аппаратами. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.*. 2017. Вип. 47, ч.І. С.40-46.
18. Аулін В.В., Лисенко С.В., Головатий А.О., Тирса Я.В., Хорольський Н.К. Сучасна логістична система доставки вантажних відправлень у міжнародному сполученні *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф.*, 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С. 256-257.
19. Аулін В.В., Великодний Д.О. Методи формування системи транспортно-технологічного забезпечення в АПК. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення: зб. наук. праць за матеріалами VIII-ї Міжнар. наук.-практ. конф., Сєвєродонецьк – Одеса – Вільнюс – Київ, 23-25 травня 2018р.; Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Одеський національний морський університет . Одеса: КУПРІСНКО СВ, 2018. С. 15-17.*
20. Аулін В.В. Аналіз напрямів підвищення надійності автомобільних транспортних систем. *Підвищення надійності машин і обладнання: зб. тез доповідей XII Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих науковців. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 87-91.*
21. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В. Методологічний підхід до визначення рівня якості функціонування транспортних систем. *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. 2018. №3. С.23-32.
22. Аулін В.В., Голуб Д.В. Реалізація фізико-інформаційного підходу дослідження проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування транспортних систем. *Вестник ХНАДУ*. 2018. Вип. 81. С.21-28.
23. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Підвищення надійності процесу перевезень в транспортних системах різними способами структурного резервування. *Крамаровські читання: зб. тез доповідей VI Міжнар. наук.-техн. конф.*, 21-22 лют. 2019 р., м. Київ; НУБіП. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2019. С. 68-71.
24. Аулін В.В., Великодний Д.О., Голуб Д.В., Дьяченко В.О. Підвищення ефективності управління логістичним ланцюгом постачання в транспортній системі. *Крамаровські читання: зб. тез доповідей VI Міжнар. наук.-техн. конф.*, 21-22 лют. 2019 р., м. Київ; НУБіП. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2019. С. 195-198.
25. Аулін В.В., Голуб Д.В. Оцінка ймовірності безвідмовної роботи транспортних систем з мажоритарними схемами резервування. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали I Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф.*, 21-23 травня 2019 р. Рівне : НУВГП, 2019. С.77-78.
26. Аулін В.В., Голуб Д.В. Підхід оцінки надійності функціонування транспортних систем резервованих способом заміщення. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали 1^{ої} Міжнар. наук.-практ. конф.*, 17-19 квітня 2019 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2019. С.251-252.
27. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Моделювання ланцюга постачання в транспортно-логістичній системі. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання: тези доповідей Третьої Всеукр. наук.-теорет. конф.*, 28–30 березня 2019 року. Дрогобич.: ІПосвіт, 2019. С.68-69.
28. Аулін В.В., Великодний Д.О., Моделювання ланцюга постачання в транспортно-логістичній системі. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання: тези доповідей. 3-ої Всеукр. наук.-теорет. конф.*, 28 – 30 березня 2019 р. Дрогобич.: Посвіт, 2019. С.68-69.
29. Аулін В.В., Голуб Д.В. Забезпечення ефективності функціонування транспортних систем шляхом підвищення надійності структурно-функціональних резервних схем процесу доставки / Зб. тез

- доповідей викладачів, аспірантів та співробітників І наукової конференції "Наука – виробництву 2019", 18 квітня 2019 року. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 17-20.
30. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О., Дьченко В.О. Розв'язання проблеми надійності технологічних процесів вантажних перевезень підприємствами агропромислового виробництва. *Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 1(32). С.36-45.
 31. Аулін В.В., Великодний Д. О., Кернус Р. О., Мосузенко Ю. А. Підвищення ефективності доставки вантажів у міжнародному сполученні. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: зб. наук. праць матерів VIII-ої міжн. наук.-практ. інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 року: МОН України, ВНТУ [та інш.]. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.13-14.
 32. Аулін В.В., Голуб Д.В., Замуренко А. Підвищення ефективності транспортного процесу формування інформаційних потоків в системі перевезень вантажів. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем*: матеріали II Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф., 25-27 березня 2020 р. Рівне : НУВГП, 2020. С. 41-43.
 33. Аулін В.В., Голуб Д.В., Дібрівний В.С., Талалаєв О.М., Шерстюков В.В., Ніколенко Б.М. Інформаційна модель забезпечення надійності та ефективності транспортних процесів пасажирських перевезень. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.230-232.
 34. Волкова Н.В., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. 511 с.
 35. Горопашная А.В. Методы анализа безопасности сложных технических систем: дисс. канд. физ-мат наук. СПб, 2009. 109 с.
 36. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2007. 276 с.

References

1. Aulin, V.V., Golub, D.V., Grinkiv A.V. & Lisenko, S.V. (2017). Metodologichni i teoretichni osnovi zabezpechennya ta pidvishennya nadijnosti funkcionuvannya avtomobilnih transportnih sistem [Methodological and theoretical bases of maintenance and increase of reliability of functioning of automobile transport systems]. Aulina V.V. (Ed.). Kropivnickij: Vidavnictvo TOV "KOD". 370.
2. Kurganov V.M. (2009) Upravlenie effektivnostyu i nadezhnostyu funkcionirovaniya sistem dostavok [Performance management and reliability of delivery systems] // Gruzovoe i passazhirskoe avtomobilnoe hozyajstvo. Freight and passenger car economy. 8-13. [in Russian].
3. Zagashev I.O., Zair-Bek S.I. (2002) Tehnologija razvitija kriticheskogo myshlenija: perspektivy dlja vysshego obrazovaniya [Critical Thinking Development Technology: Prospects for Higher Education]. – SPb.: Izd-vo «Skifija». 283. [in Russian].
4. Rotshtejn A.P., Shtovbas S.D., Kozachko A.N. (2007) Modelirovanie i optimizacija nadezhnosti mnogomernyh algoritmicheskikh processov [Modeling and optimization of reliability of multidimensional algorithmic processes]. – Vinnica: "UNIVERSUM-Vinnica". 215.
5. Aulin V.V., Bilichenko V.V., Holub D.V., Velykodnyj D.O. Metodolohiia pidkhodiv do doslidzhennia shliakhiv i sukupnosti faktoriv zabezpechennia nalezhnoho rivnia efektyvnosti i nadijnosti transportnykh system [Methodology of approaches to the study of ways and a set of factors to ensure the appropriate level of efficiency and reliability of transport systems]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu VNTU*. №2, 2017. - S. 4-14.
6. Aulin V.V., Holub D.V., Hryn'kiv A.V., Lysenko S.V. Metodolohiia vyznachennia osnovnykh ekspluatatsijnykh vlastyvostej ta iakosti funktsionuvannia transportnykh i tekhnichnykh system [Methodology for determining the basic operational properties and quality of operation of transport and technical systems]. - *Visnyk inzh. akademii Ukrainy*. – 2017. – №2. – S. 110-115.
7. Aulin V.V., Holub D.V., Hryn'kiv A.V., Lysenko S.V. Metodolohichne obgruntuvannia doslidzhennia ta rozv'iazannia problemy nadijnosti funktsionuvannia transportnykh system [Methodological substantiation of research and solution of the problem of reliability of functioning of transport systems]. *Tekhnichnyj servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv*. – 2017. – №10. – S. 29-36.
8. Aulin V.V., Holub D.V. Metody otsinky i analizu nadijnosti avtomobil'nykh transportnykh system [Methods for assessing and analyzing the reliability of road transport systems. - Actual problems of modern technologies]. - *Aktual'ni zadachi suchasnykh tekhnolohij. Zbirnyk tez dopovidej Mizhnarodnoi nauko-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv, (Ternopil', 16–17 lystopada 2017 r.)*.

- Tom III. – Ternopil': Ternopil's'kyj natsional'nyj tekhnichnyj universytet imeni Ivana Puliuia, 2017. – S.14-15.
9. Aulin V.V., Holub D.V. Metody otsinky i analizu nadijnosti skladnykh transportnykh system ta tekhnolohichnykh protsesiv v nykh [Methods for assessing and analyzing the reliability of complex transport systems and technological processes in them]. - Zbirnyk tez dopovidej XIV Mizhnarodnoi naukovo konferentsii «Ratsional'ne vykorystannia enerhii v tekhnitsi. TechEnergy 2018» (19-22 travnia 2018 roku) / NUBiP. Kyiv. 2018. S.47-51.
 10. Aulin V.V., Holub D.V., Bilichenko V.V., Zamurenko A.S. Formuvannia pokaznykiv otsinky efektyvnosti transportnoho protsesu perevezen' [Formation of indicators for assessing the efficiency of the transport process]. - Visnyk mashynobuduvannia ta transportu №1(11), 2020. S.5-10.
 11. Aulin V.V., Holub D.V. Metodolohichnyj pidkhid do vyznachennia rinvnia iakosti funktsionuvannia transportnykh system [Methodological approach to determining the level of quality of transport systems] // Visnyk mashynobuduvannia ta transportu. №1(7), 2018. S. 4-9.
 12. Aulin V.V., Holub D.V., Lutsenko A.S. Matematychnyj aparat otsinky nadijnosti bahatofunktsional'nykh transportnykh system [Mathematical apparatus for assessing the reliability of multifunctional transport systems] / Zbirnyk naukovykh materialiv mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii: "Innovatsijni tekhnolohii rozvytku ta efektyvnosti funktsionuvannia avtomobil'noho transportu", TsNTU m.Kropyvnyts'kyj, Ukraina, 14-15 lystopada 2018 roku. Kropyvnyts'kyj. 2018. S.33-41.
 13. Aulin V.V., Holub D.V. Zabezpechennia ta pidvyschennia nadijnosti transportnykh system i protsesiv perevezen' bahatofunktsional'noiu robotoiu ikh uchastykiv [Ensuring and increasing the reliability of transport systems and transportation processes by multifunctional work of their participants] / Zb. tez dopovidej V Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Kramarovs'ki chytannia" 22-23 liut. 2018 r., m. Kyiv / NUBiP. – K.: Vydavnychij tsentr NUBiP Ukrainy, 2018. – S. 107-110.
 14. Aulin V.V., Velykodnyj D.O., D'iachenko V.O. Pidvyschennia efektyvnosti transportnykh system v APK na osnovi lohistychnoho pidkhodu [Improving the efficiency of transport systems in the agro-industrial complex on the basis of a logistical approach] / Zb. tez dopovidej V Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Kramarovs'ki chytannia" 22-23 liut. 2018 r., m. Kyiv / NUBiP. – K.: Vydavnychij tsentr NUBiP Ukrainy, 2018. – S. 135-138.
 15. Aulin V.V., Holovatyj A.O. Efektyvnist' stvorennia ta funktsionuvannia lohistychnykh system na ATP [Efficiency of creation and functioning of logistics systems on ATP] / Zb. tez dopovidej KhII Vseukrains'koi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh naukovtsiv «Pidvyschennia nadijnosti mashyn i obladnannia». – Kropyvnyts'kyj: TsNTU, 2018. – S. 71-73.
 16. Olexiy Pavlenko, Denys Velikodnyy, Oleksandr Kalinichenko, Andriy Hrinkiv, Viktoriy Diychenko, Volodymyr Dzyura Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine [Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine] / ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine. – S.120-134.
 17. Aulin V.V., Chernovol M.Y., Pankov A.A. Kryterij efektyvnosti pryomenyia zernovykh seialok s mekhanycheskymy vysevaiuschymy apparatamy [Criterion of efficiency of application of grain seeders with mechanical sowing devices] / Zahal'noderzhavnyj mizhvidomchyj naukovo-tekhnichnyj zbirnyk. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia sil's'kohospodars'kykh mashyn, vyp. 47, ch.I. – Kropyvnyts'kyj: TsNTU, 2017. – S.40-46.
 18. Aulin V.V., Lysenko S.V., Holovatyj A.O., Tyrsa Ya.V., Khorol'skyj N.K. Suchasna lohistychna sistema dostavky vantazhnykh vidpravlen' u mizhnarodnomu spoluchenni [Modern logistics system for delivery of cargo shipments in international traffic] / Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Pidvyschennia nadijnosti mashyn i obladnannia. Increase of Machine and Equipment Reliability", 15-17 kvitnia 2020 r. – Kropyvnyts'kyj : TsNTU, 2020. – S. 256-257.
 19. Aulin V.V., Velykodnyj D.O. Metody formuvannia cystemy transportno-tekhnolohichnoho zabezpechennia v APK [Methods of forming the system of transport and technological support in the agro-industrial complex] Transport i lohistyka: problemy ta rishennia: Zbirnyk naukovykh prats' za materialamy VIII-i Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, Sievierodonets'k – Odesa – Vil'nus – Kyiv, 23-25 travnia 2018r. / Skhidnoukrains'kyj natsional'nyj universytet im. V. Dalia, Odes'kyj natsional'nyj mors'kyj universytet – Odesa: KUPRIYeNKO SV, 2018. – S. 15-17.
 20. Aulin V.V. Analiz napriamiv pidvyschennia nadijnosti avtomobil'nykh transportnykh system [Analysis of ways to increase the reliability of road transport systems] / Zb. tez dopovidej KhII Vseukrains'koi

- naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh naukovtsiv «Pidvyschennia nadijnosti mashyn i obladnannia». – Kropyvnyts'kyj: TsNTU, 2018. – S. 87-91.
21. Aulin V.V., Holub D.V., Bilichenko V.V. Metodolohichnyj pidkhyd do vyznachennia rivnia yakosti funktsionuvannia transportnykh system [Methodological approach to determining the level of quality of transport systems] / Problemy trybolohii (Problems of tribology). Khmel'nyts'kyj. KhNU, 2018. – №3 – S.23-32.
 22. Aulin V.V., Holub D.V. Realizatsiia fizyko-informatsijnoho pidkhotu doslidzhennia problemy pidvyschennia nadijnosti ta efektyvnosti funktsionuvannia transportnykh system [Implementation of a physical-information approach to the study of the problem of improving the reliability and efficiency of transport systems] / Vestnyk KhNADU, vyp. 81, 2018. S.21-28.
 23. Aulin V.V., Holub D.V., Velykodnyj D.O. Pidvyschennia nadijnosti protsesu perevezen' v transportnykh systemakh riznymi sposobamy strukturnoho rezervuvannia [Improving the reliability of the transportation process in transport systems by various methods of structural redundancy] / Zb. tez dopovidej VI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Kramarovs'ki chytannia" 21-22 liut. 2019 r., m. Kyiv / NUBiP. – K.: Vydavnychij tsentr NUBiP Ukrainy, 2019. – S. 68-71.
 24. Aulin V.V., Velykodnyj D.O., Holub D.V., D'chenko V.O. Pidvyschennia efektyvnosti upravlinnia lohistychnym lantsiuhom postachannia v transportnij systemi [Improving the efficiency of logistics supply chain management in the transport system] / Zb. tez dopovidej VI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Kramarovs'ki chytannia" 21-22 liut. 2019 r., m. Kyiv / NUBiP. – K.: Vydavnychij tsentr NUBiP Ukrainy, 2019. – S. 195-198.
 25. Aulin V.V., Holub D.V. Otsinka jmovirnosti bezvidmovnoi roboty transportnykh system z mazhorytarnymy skhemamy rezervuvannia [Estimation of probability of trouble-free operation of transport systems with majority schemes of redundancy] / Innovatsijni tekhnolohii rozvytku mashynobuduvannia ta efektyvnoho funktsionuvannia transportnykh system: materialy I Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi internet-konferentsii, 21-23 travnia 2019 r. - Rivne : NUVHP, 2019. – S.77-78.
 26. Aulin V.V., Holub D.V. Pidkhyd otsinky nadijnosti funktsionuvannia transportnykh system rezervovanykh sposobom zamischennia [Approach to assessing the reliability of the operation of transport systems reserved by the method of replacement] / Materialy 1oi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Pidvyschennia nadijnosti mashyn i obladnannia. Increase of Machine and Equipment Reliability", 17-19 kvitnia 2019 r. – Kropyvnyts'kyj : TsNTU, 2019. – S.251-252.
 27. Aulin V.V., Velykodnyj D.O., D'chenko V.O. Modeliuvannia lantsiuha postachannia v transportno-lohistychnij systemi [Supply chain modeling in the transport and logistics system] / Tezy dopovidej Tret'oi Vseukrains'koi naukovo-teoretychnoi konferentsii "Problemy z transportnymy potokamy i napriamy ikh rozv'iazannia", 28–30 bereznia 2019 roku. – Drohobych.: IPosvitl, 2019. – S.68-69.
 28. Aulin V.V., Velykodnyj D.O., Modeliuvannia lantsiuha postachannia v transportno-lohistychnij systemi [Supply chain modeling in the transport and logistics system] / 3-ia Vseukr. nauk.-teoretychna konferentsiia «Problemy z transportnymy potokamy i napriamy ikh rozv'iazannia», 28 – 30 bereznia 2019 roku: Tezy dopovidej. – Drohobych.: Posvit, 2019. – S.68-69.
 29. Aulin V.V., Holub D.V. Zabezpechennia efektyvnosti funktsionuvannia transportnykh system shliakhom pidvyschennia nadijnosti strukturno-funktsional'nykh rezervnykh skhem protsesu dostavky [Ensuring the efficiency of transport systems by increasing the reliability of structural and functional backup schemes of the delivery process] / Zb. tez dopovidej vykladachiv, aspirantiv ta spivrobotnykiv L naukovo konferentsii "Nauka – vyrobnytstvu 2019", 18 kvitnia 2019 roku. Kropyvnyts'kyj: TsNTU, 2019. – S. 17-20.
 30. Aulin V.V., Holub D.V., Velykodnyj D.O., D'chenko V.O. Rozv'iazannia problemy nadijnosti tekhnolohichnykh protsesiv vantazhnykh perevezen' pidpriemstvamy ahropromysloвого vyrobnytstva [Solving the problem of reliability of technological processes of freight transportation by agro-industrial enterprises] // Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky. Vyp. 1(32). Kropyvnyts'kyj: TsNTU, 2019. S.36-45.
 31. Aulin V.V., Velykodnyj D. O., Kernus R. O., Mosuzenko Yu. A. Pidvyschennia efektyvnosti dostavky vantazhiv u mizhnarodnomu spoluchenni [Improving the efficiency of cargo delivery in international traffic] / Materialy VIII-oi mizhn. nauk.-praktychnoi internet-konf. «Problemy i perspektyvy rozvytku avtomobil'noho transportu», 14-15 kvitnia 2020 roku: zb. nauk. prats' / MON Ukrainy, VNTU [ta insh.]. – Vinnytsia: VNTU, 2020. – S.13-14.
 32. Aulin V.V., Holub D.V., Zamurenko A. Pidvyschennia efektyvnosti transportnoho protsesu formuvanniam informatsijnykh potokiv v systemi perevezen' vantazhiv [Improving the efficiency of the transport process by forming information flows in the freight system] / Innovatsijni tekhnolohii rozvytku

- mashynobuduvannia ta efektyvnoho funktsionuvannia transportnykh system: materialy II Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi internet-konferentsii 25-27 bereznia 2020 r. Rivne : NUVHP, 2020. S. 41-43.
33. Aulin V.V., Holub D.V., Dibrivnyj V.S., Talalaiev O.M., Sherstiukov V.V., Nikolenko B.M. Informatsijna model' zabezpechennia nadijnosti ta efektyvnosti transportnykh protsesiv pasazhyr'skykh perevezhen' [Information model for ensuring the reliability and efficiency of passenger transport processes] / Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Pidvyschennia nadijnosti mashyn i obladnannia. Increase of Machine and Equipment Reliability", 15-17 kvitnia 2020 r. – Kropyvnyts'kyj : TsNTU, 2020. – S.230-232.
 34. Volkova N.V., Denisov A.A. (2001) Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza [Fundamentals of systems theory and systems analysis]. - SPb.: Izd-vo SPbGTU. 511. [in Russian].
 35. Goropashnaja A.V. (2009) Metody analiza bezopasnosti slozhnyh tehniceskikh sistem: dissertacija kand. fiz-mat nauk [Safety analysis methods for complex technical systems]. - SPB. 109. [in Russian].
 36. Rjabinin I.A. (2007) Nadezhnost' i bezopasnost' strukturno-slozhnyh sistem [Reliability and safety of structurally complex systems]. SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta. 276. [in Russian].

Vktor Aulin, Prof., DSc., **Dmytro Holub**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Sergiy Lisenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Andriy Grinkiv**, PhD tech. sci., doctoral student, **Viktoria Dyachenko**, post-graduate, **Artem Zamurenko**, post-graduate

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Theoretical Approach to Estimating the Probabilities of Trouble-free Operation of Transport and Production Systems and Supply Chains Based on Their Logical Structural Schemes of Reliability

The purpose of the work is to develop a method of estimating the probability of failure-free operation of transport systems on the basis of their logical structural diagrams of reliability, which makes it possible to evaluate their dependence on the level of probability and the number of elements and to predict and prevent failure of a chain or system as a whole.

The theoretical substantiation of reliability estimation of functioning of transport systems using logical structural schemes of reliability is given and it is revealed that their construction is based on the analysis of consequences of failures of individual elements. Properties of elements and systems for their working and inoperable states are highlighted. The formulas for calculating the probability of failure-free operation and failure of the chain or the transport system as a whole, as well as their time to failure. The dependence of the probability of failure-free operation of the transport system on the level of probability and the number of its elements is shown. Cases of serial and parallel connection of elements in the transport system chain are considered. Methods of calculation of structural reliability schemes are presented and formulas are used for estimating the probability of trouble-free operation of technical and transport systems, as well as the probability of their failures. Dependencies of reliability indicators on number of elements are constructed. It shows the reliability estimation of bridged structural diagrams using the methods of minimum paths, minimum cross sections, transformation of the connection of elements "triangle" - "asterisk", a key element.

It is found that complex technical and transport systems have a large number of elements, and therefore the reliability of such systems depends not only on the reliability of the individual elements, but also on the nature of the connections between them. Carrying out the reliability analysis of transport systems is possible with the help of their structural functional circuits of reliability and unlike physical circuits that reproduce physical connections between elements, logical reliability circuits are built to show what combinations of failures of individual elements of the system lead to failure of a circuit or system in general. Thus, the construction of logical reliability schemes is based on the analysis of the consequences of the causes of failures of individual elements, which can later be used in the development of theoretical bases for improving the reliability of the functioning of road transport systems.

transport system, production system, supply chain, trouble-free operation, probability, reliability assessment, block diagram, elements, methods

Одержано (Received) 30.04.2020

Прорецензовано (Reviewed) 19.05.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 339.5:656

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).305-312](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).305-312)

О.С. Дубицький, доц., канд. техн. наук, **В.І. Бодак**, доц., канд. техн. наук, **Н.Г. Куць**, доц., канд. техн. наук, **Ю.В. Булік**, доц., канд. техн. наук

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

e-mail: o.dubyskyi@gmail.com

Проблеми та перспективи розвитку міжнародного ринку транспортних послуг

В даній статті досліджено тенденції та перспективи розвитку міжнародного ринку транспортних послуг. Викладено питання про сучасний стан ринку вантажоперевезень. З'ясовано основні проблеми міжнародного ринку транспортних послуг. Визначено фактори, що впливають на подальший розвиток ринку транспортних послуг. Обґрунтовані завдання в галузі міжнародних договорів у сфері автомобільного транспорту. Проведене дослідження дає змогу розглянути та проаналізувати важливі напрями інноваційного розвитку та застосування сучасних технологій в сфері транспорту.

перевезення, ринок транспортних послуг, міжнародний ринок транспортних послуг

А.С. Дубицький, доц., канд. техн. наук, **В.І. Бодак**, доц., канд. техн. наук, **Н.Г. Куць** доц., канд. техн. наук, **Ю.В. Булік**, доц., канд. техн. наук

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

Проблемы и перспективы развития международного рынка транспортных услуг

В данной статье исследованы тенденции и перспективы развития международного рынка транспортных услуг. Изложены вопросы о современном состоянии рынка грузоперевозок. Выяснены основные проблемы международного рынка транспортных услуг. Определены факторы, влияющие на дальнейшее развитие рынка транспортных услуг. Обоснованные задачи в области международных договоров в сфере автомобильного транспорта. Проведенное исследование позволяет рассмотреть и проанализировать важные направления инновационного развития и применения современных технологий в сфере транспорта.

перевозки, рынок транспортных услуг, международный рынок транспортных услуг

Постановка проблеми. Глобалізація міжнародної торгівлі і транснаціоналізація національних компаній – вільне пересування ресурсів і товарів, що об'єктивно неможливо здійснити без транспортного комплексу.

Жодну зовнішньоторговельну операцію неможливо уявити без участі в ній транспорту, в будь-якому випадку товар необхідно доставити від продавця до покупця. Транспортна послуга – послуга з виконання договору перевезення людей і вантажів. При здійсненні зовнішньоторговельних перевезень автомобільний транспорт має певні переваги перед іншими видами транспорту: маневреність, доставка вантажів «від дверей до дверей»; терміновість і регулярність доставки; доставка може бути організована за системою «just in time» (точно в строк); упаковка (потрібно в менших обсягах або не потрібно зовсім).

Транспорт є основною базою розвитку внутрішнього і міжнародного ринків, забезпечуючи розвиток нормальної ринкової економіки. Від розвитку міжнародного ринку транспортних послуг залежить розвиток світової економіки.

Аналіз останніх досліджень. Проблеми та перспективи розвитку міжнародного ринку транспортних послуг не є новою. Економічні проблеми розвитку ринку транспортних послуг були висвітлені в працях багатьох вчених, зокрема Бауерсокс Д.Дж., Бакаєв О.О., Дмитриченко М.Ф., Замлинський В.А., Маловичко А.С, Парубець О. М та ін [1-8]. Проте питання перспективи розвитку міжнародного ринку транспортних послуг потребує уваги та залишається недостатньо вивченим.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження стану основних проблем та перспектив розвитку міжнародного ринку транспортних послуг.

Виклад основного матеріалу. Транспортний ринок перспективний, з точки зору розвитку бізнесу, в останні роки показує зростання на тлі кризових процесів економіки. Але, незважаючи на позитивну динаміку, в галузі існує ряд перешкод, що негативно впливають на її розвиток. До основних проблем слід віднести стан дорожньої інфраструктури, недолік інвестицій в розвиток транспортного ринку, інфляційні процеси на паливно-мастильні матеріали, а також їх якість, зношеність парку транспортних засобів.

У зв'язку з великою протяжністю транспортних артерій в Україні ремонт і підтримання їх вимагає постійного фінансування. Лише третина автомагістралей країни відповідає нормативам. Якість дорожнього полотна викликає безліч нарікань з боку перевізників. Як наслідок швидка зношуваність транспортного парку, яка на сьогоднішній день складає близько 50 % (за оцінками Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України і Міністерства інфраструктури України). Крім переоснащення автопарку не всі компанії-перевізники використовують в роботі програмні продукти електронної логістики, сучасні digital-пристрої, які дозволяють підвищити якість транспортної послуги та ефективність роботи в цілому. Вихід з ситуації, що склалася для компаній-перевізників – залучення інвестицій в галузь, як приватних, так і державних, створення і запуск фінансових програм на державному рівні, що дозволяють бізнесу зробити технологічну реновацію технологічного парку.

Одна з основних проблем міжнародних транспортних коридорів це тривалий час митного оформлення вантажів і втрата прибутку від перевезення [9].

Вирішити цю проблему можливо шляхом удосконалення міжнародних вантажних перевезень за рахунок прискорення процедури митних операцій в пунктах пропуску через митний кордон.

Попереднє інформування – це процедура надання відомостей про товари та транспортні засоби до їх фактичного прибуття на митну територію. Даний захід призначений для проведення попередньої перевірки певних відомостей, а також скорочення часу оформлення вантажу на кордоні.

Ще не менш важлива проблема полягає в тому що, в даний час попередня інформація не аналізується в автоматичному режимі з використанням системи управління ризиками державного рівня, її результати не доводяться до митного органу на пункті пропуску.

На думку представників перевізників, за останні роки посилюється тиск з боку держави, а саме зросло податкове навантаження, а також були впроваджені обов'язкові збори. Очікування фінансової підтримки від держави обертається додатковими фінансовими зобов'язаннями, які за планом повинні бути реінвестовані в дорожню інфраструктуру.

У ситуації, що склалася більш «малі» перевізники бачать для себе вихід в об'єднанні в більш великі компанії, що дасть можливість розширення автопарку, зниження витрат на ведення бізнесу.

Крім цього, не можна не згадати обов'язок перевізника на всіх видах транспорту нести відповідальність за страхування транспортного засобу, забезпечувати його безпеку і збереження, низька якість техобслуговування в дорозі, брак кваліфікованих кадрів, отримання та продовження ліцензій (для компаній, що займаються особливо небезпечними вантажами) – все це вимагає серйозних фінансових витрат.

Що робити українським транспортним компаніям в рамках існуючих умов ринку, коли внаслідок економічної кризи, накладених санкцій постраждало більшість секторів економіки країни? Готових рішень немає, але є ринкові тенденції, досвід українських та зарубіжних компаній-перевізників. Незважаючи на кризовий стан економіки, галузь і попит на транспортно-логістичні послуги зростають і мають позитивні перспективи розвитку. Головне завдання учасників ринку – швидка адаптація до мінливих умов в галузі, чутливість до нових тенденцій і дотримання ним, а також рішення спільними зусиллями існуючих проблем на транспорті (зміна законодавчої бази).

На нашу думку, незалежним транспортним компаніям необхідно:

- розвивати комплексну логістику, залучення різних видів транспорту, навіть в категорії одного виду;
- ставити на озброєння інформаційно-цифрові технології, використовувати програми електронної логістики, що сприяють зниженню витрат;
- покращувати якість і розширювати кількість послуг, що надаються на всіх видах транспорту (наприклад, надавати експедирування вантажів, надавати персонал для завантаження / розвантаження);
- інвестувати в навчання своїх фахівців (в залежності від стилю водіння водія економія палива за рейс може скласти до 10 %);
- вводити програми лояльності серед клієнтів бізнесу;
- створювати партнерство з конкурентами.

Це не повний перелік кроків, які може зробити компанія-перевізнак для того, щоб зберегти і, більш того, поліпшити власне становище на ринку.

Перспективи розвитку транспорту в світі характеризуються, зокрема, інтенсивним вдосконаленням управлінських функцій [10].

Створення та впровадження автоматизованих і автоматичних систем управління дозволять на більш високому рівні вирішувати завдання керування транспортними засобами та їх потоками, а також завдань забезпечення безпеки та екологічної чистоти. При цьому функцією планування будуть розробка інформаційних технологій на принципах логістики, їх забезпечення засобами збору, обробки, передачі та відображення інформації, її аналізу та обґрунтування рішень.

Відзначається в міжнародній світовій практиці прагнення не до будівництва додаткових транспортних комунікацій (наприклад, багаторівневих розв'язок, що викликають інформаційне та психологічне навантаження на учасників руху і обслуговуючих структур), а до найбільш ефективного використання наявної інфраструктури шляхом грамотного управління транспортними потоками.

Для цього в Україні активно створюються інтелектуальні транспортні системи, що використовують інноваційні розробки в моделюванні транспортних систем і автоматизованому регулюванні транспортних потоків, що надає кінцевим споживачам більшу інформативність і безпеку, а також якісно підвищує рівень взаємодії учасників руху в порівнянні зі звичайними транспортними системами. В інтелектуальних транспортних системах можуть застосовуватися технології передбачення на основі моделювання і накопиченої раніше інформації.

Масштаби світової торгівлі, які ми спостерігаємо сьогодні, а також повсюдне створення транснаціональних компаній припускають швидке переміщення товарів і ресурсів між різними країнами. Світовий транспортний комплекс, пов'язуючи виробників із споживачами товарів і сировини, забезпечує ефективне функціонування ринкової економіки. Наприклад, за статистичними даними Світового Банку, ємність світового ринку транспортних послуг оцінюється більш ніж в 2 200 млрд доларів США.

Ринок транспортних послуг вважається самостійною сферою світової економіки. Відповідно до прийнятої класифікації, до основних сегментів даного ринку відносяться: вантажоперевезення, управлінські, логістичні та експедиційні послуги. В якості основних факторів, що сприяють подальшому розвитку ринку транспортних послуг, виступає зростання обсягу товарообігу і конкуренція між виробниками товарів.

В даний час світовий ринок транспортних послуг включає в себе наступних учасників, тісно взаємодіючих між собою (рис.1):

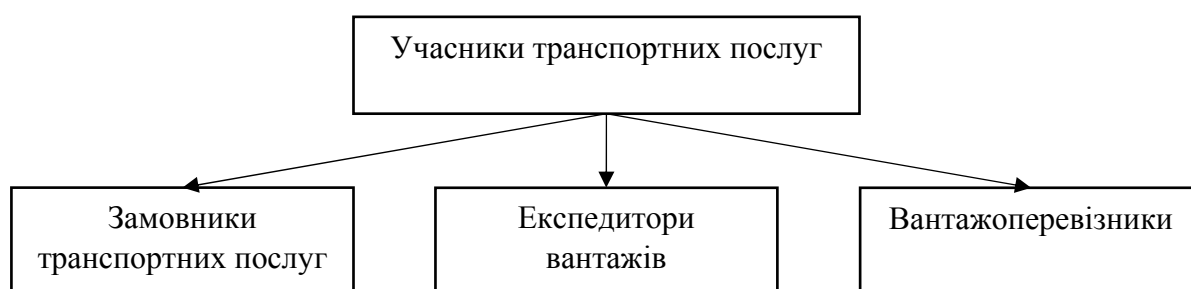


Рисунок 1 – Учасники транспортних послуг

Джерело: розроблено авторами

- замовників транспортних послуг – це власники, відправники та одержувачі вантажів;

- експедиторів вантажів, які беруть безпосередню участь у створенні логістичного ланцюжка по доставці вантажів;

- вантажоперевізників – вони є головними учасниками ринку транспортних послуг. До них відносяться залізні дороги, морські та річкові пароплавства, авіакомпанії, автотранспортні фірми і компанії.

Відмінна особливість світового ринку транспортних послуг – висока конкуренція між вантажними, логістичними та експедиторськими компаніями. Завдяки конкуренції якість транспортних послуг тримається на високому рівні. Кожна фірма або компанія, залучена в сферу міжнародних вантажоперевезень, дорожить своїми постійними клієнтами і намагається залучити додаткових.

Важливою складовою для цього є бездоганне надання транспортних послуг:

- професійне обслуговування, привабливі умови для клієнтів;

- система знижок і дисконтів, гарантії і страховки – все це разом узятє сприяє створенню довірчих відносин і направлено на довгострокову співпрацю.

Ефективно функціонуючий світовий ринок транспортних послуг є основою сучасного бізнесу. Хоча багато компаній і володіють власним парком транспортних засобів, без послуг спеціалізованих вантажоперевізників обійтися практично неможливо. Транспортні послуги полягають не тільки власне в перевезенні вантажів. Величезне значення має професійно складена документація, оптимально спланований маршрут доставки вантажів, правильно вибраний транспортний засіб і досвідчений експедитор. Всі ці фактори у своїй сукупності сприяють тому, що більшість

підприємств звертаються до послуг транспортних і логістичних компаній. Велика кількість інформації по світовому ринку вантажоперевезень ускладнює правильний вибір.

Основні завдання в галузі розвитку міжнародних перевезень подані на рис. 2.

Важливим напрямком інноваційного розвитку та застосування сучасних технологій в сфері транспорту є інформаційне забезпечення транспортних процесів, включаючи:

- стимулювання створення та розвитку асоціацій експедиторів і перевізників, баз даних по операторам і надаються ними послуг;
- створення єдиної інформаційної бази даних про напрямки та стан автодоріг, маршрутах проїзду та об'їзду міст;
- впровадження системи супутникової навігації міжнародних автомобільних перевезень вантажів.

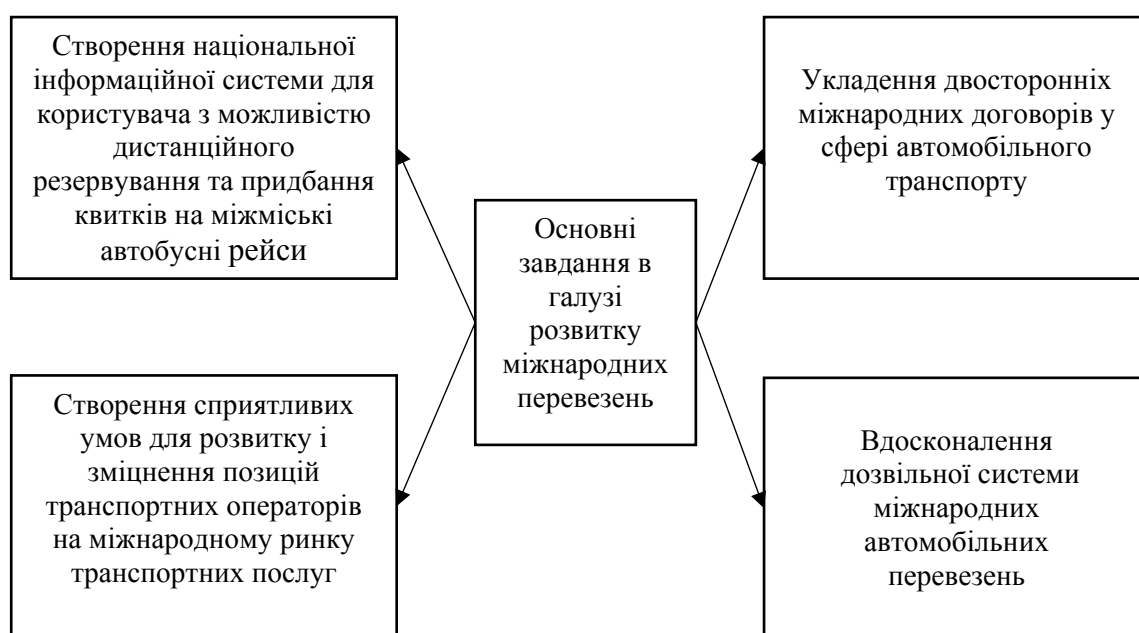


Рисунок 2 – Основні завдання в галузі розвитку міжнародних перевезень

Джерело: розроблено авторами

Ринок транспортно-логістичних послуг сьогодні переживає непрості часи, як і інші галузі економіки України. Зниження вантажопотоків стало наслідком падіння виробництва в більшості секторів економіки, таким чином, конкуренція між різними видами транспорту стала зростати значними темпами. У нових економічних умовах клієнти-вантажовідправники стають все більш вимогливими до рівня своїх транспортно-логістичних витрат і до якості сервісу, що надається логістичним оператором.

Можна припускати, що кризові явища в українській економіці будуть помітні ще кілька років. І якщо ринок і буде рости, то не в сегменті перевезень і експедирування, а в сегменті управлінської логістики.

Незважаючи на загальне скорочення ринку транспортно-логістичних послуг, в сегменті доставки поштових відправлень зниження обсягів не спостерігається. Навпаки, спостерігається невелике зростання в розмірі 20-25 % в порівнянні з аналогічним періодом минулого року. Через загальне зниження товарообігу і

зменшення товарних партій вантажу відправники воліють доставляти вантажі невеликими партіями.

Багато фахівців дають прогнози, згідно з якими в 2021 році економіка України повернеться на докризовий рівень, зросте купівельна спроможність населення, а бізнес, в тому числі в сфері логістики, буде приносити великий прибуток. Але більшість фінансових експертів вважають такий прогноз занадто оптимістичним. На їхню думку, країну в цілому і ринок перевезень зокрема чекає ще один важкий рік.

Однак слід розглянути детальніше основні перспективи ринку вантажоперевезень.

На жаль, при зниженні купівельної спроможності населення попит на логістичні послуги знизився. Багато хто використовує в якості вантажників знайомих і друзів за певну винагороду, а також користуються послугами компаній, де можна дешевше взяти в оренду вантажний автомобіль на кілька годин.

У 2021 році економічна ситуація почне налагоджуватися, але ще не настільки, щоб вивести ринок логістичних послуг на колишній рівень.

Одні компанії будуть підтримувати оптимальні для бізнесу ціни навіть з ризиком втрати клієнтів, інші віддадуть перевагу демпінгувати собі в збиток і, швидше за все, швидко зникнуть з ринку.

Однак найбільш розумним вибором в ситуації, що склалася буде зниження цін за рахунок скорочення витрат.

Багато компаній, що надають своїм клієнтам вигідну вартість послуги, що надається, а також зберегли високий прибуток, в 2021 році зможуть зміцнити позиції і стати великими гравцями ринку логістичних послуг в майбутньому.

Відповідно до думки експертів, вже в 2022 році економічна ситуація покращиться досить, щоб такі компанії зуміли вивести бізнес на новий рівень і значно збільшити свій прибуток.

По-друге, основною перспективою виступає витіснення неефективних гравців.

Безліч «малих» компаній пропонували мінімальний набір послуг, в сприятливі для логістики часи, і не надто турбувалися про якість, встановлюючи дуже низькі ціни.

Поки тримався порівняно високий попит на логістичні послуги, у таких фірм були клієнти. Але в останні роки обсяг вантажоперевезень знизився, а прибуток компаній зменшилася, таким чином, багато неефективних гравців не втрималися на своєму сприятливому рівні.

У 2020 році дана тенденція зберігається. Більш того, експерти очікують масового відходу з ринку малих і середніх фірм і консолідації великих. В результаті конкуренція знизиться, і компанії, які втримаються на плаву, отримають можливість збільшити прибуток і зміцнити бізнес.

Далі автоматизація процесів. Прагнення максимально скоротити витрати підштовхнуло деякі компанії, особливо новачків ринку, до відмови від використання супутникових систем стеження.

Також це підвищення якості послуг, адже клієнти налаштовані, отримати максимум за свої гроші. Щоб виділитися серед конкурентів, слід підвищити якість послуг, що надаються і це не так вже й легко, так як, наприклад такі послуги, як страхування, упаковка, погрузка є частиною стандартного набору, пропонованого компаніями.

Найлегше буде фірмам з хорошою репутацією і багаторічним присутністю на ринку. Що стосується молодих компаній, то за прогнозами експертів в 2021 році новачків на ринку майже не буде, і більшість з них швидко відмовляться від бізнесу.

Підвищення якості послуг – одна з основних тенденцій 2021 року. Багато людей, навчених гирким досвідом роботи з фірмами-одноденками, бояться непрофесіоналізму вантажників і водіїв, тривожаться за збереження свого майна під час перевезення. Довіра клієнта і право співпрацювати з ним доведеться заслужити.

На сьогоднішній день створюються і розвиваються мережі міжрегіональних транспортних коридорів і поєднувати цю роботу з їх облаштуванням сучасними і безпечними об'єктами дорожнього сервісу.

Висновки. Отже, ринок транспортних послуг активно розвивається і став невід'ємною частиною державної інфраструктури, безсумнівно, він буде розвиватися і далі, не дивлячись на всілякі перешкоди, адже, на сьогоднішній день, жодна торгова угода, як на мікрорівні, так і на макрорівні, вже не представляється без участі в ній транспорту.

Список літератури

1. Бауерсокс Дональд Дж., Клосс Дейвид Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок: пер. с англ. М.: ЗАО «Олимп-бизнес», 2001. 639с.
2. Бакаев О.О., Кутах О.П., Понамаренко Л.А. Теоретичні засади логістики : підр. для студ. екон. і транспорт. спец. Київ.:Фенікс, 2003. Т.1. 429с.
3. Транспортні технології в системах логістики: підручник / Дмитриченко М.Ф. та ін. Київ: ІНФОРМАВТОДОР, 2007. 676 с.
4. Замлинський В. А., Коваль В. В., Котлубай В. О. Стан та перспективи розвитку експортного потенціалу ринку послуг автомобільного транспорту. *Економіка та суспільство*. 2017. № 9. С. 210–214.
5. Маловичко А. Експорт транспортних послуг у міжнародній і зовнішній торгівлі. *Економічний аналіз*. 2011. Вип. 8. Ч. 1. С. 125-128.
6. Парубець О. М. Дослідження проблем та перспектив розвитку експорту транспортних послуг України. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Економіка» : науковий журнал*. Червень 2018. № 9(37). С. 21–24.
7. Транспортно-експедиторська діяльність : підручник / Нагорний Є.В., Ломотько Д.В., Шраменко Н.Ю та ін. Харків: ХНАДУ, 2012. 352 с.
8. Транспортно-експедиторська діяльність: навч. посіб. / Запара В.М, Продашук С.М., Кравець А.Л. та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2017. 214 с.
9. Щербанин Ю.А. Мировая экономика : учебник. М. : ЮНИТИ, 2016. 519 с.
10. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80> (дата звернення: 15.05.2020).

References

1. Bauersoks Donald Dzh. & Kloss Deivyd Dzh. (2001). *Lohystyka: yntehryrovannaia tsep postavok [Logistics: integrated supply chain]*. Moscow: Olymp-byznes [in Russian].
2. Bakaiev, O.O., Kutakh, O.P. & Ponamarenko, L.A. (2003). *Teoretychni zasady lohistyky [Theoretical principles of logistics]*. Kyiv: Feniks [in Ukraine].
3. Dmytrychenko, M.F., Levkovets, P.R., Tkachenko, A.M., Ihnatenko, O.S., Zaionchuk, L.H. & Statnyk, I.M. (2007). *Transportni tekhnolohii v systemakh lohistyky [Transport technologies in logistics systems]*. Kyiv: INFORMAVTODOR [in Ukraine].
4. Zamlinskyi, V.A., Koval, V.V. & Kotlubai, V.O. (2017). Stan ta perspektyvy rozvytku eksportnoho potencialu rynku posluh avtomobilnoho transportu [Status and prospects of development of export potential of the market of road transport services.]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and society, Vol. 2*, 210-214 [in Ukraine].
5. Malovyehko, A. (2011). Eksport transportnykh posluh u mizhnarodnii i zovnishnii torhivli [Export of transport services in international and foreign trade]. *Ekonomichnyi analiz – Economic analysis, Vol. 8*, 125-128 [in Ukraine].
6. Parubets, O.M. (2018). Doslidzhennia problem ta perspektyv rozvytku eksportu transportnykh posluh Ukrainy [Research of problems and prospects of development of export of transport services of Ukraine].

- Naukovi zapysky Natsionalnoho universytetu Ostrozka akademiia – Scientific notes of the National University Ostroh Academy, Vol. 9, 21-24 [in Ukraine].*
7. Nahorny, Ye.V., Lomotko, D.V. & Shramenko, N.Iu. (2012). *Transportno-ekspedytorska diialnist [Freight forwarding activities]*. Kharkiv: KhNADU [in Ukraine].
 8. Zapara, V.M., Prodashchuk, S.M. & Kravets, A.L. (2017) *Transportno-ekspedytorska diialnist [Freight forwarding activities]*. Kharkiv: UkrDUZT [in Ukraine].
 9. Shcherbanyn, Yu.A. (2016). *Myrovaia ekonomika [The world economy]*. Moscow: YuNYTY [in Russian]
 10. Pro skhvalennia Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku [On approval of the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030] (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80/> [in Ukraine].

Oleksandr Dubytskyi, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vladimir Bodak**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Nadiya Kuts**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Yuri Bulik**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

Problems and Prospects of Development of the International Market of Transport Services

The current situation in the world economy is characterized by varying degrees of development of national economies and their openness to participate in international economic relations, the saturation of trade flows at different stages of cooperation between countries, increasing passenger flows, on the one hand, and insufficient economic development. base, a small number of modern studies of the methodological basis for the functioning of the transport and logistics complex in modern science, on the other hand, cause an objective need for mentioned places, the role and importance of transport services as an important economic category.

The structural shifts that determine the movement of world production and international trade are largely determined by the transformations taking place in the world transport complex.

No foreign trade operation can be imagined without the participation of transport, in any case, the goods must be delivered from seller to buyer. Transport service - a service for the performance of the contract of carriage of people and goods. In the implementation of foreign trade, road transport has certain advantages over other modes of transport: maneuverability, delivery of goods "door to door"; urgency and regularity of delivery; delivery can be organized according to the system "just in time" (exactly on time); packaging (required in smaller quantities or not required at all).

This article examines the trends and prospects for the development of the international market of transport services. The question of the current state of the freight market is stated. The main problems of the international market of transport services are clarified. The factors influencing the further development of the market of transport services are determined. Substantiated tasks in the field of international agreements in the field of road transport. The study allows us to consider and analyze important areas of innovative development and application of modern technologies in the field of transport. Prospects for further development of freight transportation are considered and generalized.

transportation, the market of transport services, the international market of transport services

Одержано (Received) 20.05.2020

Прорецензовано (Reviewed) 19.06.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 621.9.048.4

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).313-324](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).313-324)

В. М. Боков, проф., канд. техн. наук, **О. Ф. Сіса**, доц., канд. техн. наук,
В. В. Юр'єв, аспі.

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,
Україна*

e-mail: Viktor.alia.kntu@gmail.com

Удосконалення процесу обробки тіл обертання електричною дугою

Запропоновано та досліджено високопродуктивний спосіб розмірної обробки тіл обертання електричною дугою в гідродинамічному потоці робочої рідини та пристрій для його реалізації, що покращують умови праці оператора за рахунок усунення ефекту розбризкування робочої рідини та усунення світлового ефекту від горіння дуги в зоні обробки, а також підвищують довговічність роботи електродотримача.

електрична дуга, гідродинамічний режим, дротовий електрод-інструмент, схема формоутворення, ванна

В. М. Боков, проф., канд. техн. наук, **О. Ф. Сіса**, доц., канд. техн. наук, **В. В. Юр'єв**, асп.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Усовершенствование процесса обработки тел вращения электрической дугой

Предложен и исследован высокопроизводительный способ размерной обработки тел вращения электрической дугой в гидродинамическом потоке рабочей жидкости и устройство для его реализации, которые улучшают условия работы оператора за счёт устранения эффекта разбрызгивания рабочей жидкости и устранения светового эффекта от горения дуги в зоне обработки, а также повышают долговечность работы электрододержателя.

электрическая дуга, гидродинамический режим, проволочный электрод-инструмент, схема формообразования, ванна

Постановка проблеми. Для обробки тіл обертання із важкооброблюваних матеріалів [1, 2] широко застосовуються електроерозійні методи, які забезпечують несилоне різання і дозволять обробляти будь-який електропровідний матеріал поза залежністю від його фізико-хімічних властивостей, зокрема твердості. Вибір методу обробки визначається не тільки продуктивністю та точністю обробки, але й умовами праці оператора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [3] запропоновано спосіб розмірної обробки дугою (РОД) тіл обертання, в основу якого покладено ідею «токарної» обробки малогабаритним електродом-інструментом (переважно графітовим), що не обертається. Даний спосіб забезпечує високу продуктивність обробки. Однак, в процесі обробки даним способом графітовий електрод-інструмент може торкатися шорсткої поверхні електрода-заготовки, що обертається, внаслідок чого його лінійний абразивний знос може складати 10 – 20 %. Завдяки наявності інтенсивного зносу електрода-інструмента, цей недолік не дозволяє реалізувати точну обробку.

В роботі [4] запропоновано спосіб РОД тіл обертання з використанням дротового електрода-інструмента, який протягується в зоні обробки і таким чином «компенсує» його електроерозійний знос [5]. Тому точність обробки значно

підвищується. Однак, при реалізації даного способу спостерігається ефект розбризкування робочої рідини за межі робочої зони верстата та підвищений світловий ефект від горіння електричної дуги в зоні обробки. Це погіршує умови праці. Крім того, при протягуванні дротового електрода-інструмента по опуклій поверхні електродотримача виникає тертя ковзання, що приводить з часом до механічного руйнування місця контакту. В наслідок цього на електродотримачі утворюється глибока колія. Коли глибина колії досягає діаметра дротового електрода-інструмента (його діаметр звичайно дорівнює 0,8 мм), починається руйнування електродотримача електричною дугою. Процес обробки зупиняють, а електродотримач виготовляють новий та замінюють. Таким чином, довговічність роботи електродотримача у відомому способі не задовільна.

Із викладеного вище, в роботі пропонується:

- розробити та дослідити спосіб обробки тіл обертання з занурення зони обробки в робочу рідину, який забезпечує покращання умов праці оператора за рахунок усунення ефекту розбризкування робочої рідини та усунення світлового ефекту від горіння дуги в зоні обробки [5];

- розробити та дослідити новий пристрій для реалізації способу обробки тіл обертання з занурення зони обробки в робочу рідину, в якому підвищення довговічність роботи електродотримача забезпечується за рахунок виконання його у вигляді ролика [6]. При цьому тертя ковзання дротового електрода-інструмента об електродотримач замінюється на тертя кочення.

Даний спосіб та пристрій для його реалізації не були об'єктом дослідження.

Постановка задачі. Метою дослідження є покращання умов праці при реалізації процесу РОД тіл обертання з використання дротового електрода-інструмента за рахунок усунення ефекту розбризкування робочої рідини та скасування світлового ефекту від горіння дуги в зоні обробки, і підвищення довговічності роботи електродотримача.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: запропонувати та обґрунтувати нову технологічну схему формоутворення поверхні тіла обертання електричною дугою з використанням дротового електрода-інструмента, при якій обробку здійснюють з зануренням зони обробки в ванну з робочою рідиною; розробити методику експериментального дослідження технологічних характеристик; виконати експериментальні дослідження продуктивності, точності та якості процесу РОД тіл обертання з використанням дротового електрода-інструмента з зануренням зони обробки в ванну з робочою рідиною.

Методика дослідження включає в себе аналіз та порівняння елементів відомої технологічної схеми формоутворення поверхні тіла обертанням зі схемою, що пропонується. Крім того, методика передбачає побудову математичних моделей технологічних характеристик процесу РОД тіл обертання з використанням дротового електрода-інструмента (табл. 1).

На підставі апріорної інформації були одібрані два фактори, які можуть впливати на процес РОД тіл обертання з використанням дротового електрода-інструмента: сила струму I (X_1), А; статичний тиск робочої рідини в форсунці перед виходом із неї $P_{ст}$ (X_2), МПа.

Таблиця 1 – Матриця планування експерименту (план 2^2)

Фактори			I, A	$P_{ср}, MPa$	$M, mm^3/xv$	$M_a, mm^3/A \cdot xv$	$a, \frac{kVt \cdot год}{кг}$	$Ra, мкм$	
Основний рівень			100	0,3					
Інтервал варіювання			50	0,1					
Верхній рівень			150	0,4					
Нижній рівень			50	0,2					
Код			x_1	x_2	y_1	y_3	y_4	y_6	
Номер дослідів	1	Порядок реалізації	3	+	+	300	2,00	31,85	25
	2		2	-	+	204	4,08	15,61	13
	3		4	+	-	347	2,31	27,53	35
	4		1	-	-	142	2,84	22,43	15
Досліди в центрі плану		1	0	0	280	2,80	22,74	22	
		2	0	0	280	2,80	22,74	21	
		3	0	0	240	2,40	26,54	23	
		4	0	0	240	2,40	26,54	23	

Джерело: розроблено автором

Для дослідження технологічних характеристик процесу РОД тіл обертання з використанням дротового ЕІ з зануренням зони обробки в робочу рідину використовувався модернізований універсальний токарний верстат моделі 16К20. Різцетримач з цього верстату демонтований, а на його місце встановлений розроблений та виготовлений експериментальний пристрій (рис. 1).

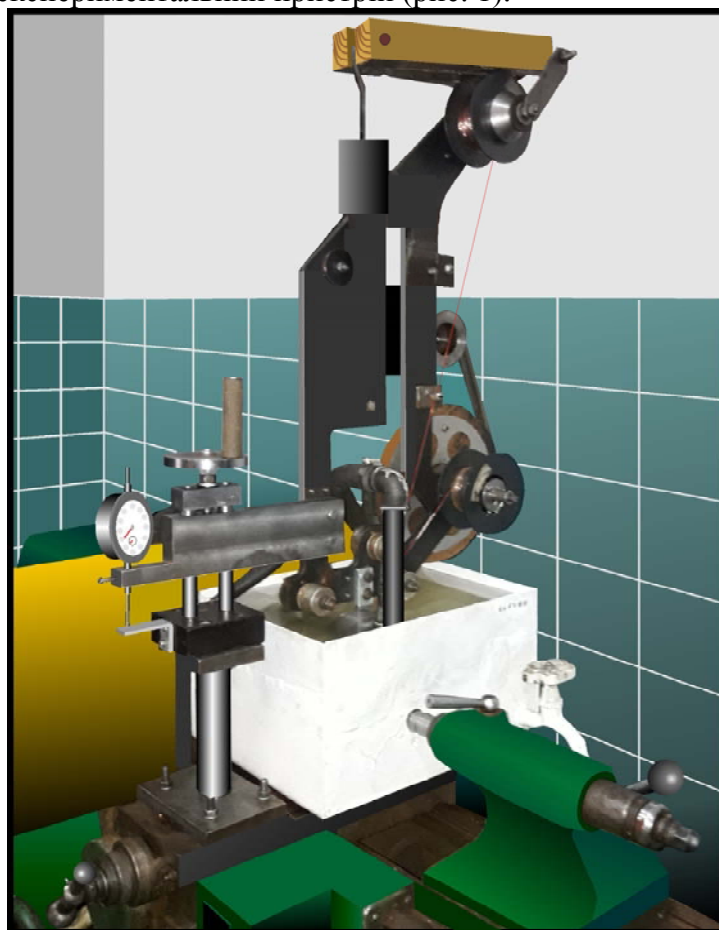
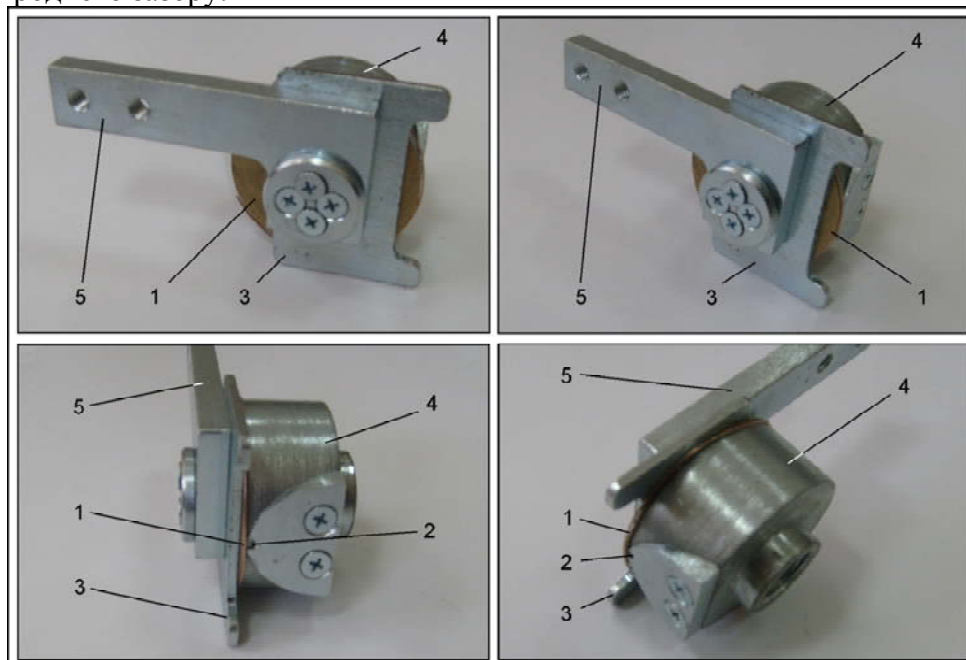


Рисунок 1 – Експериментальний пристрій для РОД тіл обертання з використанням дротового електрода-інструмента з зануренням зони обробки у ванну з робочою рідиною

Джерело: розроблено автором

Пристрій для точіння дугою включає в себе: інструментальну головку (рис. 2), в якій електродотримач виконано у вигляді ролика; механізм перемотування дроту; ванну з технічною водою; стійку, на якій монтується механізм регулювання торцевого міжелектродного зазору.

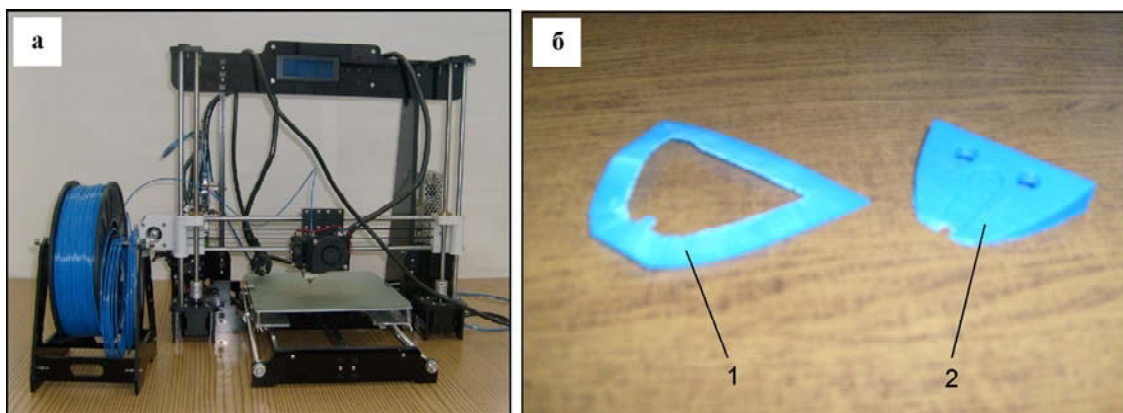


1 – електродотримач (ролик); 2 – форсунка для створення кумулятивного потоку; 3 – напрямляч дроту;
4 – корпус; 5 – планка для кріплення головки до механізму перемотування дроту

Рисунок 2 – Інструментальна головка пристрою для РОД тіл обертання з використанням дротового ЕІ

Джерело: розроблено автором

Пристрій працює таким чином. Електрод-заготовка встановлюється в центрах та обертається від повідцю. Робоча зона ущільнюється манжетами, які встановлені в протилежних стінках ванни. В інструментальну головку подають технічну воду під регульованим тиском, а витікає рідина крізь форсунку б, яка формує кумулятивний (що звужується) струмінь та спрямовує його поперечно стовпу електричної дуги. Складна форма пластмасової форсунки обумовила доцільність її виготовлення на 3D принтері (рис. 3).



1 – основа, що передує друку деталі; 2 – деталь «форсунка»
Рисунок 3 – 3D-принтер моделі A8 3D Printer (а) та деталь «форсунка», яка отримана на ньому (б)

Джерело: розроблено автором

Виклад основного матеріалу. В способі РОД тіл обертання з використанням дротового електрода-інструмента з зануренням зони обробки в робочу рідину, що пропонується, використовується нова технологічна схема формоутворення. Електричну дугу збуджують в гідродинамічному потоці робочої рідини між електродом-заготовкою, що обертається, та дротовим електродом-інструментом, який протягують в зоні обробки по опуклій поверхні електродотримача в площині, що перпендикулярна осі обертання електрода-заготовки, а процес здійснюють при гарантованому зазорі між не обробленою поверхнею електрода-заготовки та електродом-інструментом, тобто без можливого контакту електрода-інструмента з електродом заготовкою та без застосування слідкуючої подачі електрода-інструмента. Процес здійснюють з зануренням зони обробки в робочу рідину. Електродотримач виконано у вигляді ролика, який обертається, з напрямною канавкою для дротового електрода-інструмента, а форсунка змонтована окремо, але в суміжному з електродотримачем, нерухомому корпусі.

Реалізацію даного способу здійснюють з використанням пристрою (рис. 4), що монтується на модернізованому токарному верстаті. Електрод-заготовку 1 закріплюють в трьохкулачковому патроні та обертають. Від джерела живлення 2 постійного електричного струму електричну дугу 3 збуджують в гідродинамічному поперечному потоці робочої рідини 4 між електродом-заготовкою 1 та дротовим електродом-інструментом 5 діаметром d , який протягують в зоні обробки по опуклій поверхні 6 електродотримача 7 в площині, що перпендикулярна осі обертання 8 електрода-заготовки 1. Процес здійснюють при гарантованому зазорі Z між не обробленою поверхнею 9 електрода-заготовки 1 та дротовим електродом-інструментом 5, тобто без можливого контакту електрода-інструмента 5 з електродом-заготовкою 1.

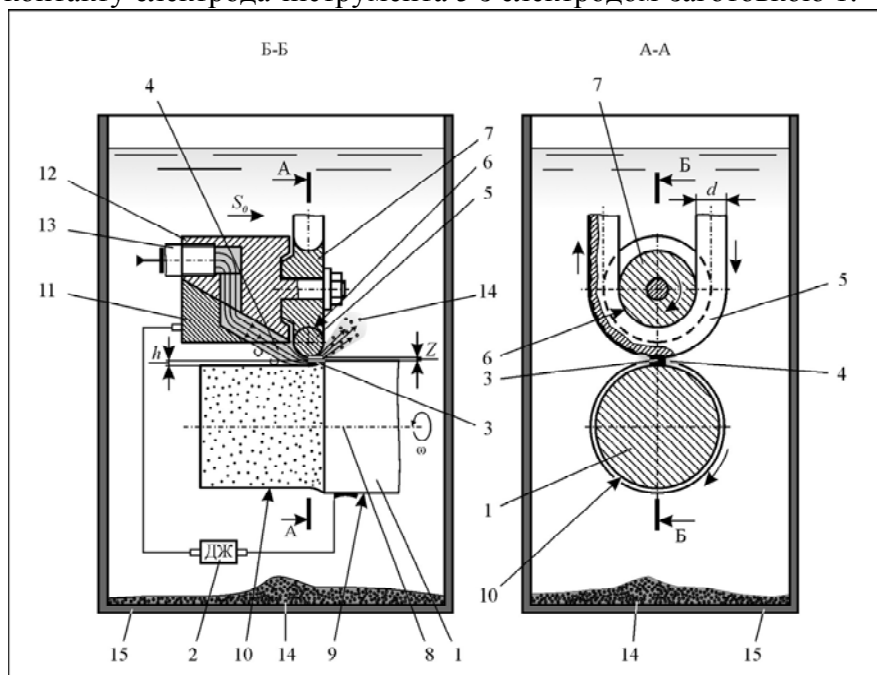


Рисунок 4 – Принципова схема пристрою для реалізації технологічної схеми формоутворення поверхні тіла обертання електричною дугою з використанням дротового електрода-інструмента та зануренням зони обробки в робочу рідину

Джерело: розроблено автором

Оскільки електродотримач 7 виконано у вигляді ролика, який обертається, з напрямною канавкою для дротового електрода-інструмента 5, останній протягується по

опуклій поверхні 6 електродотримача 7 без проковзування, а тертя ковзання не виникає. Саме тому, місце контакту дротового електрода-інструмента 5 з електродотримачем 7 (роликом) не руйнується, а термін роботи електродотримача 7 значно підвищується.

Така технологічна схема формоутворення циліндричної поверхні 10 компенсує знос дротового електрода-інструмента 5 (кожна нова дуга горить на новому місці) та дозволяє здійснювати процес обробки без застосування слідкуючої подачі електрода-інструмента 5, тобто при постійній осьовій подачі S_o . Останнє, в свою чергу, забезпечує підвищення точності формоутворення циліндричної поверхні 10 та її рівномірну шорсткість, зокрема деталей великого діаметра, що виготовляються із важко-оброблюваних матеріалів.

Пристрій постачається форсункою 11, яка змонтована в окремому, але суміжному з електродотримачем 7, нерухомому корпусі 12. Форсунка 11 живиться від насоса через патрубок 13.

З метою усунення можливості розбризкування робочої рідини на виході із міжелектродного зазору, організації збирання продуктів ерозії 14 та покращення умов роботи оператора, обробку здійснюють із зануренням робочої зони в ванну 15 з робочою рідиною.

Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, дозволяє покращати умови праці оператора при реалізації процесу РОД тіл обертання з використання дротового електрода-інструмента за рахунок усунення ефекту розбризкування робочої рідини та скасування світлового ефекту від горіння дуги з зони обробки, і підвищити довговічність роботи електродотримача в 80 – 100 разів.

Отримано рівняння регресії та математичні моделі технологічних характеристик, що визначають продуктивність, точність та якість процесу РОД тіл обертання електричною дугою з використанням дротового електрода-інструмента з зануренням зони обробки в робочу рідину та дозволяють керувати ними і прогнозувати їх :

- продуктивність обробки $M (y_1)$, мм³/хв

$$y_1 = 248 + 75,25x_1,$$

$$M = 97,5 + 1,5 \cdot I ;$$

- питома продуктивність обробки $M_a (y_2)$, мм³/А·хв.

$$y_2 = 2,81 - 0,6525x_1 \cdot y_2,$$

$$M_a = 4,115 - 0,01305 \cdot I ;$$

- питома витрата електроенергії $a (y_3)$, кВт·год/кг

$$y_3 = 24,35 + 5,33x_1,$$

$$a = 13,69 + 0,107 \cdot I ;$$

- шорсткість поверхні після обробки $Ra (y_5)$, мкм

$$y_4 = 22 + 8x_1 - 12x_2 ,$$

$$Ra = 42 + 0,16 \cdot I - 120 \cdot P_{cm}.$$

Показано (рис. 5), що найбільший вплив на продуктивність РОД тіл обертання M виявляє сила технологічного струму I (ступінь впливу 100 %), із підвищенням якої продуктивність обробки збільшується. Останнє підтверджує теплову природу процесу РОД. Таким чином, силу технологічного струму треба розглядати як основний

керуючий фактор. В рамках експерименту продуктивність обробки змінювалася у межах від 142 до 347 $\text{мм}^3/\text{хв}$.

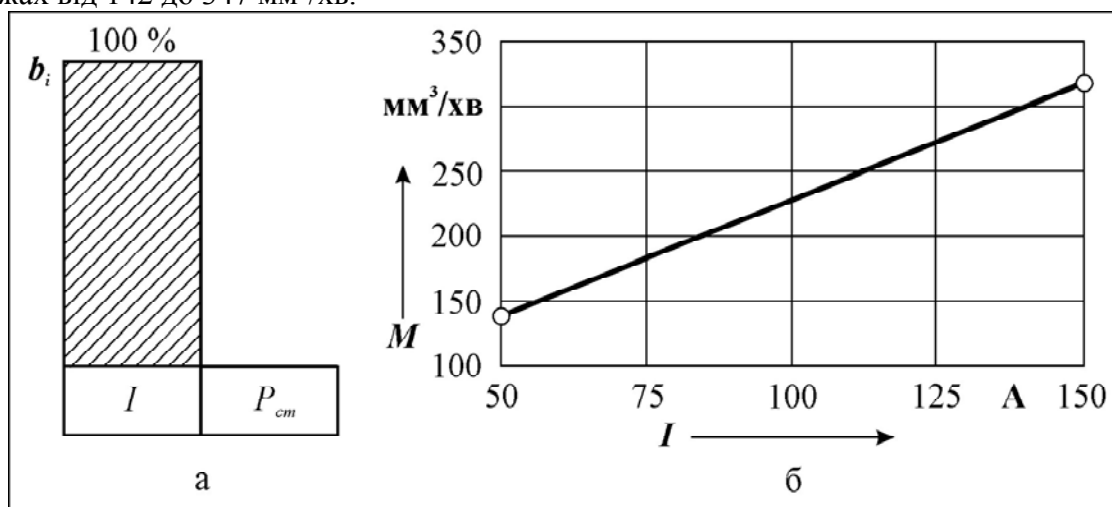


Рисунок 5 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність продуктивності обробки M від I (б)

Джерело: розроблено автором

Із отриманої математичної моделі питомої продуктивності обробки тіл обертання електричною дугою дротовим електродом-інструментом з зануренням зони обробки в робочу рідину M_a витікає (рис. 6), що найбільш впливовим фактором, а отже головним керуючим, є сила технологічного струму (ступінь впливу 100 %). Із зменшенням сили струму M_a збільшується. В умовах експерименту питома продуктивність обробки змінювалася у межах від 2,0 до 4,08 $\text{мм}^3/\text{А}\cdot\text{хв}$.

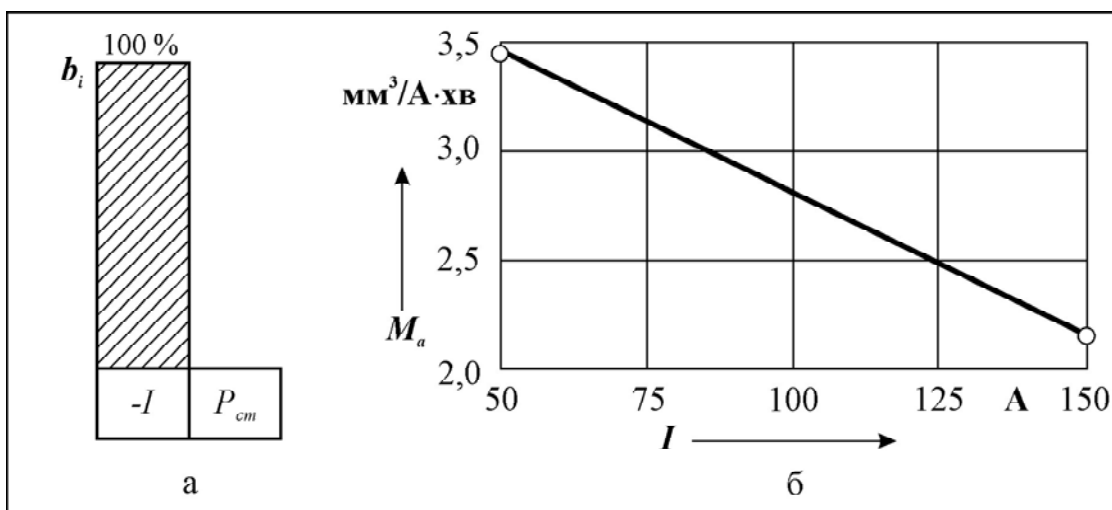


Рисунок 6 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність питомої продуктивності обробки M_a від I

Джерело: розроблено автором

Показано, що найбільший вплив на питому витрату електроенергії процесу обробки тіл обертання електричною дугою дротовим електродом-інструментом з зануренням зони обробки в робочу рідину a (ступінь впливу 100 %) виявляє сила струму I , із підвищенням якої a збільшується (рис. 7). Саме тому I слід розглядати як головний керуючий фактор. В умовах експерименту питома витрата електроенергії змінювалася у межах від 15,61 до 31,85 $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{кг}$.

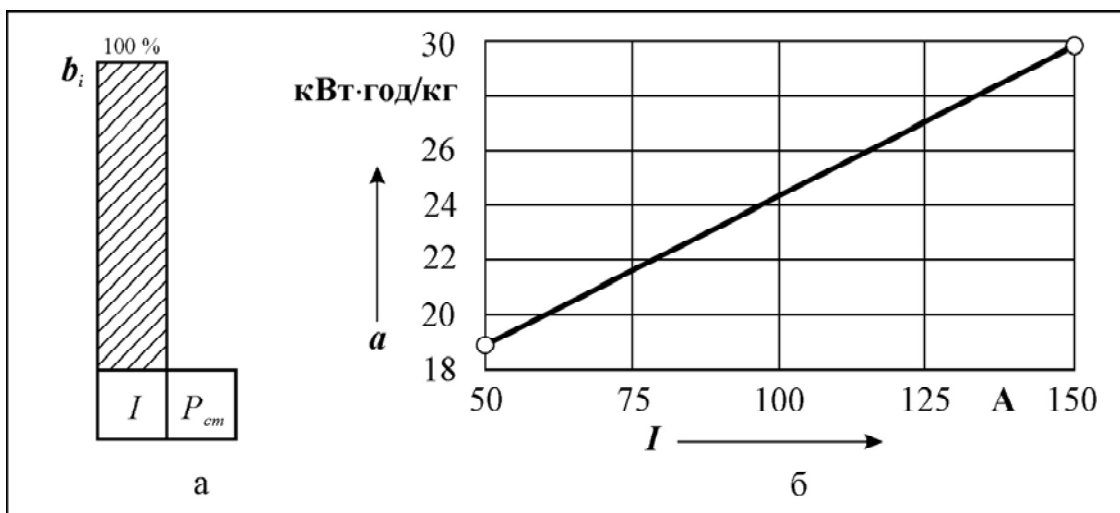
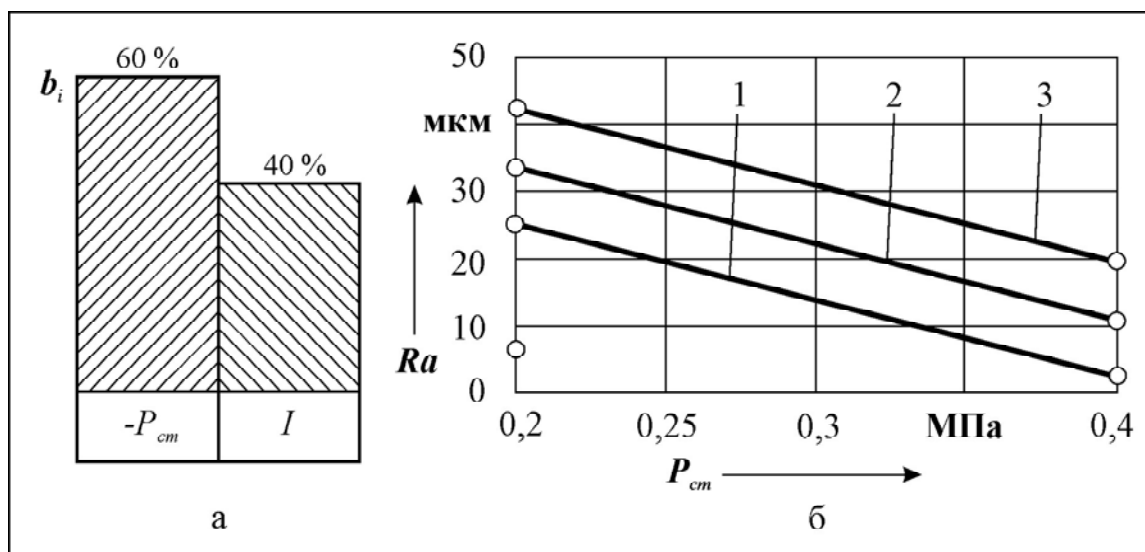


Рисунок 7 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність питомої витрати електроенергії a від I
 Джерело: розроблено автором

Показано, що на шорсткість Ra обробленої поверхні найбільш впливає статичний тиск робочої рідини на вході в форсунку P_{cm} (ступінь впливу 60 %), із підвищенням якого Ra зменшується (рис. 8). Саме тому P_{cm} слід розглядати як головний керуючий фактор. Вплив сили струму I трохи менший, але суттєвий, і складає 40 %. В умовах експерименту шорсткість поверхні Ra обробки тіл обертання електричною дугою дротовим електродом-інструментом з зануренням зони обробки в робочу рідину змінювалася у межах від 13 до 35 мкм (рис. 9).



1 - $I = 50$ А; 2 - $I = 100$ А; 3 - $I = 150$ А

Рисунок 8 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність шорсткості поверхні обробки Ra від P_{cm} та I (б)

Джерело: розроблено автором



Рисунок 9 – Зразок із сталі 45 після РОД циліндричної поверхні з використанням дротового електрода-інструмента з зануренням зони обробки у ванну з робочою рідиною

Джерело: розроблено автором

Сліди від горіння електричної дуги, зануреної в рідину, вивчалися під мікроскопом зі збільшенням зображення у 6 разів (рис. 10). Ексцентрично розташована при обробці циліндрична початкова поверхня зразка дозволила виявити, що поверхня обробки тіла обертання формується елементарною електроерозійною доріжкою.



Рисунок 10 – Сліди від горіння електричної дуги, зануреної в робочу рідину, на шліфованій циліндричній поверхні (Режим обробки: $I = 150$ А; $U = 30$ В; $P_{cm} = 0,4$ МПа; пряма полярність)

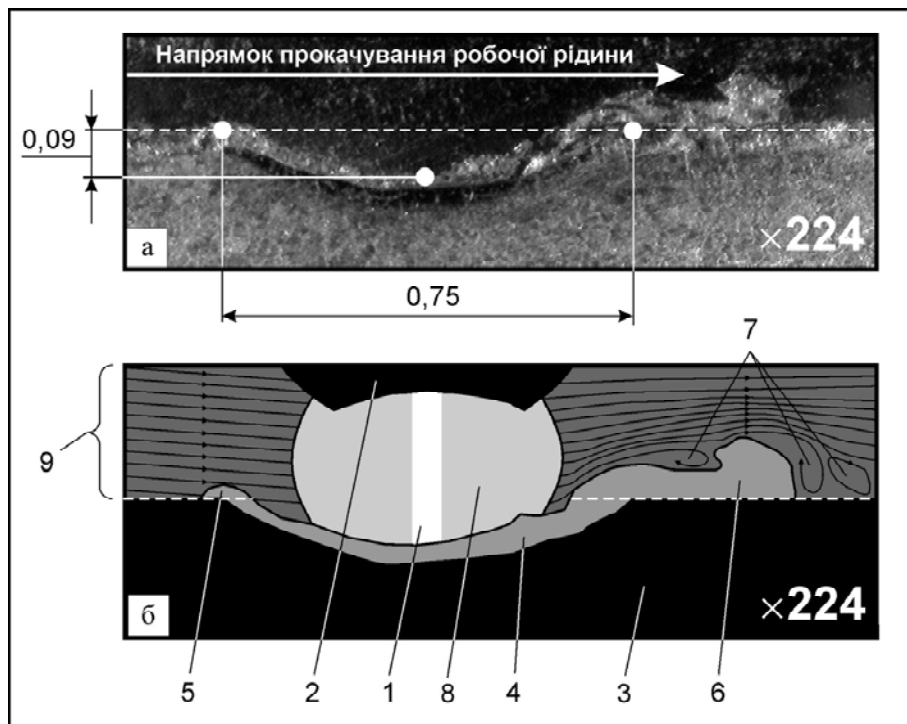
Джерело: розроблено автором

Із аналізу мікрошліфу поперечного перерізу електроерозійної доріжки (рис. 11, а) була отримана наступна інформація (рис. 11, б):

- отримані геометричні параметри доріжки: ширина – 0,75 мм при діаметрі електрода-дроту $d = 0,8$ мм; глибина – 0,09 мм; коефіцієнт глибини електроерозійного сліду $k = 8,3$;

- показано, що форма сліду асиметрична за рахунок збільшення висоти та ширини заднього валика 6, що формується із розплавленого металу доріжки. Останнє пояснюється турбулентністю, що виникає за газовою порожниною, яка утворюється навколо електричної дуги. В області турбулентності утворюються замкнуті вихори, в яких розплав рухається разом з потоком та застигає поблизу доріжки з утворенням валика 6 підвищеного розміру, порівняно з переднім валиком 5;

- із мікроструктури сталі 45 після РОД тіла обертання дровим електродом-інструментом виявлено (рис. 12), що товщина білого шару на вказаному типовому режимі (див. рис. 10) не перевищує 0,03 мм.



1 – електрична дуга; 2 – дровий електрод-інструмент; 3 – електрод-заготовка; 4 – наплавлений шар металу, що не вилучився із доріжки; 5 – передній валик в напрямку потоку; 6 – задній валик в напрямку потоку; 7 – зона турбулентності; 8 – газова порожнина (пузир); 9 – гідродинамічний потік робочої рідини (води) із форсунки

Рисунок 11 – Мікрошліф поперечного перерізу електроерозійної доріжки (а) та модельне уявлення процесу формоутворення електроерозійної доріжки при РОД тіла обертання з зануренням зони обробки в ванну з робочою рідиною (б):

Джерело: розроблено автором

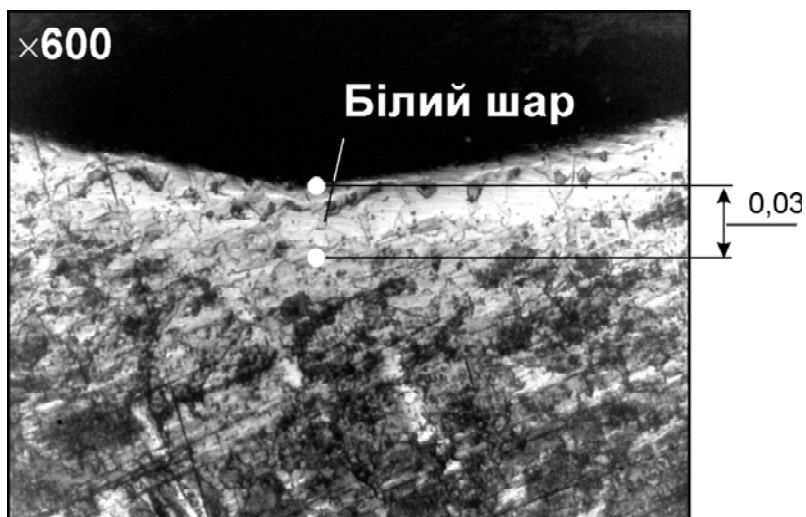


Рисунок 12 – Мікроструктура сталі 45 після РОД тіла обертання дровим електродом-інструментом з зануренням зони обробки в робочу рідину

Джерело: розроблено автором

Висновки. Запропоновано спосіб РОД тіл обертання з використанням дротового електрода-інструмента з зануренням зони обробки в ванну з робочою рідиною, що дозволяє покращати умови праці оператора шляхом усунення ефекту розбризкування рідини та скасування світлового ефекту від горіння дуги з зоні обробки. Крім того, запропоновано електродотримач виконати у вигляді ролика, який обертається з напрямною канавкою для дротового електрода-інструмента, а форсунку для створення поперечного гідродинамічного потоку рідини змонтувати в окремому, але суміжному з електродотримачем, нерухомому корпусі. Дане технічне рішення замінює тертя ковзання на тертя кочення, що підвищує довговічність роботи електродотримача. Отримано математичні моделі технологічних характеристик процесу РОД тіл обертання дротом електродом-інструментом з зануренням зони обробки в робочу рідину, які дозволяють керувати продуктивністю обробки, питомою продуктивністю обробки, питомою витратою електроенергії та шорсткістю обробленої поверхні.

Список літератури

1. Думпе В. Э. Электроэрозионная обработка деталей. К.: Техніка, 1975. 144 с.
2. Размерная электрическая обработка металлов: учебное пособие для вузов / Б. А. Артамонов, А. Л. Винницкий, Ю. С. Волков, А. В. Глазков; под ред. А. В. Глазков. М.: Высш. шк., 1978. 336 с.
3. Спосіб обробки тіл обертання електричною дугою і електрод-інструмент для його реалізації: пат. 24439А Україна: МПК В23Р 17/00. № 97041927; заявл. 22.04.97; опубл. 30.10.98, Бюл. № 5.
4. Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою: монографія. Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс – ЛТД», 2002. 300 с.
5. Спосіб обробки поверхонь тіл обертання електричною дугою в гідродинамічному потоці робочої рідини: пат. 121498 Україна: МПК В23К 9/013, В23К 35/38. № u201705537; заявл. 06.06.2017; опубл. 11.12.2017, Бюл. № 23.
6. Пристрій для обробки поверхонь тіл обертання електричною дугою в гідродинамічному потоці робочої рідини: пат. 130822 Україна: МПК В23К 9/013, В23К 35/38, В23К 103/00. № u2018 06873; заявл. 18.06.2018; опубл. 26.12.2018, Бюл. № 24.

References

1. Dumpe, V. Je. (1975). *Jelektroerozionnaja obrabotka detalej [Electrical discharge machining of parts]*. Kyiv: Tehnika [in Russian].
2. Artamonov, B.A., Vinnickij, A.L., Volkov, Ju.S. & Glazkov, A.V. (1978). *Dimensional electrical processing of metals: a textbook for universities*. A.V. Glazkov (Ed.). Moscow: Vyssh. shk. [in Russian].
3. Pat. 24439A Ukraine, MPK V23R 17/00. Sposib obrobky til obertannia elektrychnoiu duhoiu i elektrod-instrument dlia joho realizatsii [The method of wrapping til wrapping with an electric arc and an electro-tool for yogo implementation]. No. 97041927; stated. April 22, 1997; has been published October 30, 1998, Bul. No. 5. [in Ukrainian].
4. Bokov, V.M. (2002). *Rozmirne formoutvorennia poverkhon' elektrychnoiu duhoiu: monohrafia [The shape-setting of the surface with an electric arc: monograph]*. Kirovohrad: Polihrafichno-vydavnychyj tsentr TOV «Imeks – LTD» [in Ukrainian].
5. Pat. 121498 Ukraine, MPK V23K 9/013, V23K 35/38. Sposib obrobky poverkhon' til obertannia elektrychnoiu duhoiu v hidrodinamichnomu pototsi robochoi ridyny [The method of processing surfaces by wrapping with an electric arc in a hydrodynamic potting of a working day]. No. u201705537; stated. June 06, 2017; has been published December 11, 2017, Bul. No. 23. [in Ukrainian].
6. Pat. 130822 Ukraine, MPK V23K 9/013, V23K 35/38, V23K 103/00. Prystrij dlia obrobky poverkhon' til obertannia elektrychnoiu duhoiu v hidrodinamichnomu pototsi robochoi ridyny [Pristiy for obrobony surface til wraparound with an electric arc in a hydrodynamic flow of work]. No. u2018 06873; stated. June 18, 2018; has been published December 26, 2018, Bul. No.24. [in Ukrainian].

Victor Bokov, Prof., PhD tech. sci., **Oleh Sisa**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vasyl Yuryev**, post-graduate
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Improving Electrical Discharge Machining Process for Bodies of Rotation

In modern mechanical engineering, electrical discharge machining (EDM) methods are widely used for machining bodies of rotation from difficult-to-machine materials. Those methods ensure sparing cutting and

make it possible to machine any electrically conductive material irrespective of its physical and chemical properties, in particular hardness. There is a known method for dimensional machining of bodies of rotation with electric arc using a wire electrode tool that is pulled along in the machining area thus "compensating" for that tool's EDM wear and tear. The machining accuracy is therefore significantly heightened. However, when implementing this method, an effect of splashing the working fluid outside the working area of the machine and a pronounced luminous effect from the burning of the electric arc in the machining area are observed. That worsens the working conditions. In addition, when pulling the wire electrode tool along the convex surface of the electrode holder, the sliding friction arises, which eventually leads to mechanical destruction of the contact point. As a result, a deep kerf is formed on the electrode holder. When the depth of the kerf reaches the diameter of the wire electrode tool, the destruction of the electrode holder by the electric arc begins. Consequently, the durability of the electrode holder in the known method is unsatisfactory.

A method of dimensional machining of bodies of rotation with electric arc using a wire electrode tool with the immersion of the machining area in the working fluid has been proposed, which makes it possible to improve the working conditions of the operator by eliminating the effect of fluid splashing and removing the luminous effect of arc burning in the machining area. In addition, it has been proposed to make the electrode holder in the form of a roller that rotates with a guide groove for the wire electrode tool, while the nozzle for creating the transverse hydrodynamic fluid flow has been proposed to be mounted in a separate fixed housing that is adjacent to the electrode holder. This technical solution replaces the sliding friction with the rolling one thus enhancing the durability of the electrode holder. Mathematical models of the process characteristics of the DMA-process (dimensional machining with electric arc) for bodies of rotation using a wire electrode tool with the immersion of the machining area in the working fluid have been obtained that make it possible to control the machining productivity, the specific machining productivity, the specific electric power consumption, and the roughness of the surface machined.

electric arc, hydrodynamic conditions, wire electrode tool, shaping arrangement, immersion tank

Одержано (Received) 30.07.2020

Прорецензовано (Reviewed) 05.08.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 656.078

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).324-330](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).324-330)

І.О. Хітров, доц., канд. техн. наук, **М.Є. Кристопчук**, доц., канд. техн. наук
*Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне,
Україна
e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua, m.ie.krystopchuk@nuwm.edu.ua*

Закономірності формування і розподілу транспортних та пасажирських потоків

Проведено аналіз результатів досліджень розміщення об'єктів транспортної інфраструктури, зокрема автовокзалів та транспортно-пересадочних вузлів в плані міста, залежно від планувальних особливостей транспортної мережі. Встановлено, що для побудови раціональної маршрутної мережі міст та стійкого зв'язку між об'єктами транспортної інфраструктури необхідне дослідження пасажирських кореспонденцій та розподілу транспортних потоків.

транспортна інфраструктура, транспорт, транспортна мережа, транспортні потоки, пасажирські потоки, розподіл потоків, ефективність

И.А. Хитров, доц., канд. техн. наук, **М.Е. Кристопчук**, доц., канд. техн. наук
Національний університет водного господарства та природопользования, г. Ровно, Украина
Закономерности формирования и распределения транспортных и пассажирских потоков

© І.О. Хітров, М.Є. Кристопчук, 2020

Основний обсяг пасажирських перевезень в зоні впливу найзначніших міст припадає на рейковий, переважно залізничний, та автобусний види транспорту. При цьому, якщо автобусні маршрути з передмість і віддалених місць (рейсові, туристичні, міжміські) закінчуються, як правило, в периферійних зонах міста, то пасажирські електропоїзди прибувають на кінцеві головні станції (вокзали), розташовані частіше поблизу центру міста [5]

Важливим елементом соціально-економічного розвитку міста, в контексті транспортної інфраструктури, є дослідження функціонування вулично-дорожньої мережі з пошуком альтернативних резервів для покращення її ефективної роботи.

Виокремимо основні вимоги формування раціональної маршрутної системи міста. Зокрема, міські маршрути повинні зв'язувати найкоротшим шляхом пасажироутворюючі пункти (промислові підприємства, вокзали, ринки, центральну частину міста тощо), чисельність маршрутів повинна відповідати потребам пасажирів у безпересадочних сполученнях, необхідності дотримання рівномірності завантаженості маршрутів на всій протяжності, узгодженості маршрутів з приміським сполученням. Дієвим способом розвантаження найнапруженіших ділянок транспортної мережі є залучення автобусів більшої пасажиромісткості.

Дотримання вказаних вимог раціоналізації маршрутної системи дозволить розосередити транспортні засоби за основними пасажироутворюючими напрямками, уникнути дублювання пасажирського транспорту на спільних ділянках маршрутів, підвищити середній коефіцієнт використання місткості з покращенням рівня комфортності.

Оцінку попиту на перевезення пасажирів представимо класичною схемою [6-8], як вказано на рис. 2.

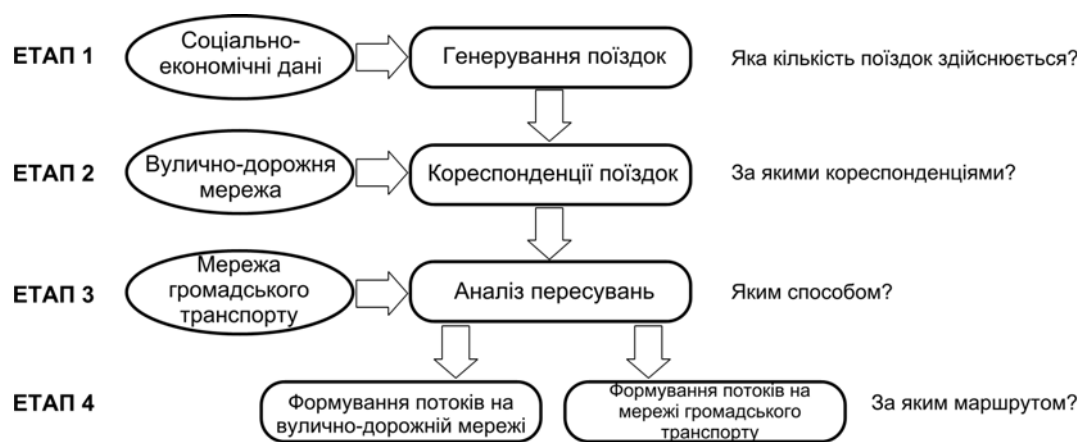


Рисунок 2 – Схема процесу вивчення та аналізу попиту на перевезення пасажирів
Джерело: розроблено авторами

Традиційний підхід до визначення місць концентрації поїздок описується “синтетичними” моделями, наприклад, гравітаційною, яка базується на фізичному законі (величина потоків, як значення функції, зменшується при збільшенні відстані між зонами транспортного обслуговування). При цьому розглядається гіпотеза, що поїздки між зонами i та j – це функція двох змінних (кількості поїздок в зоні i та відносної привабливості зони j відносно всіх зон [9]).

В загальному випадку задаються обсягами генерування поїздок T_i (об’єм кореспонденцій T_{ij} для фіксованої зони i повинен бути рівним T_i)

$$T_i = \sum_j T_{ij}, \quad \forall i, j. \quad (1)$$

Гравітаційна модель набуває вигляду:

$$T_{ij} = T_i \frac{X_j^\alpha f(t_{ij})}{\sum_{j=1}^J X_j^\alpha f(t_{ij})}, \quad \forall i, j, \quad (2)$$

де X_j^α – певний вимір рівня привабливості зони призначення j ;

$f(t_{ij})$ – функція відстані або узагальненої вартості пересування c_{ij} між зоною походження i та призначення j .

Практичним рішенням задач транспортного планування є моделювання поведінкового попиту, який базується на понятті функції корисності (привабливості) [10].

Після встановлення величини пасажиропотоків у транспортній системі особливої ваги набуває оптиміальне планування мереж, покращення організації руху, оптимізація системи маршрутів громадського транспорту, що є основою побудови математичних моделей для визначення і прогнозування параметрів функціонування транспортної мережі, таких як інтенсивність руху на елементах мережі, обсяг перевезень громадського транспорту, середні швидкості руху, затримки та втрати часу тощо, тобто для побудови прогнозних моделей.

Прогнозні моделі призначені для вирішення задач при відомих геометрії та характеристиках транспортної мережі, а також розміщення поточотвірних об'єктів. Необхідно дати прогноз завантаження транспортної мережі, що буде містити в собі деякі усереднені характеристики руху, такі як обсяг міжрайонних кореспонденцій, інтенсивність потоку, розподіл автомобілів і пасажирів по шляхах руху та ін. Такі моделі дозволяють прогнозувати наслідки змін у транспортній мережі або в розміщенні об'єктів транспортної інфраструктури.

Завантаження транспортної мережі визначається кількістю транспортних засобів, які використовують для руху кожен елемент мережі. Моделювання завантаження полягає в розподілі міжрайонних кореспонденцій за конкретними шляхами, що з'єднують пари районів. Вихідними даними виступає набір матриць кореспонденцій, що відносяться до переміщень різних видів або різних класів користувачів.

Відомі два підходи до моделювання розподілу транспортних потоків: нормативний та описувальний. У нормативних моделях розподіл транспортних потоків здійснюється на основі оптимізації деякого глобального критерію, що характеризує ефективність роботи всієї мережі. Як правило це виражена в тій або іншій формі мінімізація сумарних витрат. В основу описувального підходу покладено принцип, відповідно до якого кожен учасник прагне мінімізувати власні витрати. У результаті задача прогнозування транспортних потоків може розглядатися як окремий випадок пошуку рівноваги за Нешем в грі n осіб. Формально ця поведінка описується у вигляді принципів Вардропа: усі шляхи, які з'єднують райони p і q , що використовуються для руху представниками кореспонденції F_{pq} , мають однакову вартість; ціна будь-якого шляху між районами p і q , що не використовується для руху, перевищує ціну використовуваних шляхів.

Зазначимо, що вибір шляху окремими користувачами збільшує завантаження елементів мережі. Це призводить до збільшення узагальненої ціни цих елементів. Вибір, здійснений одними учасниками руху, побічно впливає на вибір, виконаний іншими.

Найефективнішою є модель пошуку рівноважного розподілу. Один з варіантів якої застосовується для розподілу користувачів одного класу. Вводимо такі позначення: I – множина вузлів мережі; V – множина дуг мережі; $\square V_i^+$ – множина дуг, що входять у вузол $i \in I$; V_i^- – множина дуг, що виходять з вузла $i \in I$; P – множина джерел; Q – множина стоків; u_{ij} – сумарний потік по дузі $(i, j) \in V$, u_{ij}^{pq} – потік по дузі $(i, j) \in V$ представників кореспонденції pq ; $u_{(ij)1(ji)2}^{pq}$ – потік на поворот із дуги $(ij)1 \in V$ на дугу $(ij)2 \in V$ представників кореспонденції pq ; F_{pq} – величина кореспонденції pq . Сумарні потоки на дугах пов'язані з потоками представників окремих кореспонденцій:

$$u_{ij} = \sum_{p \in P, q \in Q} u_{ij}^{pq}, \quad (i, j) \in V. \quad (3)$$

Допустиме рішення виражає „закон збереження” користувачів у мережі:

$$\left. \begin{aligned} u_{(ij)1}^{pq} &= \sum_{(i,j)1 \in V_i^+} u_{(ij)1(ji)2}^{pq}, \quad (i, j)1 \in V_i^-; \\ u_{(ij)2}^{pq} &= \sum_{(i,j)2 \in V_i^-} u_{(ij)1(ji)2}^{pq}, \quad (i, j)2 \in V_i^+; \end{aligned} \right\} \forall i \in I, (p, q) \in (P \times Q). \quad (4)$$

Баланс за величинами кореспонденцій для джерел і стоків:

$$F_{pq} = \sum_{(p,j) \in V_p^+} u_{pj}^{pq} = \sum_{(i,q) \in V_q^-} u_{iq}^{pq}, \quad p \in P, q \in Q. \quad (5)$$

Цінова функція $c_{ij}(u)$ виражає вартість проходження сумарним потоком u дуги $(i, j) \in V$. За ціновою функцією будемо інтегральну цінову функцію:

$$C_{ij}(u) = \int_0^u c_{ij}(v) dv, \quad (i, j) \in V. \quad (6)$$

Таким чином, у прийнятих позначеннях модель рівноважного розподілу описується задачею оптимізації (при обмеженнях (3)-(5)):

$$f(u) = \min_u \sum_{(i,j) \in V} C_{ij}(u) \quad (7)$$

Таким чином, модель (7) при обмеженнях (3)-(5) можна використовувати для розподілу потоків за мережею, а гравітаційну – для розподілу пасажирських кореспонденцій між взаємодіючими інфраструктурними об'єктами.

Висновки:

1. Розташування транспортно-пересадочних вузлів в транспортній інфраструктурі міста головним чином визначає їх транспортну структуру.

2. Розподіл пасажирських кореспонденцій між взаємодіючими інфраструктурними об'єктами описується гравітаційною моделлю (величина потоків,

як значення функції, зменшується при збільшенні відстані між зонами транспортного обслуговування).

3. Модель пошуку рівноважного розподілу доцільно застосовувати як задачу оптимізації розподілу транспортних потоків.

4. При виборі місць розташування об'єктів транспортної інфраструктури, перерозподілу пасажирських кореспонденцій, слід розглядати комплексні моделі, які характеризують ефективність роботи всієї мережі.

Список літератури

1. Державне регулювання розвитку соціальної інфраструктури населених пунктів України : навч. посіб. / Вакуленко В. М. та ін. Київ : Вид-во УАДУ, 2002. 112 с.
2. Новітні моделі соціально-економічного розвитку міст в умовах формування ринкових відносин та громадянського суспільства / Удовиченко В. П. та ін. ; за ред. Ю. П. Лебединського. Київ : Заповіт, 2003. 340 с.
3. Левковская Е. П. Транспортно-планировочные принципы организации пересадочных узлов пригородно-городского сообщения : автореф. дис. на соиск. науч. ступеня канд. тех. наук : 18.00.04. Москва, 1989. 35 с.
4. Щурова В. А. Роль мережі транспортно-пересадкових вузлів у функціонально-планувальній структурі міста. *Містобудування та територіальне планування*. 2002. Вип. 13. С. 248-255.
5. Пашкевич С. М., Кристопчук М. Є. Аналіз параметрів функціонування об'єктів транспортної інфраструктури на формування транспортних та пасажирських потоків у містах. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2018. № 1. С. 66-72. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2018_1_13. (дата звернення: 17.09.2020)
6. Управління розвитком міста : навч. посіб. / за ред. В. М. Вакуленка, М. К. Орлатого. Київ : Вид-во НАДУ, 2006. 389 с.
7. Вакуленко К. Є. Вибір автотранспортного засобу на маршрутах міського пасажирського транспорту : автореф. дис. на здобуття наук... ступеня канд. тех. наук : 05.22.01 Харків, 2009. 24 с.
8. Доля В. К. Пасажирські перевезення : підручник. Харків : Видавництво «Форт», 2011. 504 с.
9. Кристопчук М. Є. Соціально-економічна ефективність пасажирської транспортної системи приміського сполучення : монографія. Рівне : НУВГП, 2012. 158 с. URL: [http://ep3.nuwm.edu.ua/1645/1/Кристопчук Соціально-економічна zah.pdf](http://ep3.nuwm.edu.ua/1645/1/Кристопчук%20Соціально-економічна%20zah.pdf) (дата звернення: 22.09.2020)
10. Кристопчук М. Є., Лобашов О. О. Приміські пасажирські перевезення: навч. пос. Харків : НТМТ, 2012. 224с. URL: [http://ep3.nuwm.edu.ua/11277/1/Приміські пасажирські перевезення.pdf](http://ep3.nuwm.edu.ua/11277/1/Приміські%20пасажирські%20перевезення.pdf). (дата звернення: 25.09.2020)

References

1. Vakulenko, V.M. (2002). *Derzhavne rehulyuvannya rozvytku sotsialnoi infrastruktury naselenykh punktiv Ukraine [State regulation of the development of social infrastructure of settlements of Ukraine]*. Kyiv: UADU [in Ukrainian].
2. Udovychenko, V.P. et al. (2003). *Novitni modeli sotsialno-ekonomichnoho rozvytku mist v umovakh formuvannya rynkovykh vidnosyn ta hromadyanskoho suspilstva [The latest models of socio-economic development of cities in the formation of market relations and civil society] / YU.P. Lebedynskoho (Ed.)*. Kyiv: Zapovit [in Ukrainian].
3. Levkovskaia, E.P. (1989). *Transportno-planirovochnye pryntsypy orhanyzatsii peresadochnykh uzlov pryhorodno-horodskoho soobshchenyya [Transport and planning principles of the organization of interchange hubs of suburban-urban traffic]. Extended abstract of candidate's thesis*. Moskva [in Russian].
4. Shchurova, V.A. (2002). *Rol merezhi transportno-peresadkovykh vuzliv u funktsionalno-planuvalnii strukturі mista [The role of the network of transport interchanges in the functional and planning structure of the city]. Mistobuduvannya ta terytorialne planuvannya – Urban planning and spatial planning. Vol. 248-255* [in Ukrainian].
5. Pashkevych, S.M., & Krystopchuk, M.YE. (2018). *Analiz parametriv funktsionuvannya obyektiv transportnoyi infrastruktury na formuvannya transportnykh ta pasazhyrskykh potokiv u mistakh [Analysis of the parameters of the functioning of transport infrastructure facilities for the formation of transport and*

- passenger flows in cities]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti – Modern technologies in mechanical engineering and transport*, 1, 66-72. nbuv.gov.ua. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2018_1_13 [in Ukrainian].
6. Vakulenko, V.M., & Orlatoho, M.K. (Eds.). (2006). *Upravlinnya rozvytkom mista [Management of city development]*. Kyiv: NADU [in Ukrainian].
 7. Vakulenko, K.YE. (2009). Vybir avtotransportnoho zasobu na marshrutakh miskoho pasazhyrskoho transportu [Choice of vehicle on urban passenger transport routes]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kharkiv [in Ukrainian].
 8. Dolia, V.K. (2009). *Pasazhyrski perevezennia [Passenger transportation]*. Kharkiv: Vydavnytstvo «Fort» [in Ukrainian].
 9. Krystopchuk, M.YE. (2012). *Sotsialno-ekonomichna efektyvnist pasazhyrskoi transportnoi systemy prymiskoho spoluchennia [Socio-economic efficiency of the suburban passenger transport system]*. Rivne: NUVHP [in Ukrainian].
 10. Krystopchuk, M.YE., & Lobashov, O.O. (2012). *Prymiski pasazhyrski perevezennia [Suburban passenger traffic]*. Kharkiv: NTMT [in Ukrainian].

Ihor Khitrov, Assoc. Prof. PhD tech. sci., **Mykhailo Krystopchuk**, Assoc. Prof. PhD tech. sci.

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

Regularities of Formation and Distribution of Transport and Passenger Flows

Decision-making to improve the functioning of route systems is an extremely necessary, but at the same time difficult task, as it determines the overall socio-economic development of the city, the stability and safety of its transport complex. The purpose of this work is to establish patterns of formation and distribution of passenger flows for the transport network of the city with a description of models of their operation.

The traditional approach to determining the concentration of travel is described by "synthetic" models, such as gravity. A practical solution to the problems of transport planning is the modeling of behavioral demand, which is based on the concept of attractiveness function. The load of the transport network is determined by the number of vehicles on it. Download simulation is the distribution of inter-district correspondence along specific paths connecting district pairs. In normative models, the distribution of traffic flows is based on the optimization of some global criterion that characterizes the efficiency of the entire network. The descriptive approach is based on the principle according to which each participant seeks to minimize their own costs. The most effective is the model of finding the equilibrium distribution. One of the variants of which is used to distribute users of one class.

In this way, the location of transport interchanges in the transport infrastructure of the city mainly determines their transport structure. The distribution of passenger correspondence between interacting infrastructure objects is described by a gravitational model. The equilibrium distribution search model should be used as a task to optimize the distribution of traffic flows.

transport infrastructure, transport, transport network, transport flows, passenger flows, flow distribution, efficiency

Одержано (Received) 30.09.2020

Прорецензовано (Reviewed) 15.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 629.083

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).331-343](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).331-343)

В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, **А.В. Гриньків**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
А.О. Головатий, асп.

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна
e-mail: AulinVV@gmail.com*

Кіберфізичний підхід при створенні, функціонуванні та удосконаленні транспортно- виробничих систем

Проаналізовано зміст кіберфізичного підходу до створення, функціонування та удосконалення транспортно-виробничих систем. На базі підходу створюються кіберфізичні транспортно-виробничі системи як інтеграція спеціальних технологій: Інтернет речей; вбудовані системи; повсюдні та хмарні обчислення. Визначено головні функції таких систем: обробка інформації, інтелектуальні комунікації, управління характеристиками і процесами. Побудована концептуальна схема та компонентна модель системи, яка включає дві групи компонент – еволюційну і технологічну. В еволюційну групу компонент входять підсистеми: цифрові; інтегровані; робототехнічні, розподілені інтелектуальні, а технологічна група є основою конкретних реалізацій Інтернет речей, вбудованих систем та повсюдних і хмарних обчислень. Запропоновано кіберфізичну систему технічного сервісу та визначено режими її функціонування. Виявлено наявність інтелектуальних моделей в кіберфізичній моделі технічного сервісу.

кіберфізичний підхід, транспортно-виробнича система, компонентна модель, технічний сервіс

В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, **А.В. Гриньків**, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., **А.О. Головатий**, асп.
Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Кіберфізический подход при создании, функционировании и совершенствовании транспортно-производственных систем

Проанализировано содержание киберфизического подхода к созданию, функционированию и совершенствованию транспортно-производственных систем. На базе подхода создаются киберфизические транспортно-производственные системы как интеграция специальных технологий Интернет вещей; встроенные системы; повсеместные и облачные вычисления. Определены основные функции таких систем: обработка информации, интеллектуальные коммуникации, управления характеристиками и процессами. Построена концептуальная схема и компонентная модель системы, которая включает две группы компонент - эволюционную и технологическую. В эволюционную группу компонент входят подсистемы: цифровые; интегрированные; робототехнические, распределены интеллектуальные, а технологическая группа является основой конкретных реализаций Интернет вещей, встроенных систем и повсеместных и облачных вычислений. Предложено киберфизическую систему технического сервиса и определены режимы ее функционирования. Вывявлено наличие интеллектуальных моделей в киберфизической модели технического сервиса.

кіберфізический подход, транспортно-производственная система, компонентная модель, технический сервис

Постановка проблеми. Актуальність проблеми обумовлена необхідністю вдосконалення управління складними транспортно-виробничими системами в умовах зростання обсягів інформації та багатовимірності управлінських ситуацій. В основу досліджень цієї проблеми доцільно покласти методи кіберфізичного підходу [1] й врахувати їх при створенні, функціонуванні та удосконаленні транспортно-виробничих систем. Інтерес викликають нові можливості застосування кіберфізичних систем (КФС) на основі транспортно-виробничих систем, а також управління ними. При побудові

концептуальних та компонентних моделей кіберфізичних систем, слід розглянути їх структуру, з'ясувати їх схожість і відмінності з іншими системами. В якості методологічного інструментарію використовується системний і структурний аналізи. Комунікаційні особливості кіберфізичних транспортно-виробничих систем є умовою їх реалізації при організації, функціонуванні та удосконаленні. Аналіз функціонування кіберфізичних систем свідчить що вони є прогресивним кроком до створення інтелектуальних систем нового покоління. Це передусім стосується системи технічного сервісу транспортних машин та мобільної сільськогосподарської техніки, що базується на інтелектуальній стратегії їх технічного обслуговування та ремонту [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оскільки, проблема управління транспортними та виробничими підприємствами тісно пов'язана із сучасною проблемою обробки великою за обсягом базою даних (інформації про стан) [3], то зростання складності управлінських ситуацій і систем управління вимагає застосування радикальних наукових рішень. Одним з варіантів такого рішення є розподілене інтелектуальне мережеве управління, засноване на застосуванні кіберфізичного підходу при створенні, функціонуванні та удосконаленні транспортно-виробничих систем [4].

В кіберфізичних системах (cyber-physical system (CPS)) використовують інтелектуальне внутрішньомережеве моделювання [5-8]. З точки зору концепції механізму роботи КФС, то вона аналогічна механізму роботи мультиагентних систем (МАС) [9]. Разом з тим КФС мають більшу мобільність агентів і включення в середовища фізичного та інтелектуального просторів розподіленого колективного обчислення.

Формування кіберфізичного підходу дослідження технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту доцільним є при використанні методів теорії чутливості [10], особливо це стосується використання критеріїв статистичної інформативної та відносної чутливості [11], а також еволюційні обчислювання їх життєвого циклу на основі генетичних алгоритмів [12]. При цьому корисним є застосування теоретико-методологічних основ побудови транспортних і виробничих логістичних систем [13-15]. В кіберфізичній системі технічного сервісу машин [16, 17] увагу слід зосередити на розробці інтелектуальної стратегії технічного обслуговування та ремонту [18], яка є найбільш ефективною з економічної точки зору [19]. Актуальними залишаються методи формування системи транспортно-технологічного забезпечення на основі кіберфізичного підходу [20] та концептуальний підхід дослідження кіберфізичних транспортних і виробничих систем [21]. Зазначене передусім стосується логістичних підприємств агропромислового виробництва [22, 23]. Підвищується ефективність функціонування транспортних і виробничих систем при реалізації фізико-інформаційного підходу [24], автоматизації і інформатизації транспортних засобів на основі розподільної системи управління мехатронними модулями [25-27]. На основі кіберфізичного підходу можлива організація логістичних центрів в Україні [28], а на основі структурно-функціональних резервних схем процесу доставки забезпечується ефективність функціонування транспортних систем [29]. Кіберфізичний підхід передбачає самоорганізацію транспортних і виробничих систем [30] та дослідження їх стану [31]. Слід також зазначити, що інтелектуальні транспортні і виробничі системи є результатом впровадження кіберфізичних ефективних технологій [32] та розроблення нової системи організації та управління логістичними потоками [33].

При реалізації внутрішньомережевого інтелектуального моделювання істотно підвищується ефективність управління транспортом, виробництвом та їх інфраструктурою, особливо це важливо в складних і надзвичайних ситуаціях [34, 35].

Останнім часом зростає увага до КФС, моделей і методів їх побудови. Проте їх застосування для управління транспортом і виробництвом є недостатнім, а отже необхідні дослідження спеціальних методів, технологій та моделей КФС. Це визначає актуальність аналізу реальних умов функціонування, побудови модельних схем для формування підходу реалізації та розробки кіберфізичного алгоритму створення і удосконалення КФС.

Постановка завдання. Метою даної роботи є виявлення ролі та сутності кіберфізичного підходу, принципів створення, побудова концептуальної схеми та компонентної моделі кіберфізичних транспортно-виробничих систем та з'ясування на цій основі переваг кіберфізичних систем технічного сервісу машин при її побудові, функціонуванні та удосконаленні.

Виклад основного матеріалу. Згідно кіберфізичного підходу кіберфізичні системи створюються на основі інтеграції спеціальних технологій: Інтернет речей (Internet of things – IoT); вбудовані системи (Embedded system – ES); повсюдні (Ubiquitous computing – UC) і хмарні обчислення (Cloud computing – CC); мережевий обмін (Network exchange – NE).

Технології IoT – є технологіями [36], в яких будь-який фізичний об'єкт може бути з'єднано з будь-яким іншим фізичним об'єктом. Структурно така спеціальна технологія може бути представлена як спеціальна мережа або розподілена система, що включає міжмережеву взаємодію фізичних пристроїв, транспортних машин, будівель і інших об'єктів, вбудованих в електроніку (програмне забезпечення, датчики, виконавчі механізми). При цьому об'єктам, об'єднаним в спеціальну мережу, дозволяється збирати і обмінюватися даними. В аспекті опрацювання інформації і обчислень систему розглядають як обчислювальну мережу. Відмінність IoT, як системи, від звичайних комунікаційних систем (мережі, Інтернет) полягає в можливості самостійно виробляти обчислювальні операції. Саме ця властивість істотно розвинена в КФС.

Глобальна ініціатива, що стосується стандартизації технології IoT, визначила її як інфраструктуру інформаційного суспільства [37]. Ця технологія IoT дозволяє фіксувати і контролювати віддалені об'єкти через існуючу мережеву інфраструктуру. Завдяки цьому створюються можливості для інтеграції фізичного світу в комп'ютерні системи, що істотно полегшує умови функціонування КФС. Якщо технологія IoT доповнюється системою датчиків і приводів, то така комбінована технологічна система перетворюється в більш загальний клас розподілених систем - кіберфізичні системи. На практиці IoT може трактуватися як технологія, мережа та комунікаційна система. Це обумовлено її головними функціями: сервісними, комунікаційними і інформуючими. Зазначені функції пов'язані з технологією і технологічними складовими. В той час на відміну від IoT кіберфізична система трактується саме як система. Це обумовлено тим, що головними в КФС є технічні пристрої: виконавчі механізми, розподілена сукупність датчиків та приводів. Слід зазначити, що в КФС технологічні компоненти залишаються допоміжними і КФС є більш закритою в порівнянні з IoT.

Технології вбудованих систем (Embedded system - ES) є важливими технічними і технологічними компонентами КФС. ES являє собою комп'ютерну систему, що володіє спеціалізованими функціями і є підсистемою великої механічної або управлінської системи, та має обмеження в реальному часі з обчислювальних можливостей [38]. ES вбудована як частина повного пристрою, що включає сукупність апаратних та механічних деталей. Основним призначенням вбудованих систем є контроль інших пристроїв. Зазначимо, що 98% всіх мікропроцесорів є компонентами вбудованих систем [39]. Сучасні вбудовані системи переважно засновані на мікроконтролерах

(CPU) з вбудованою пам'яттю. В ES використовуються процесори різних типів, загального та спеціалізованого призначення. Загальним класом вбудованих процесорів є цифровий сигнальний процесор (DSP). Вбудовані системи варіюються від портативних пристроїв (цифрових годинників, MP3-плеєрів), до великих стаціонарних установок: світлофори; бортові комп'ютери, що керують витратою палива в автомобілі; гібридні автомобілі; мобільне командне реагування – MRT, авіоніка та евтоніка. Складність вбудованої системи варіюється від одного мікроконтролера до систем високого рівня, периферійними пристроями та мережами, встановленими всередині великого шасі або корпусу машини.

У процесах транспортування регулярно використовують вбудовані системи: інерціальні системи навігатора і приймачі GPS, що базуються на них. Різні електродвигуни: безщіткові постійного струму, асинхронні двигуни і двигуни постійного струму – застосовують електричні та електронні контролери. Автомобілі, електромобілі і гібридні автомобілі використовують вбудовані системи для максимізації ефективності та зменшення забруднення. Автомобільні вбудовані системи безпеки входять в антиблокувальну гальмівну систему (ABS), систему електронного контролю стійкості (ESC / ESP), систему контролю тяги (TCS) і автоматичний привід на всі колеса.

Повсюдні обчислення (Ubiquitous computing (UC)) є обов'язковою і відмінною технологічною частиною КФС. Вони формують відмінність кіберфізичних систем від систем звичайних виконавчих пристроїв і пасивних розподілених систем. UC створюють можливість самостійного аналізу і обробки інформації всередині самої КФС. Хмарні обчислення (Cloud computing (CC)) забезпечують повсюдний та зручний доступ на вимогу через мережу до спільного пулу обчислювальних ресурсів, що підлягають налагоджуванню, і які можуть бути оперативно надані та звільнені з мінімальними управлінськими затратами та зверненнями до провайдера. При реалізації хмарних обчислень програмне забезпечення надається користувачеві як інтернет-сервіс. Користувач має доступ до власної бази даних, але не може управляти і не повинен піклуватися про інфраструктуру, операційну систему і програмне забезпечення, з яким він працює. Зазначимо, що інформація постійно зберігається на серверах у мережі INTERNET і тимчасово керується на клієнтській стороні.

Як самостійні концепції повсюдні та хмарні обчислення існують не тільки в КФС, але і в програмній інженерії [40] та інформатиці, де обчислення проводяться в будь-який час і повсюди, як в локальній, так і в загальній області. На відміну від застосування ПК ці обчислення можуть відбуватися з використанням будь-якого обчислювального пристрою, в будь-якому місці і в будь-якому форматі. Користувач взаємодіє з різними за призначеннями комп'ютерами, включаючи портативні комп'ютери, планшети і термінали. Основні технології для підтримки хмарних обчислень включають INTERNET, розширене проміжне програмне забезпечення, операційну систему, мобільний код, датчики, мікропроцесори, інтерфейси введення / виведення, користувальницькі інтерфейси, мережі, мобільні протоколи, місце розташування і позиціонування.

US та CC можна трактувати як поширювальні обчислення (pervasive computing (PC)) [41], навколишній інтелект (ambient intelligence (AI)) [42] або будь-яке забезпечення (everyware (EW)) [43]. Зазначені терміни підкреслюють певні аспекти технологій повсюдних та хмарних обчислень. Вони стосуються широкого кола напрямків досліджень: розподілені обчислення, мобільні обчислення, локальні обчислення, мобільні мережі, контекстно-залежні обчислення, сенсорні мережі,

взаємодія між людьми і комп'ютером, штучний інтелект. По суті ці технології доповнюють інші розглянуті технології щоб сформувати кіберфізичні системи та забезпечити їх адаптивність і динамічну активність.

Основним недоліком КФС є складність їх побудови і функціонування, що вимагає залучення фахівців в процесі створення і підтримки. Складність кіберфізичних побудов обумовлює і складність загального визначення цих систем, їх функціонування та удосконалення, які подають через перерахування сукупності їх функцій, а тому при цьому виходять з різних аспектів. В аспекті інтегрованих систем КФС є комплексом обчислювальних, мережевих і фізичних процесів. В аспекті управління КФС – це розподілені системи управління, які містять вбудовані комп'ютери і обчислювальні вузли і управляють фізичними процесами. В аспекті методики обчислення КФС являють собою розподілені системи управління, які містять ланцюги зворотних зв'язків, в яких фізичні процеси впливають на обчислення і навпаки.

Оскільки кіберфізичний підхід до побудови, функціонування і удосконалення кіберфізичних транспортно-виробничих систем розвивається динамічно, то є необхідність створення його теоретичних основ та розроблення нових їх прикладень, що мають високий рівень надійності і ефективності. Виявлено, що кіберфізичні транспортно-виробничі системи виникли в результаті розвитку технічних засобів та обчислювальних технологій, тому їх концептуальна схема мають тринітарне відображення (рис. 1).

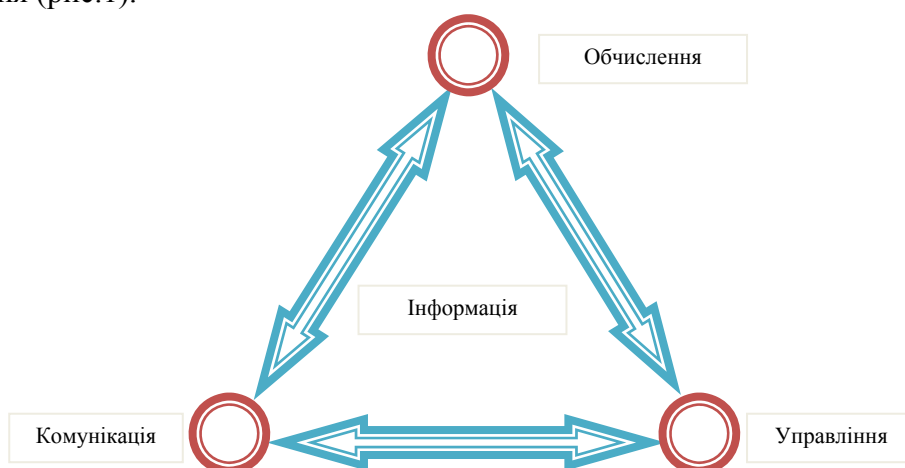


Рисунок 1 – Концептуальна схема відображення кібернетичної транспортно-виробничої системи
Джерело: розроблено авторами

Тринітарна концептуальність схеми транспортно-виробничої системи визначається трьома сутностями: комунікація, обчислення та управління, які об'єднують інформація. Головними функціями кіберфізичних транспортно-виробничих систем, в тому числі і кіберфізичних систем технічного сервісу машин, обробка інформації (обчислення), інтелектуальні комунікації та управління транспортними і виробничими характеристиками і процесами. З'ясована сукупність компонентів кіберфізичної транспортно-виробничої системи і побудована відповідна модель, яка включає дві групи компонент – еволюційну і технологічну (рис. 2).

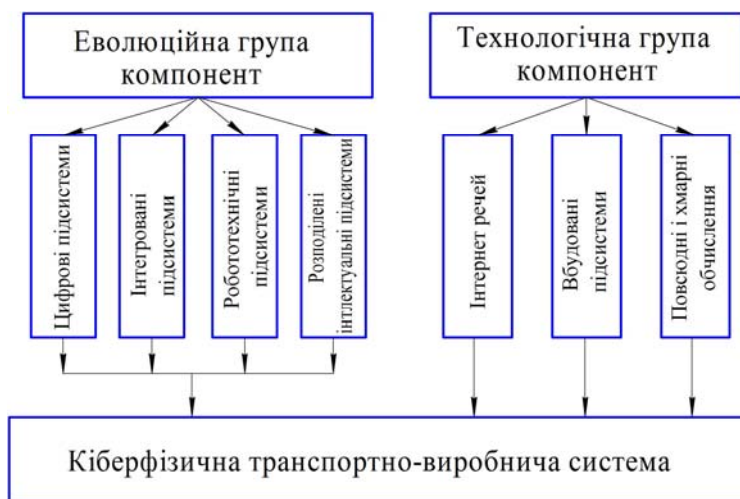


Рисунок 2 – Компонентна модель кіберфізичної транспортно-виробничої системи

Джерело: розроблено авторами

Еволюційна група компонент є своєрідною базою наявності передумов створення транспортно-виробничих систем, а технологічна – основа їх конкретних реалізацій. Звичайно, що створення і реалізація кіберфізичних транспортно-виробничих систем за теоретичним обґрунтуванням можуть бути різними, через те, що вони адаптуються під розв'язання різного плану певних проблем або завдань. Конкретною реалізацією кіберфізичної транспортно-виробничої системи є створення і функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу.

Через високу адаптивність реалізація КФС залежить не тільки від поставлених завдань, але і об'єкта управління. Доцільність застосування КФС виникає і при управлінні складними системами та складними управлінськими ситуаціями. В аспекті обчислень КФС можливо порівняння з системами паралельних обчислень. Слід зазначити, що для простих ситуацій КФС є неефективними, а для складних – вони незамінні. Слід відмітити, що особливо важливим є значення КФС для великомасштабних розподілених систем автоматизації і управління, до числа яких належать сфера транспорту і виробництва. Що стосується транспортної та виробничої галузь, то створення і функціонування КФС є ефективним і економічно доцільним.

КФС використовують концептуальні, математичні, управлінські, технологічні та базисні моделі. КФС орієнтовані переважно на управління рухомими об'єктами [44]. При цьому слід зазначити, що однією з багатьох цілей при створенні КФС є виявлення кіберзагроз та інших загроз. Ця можливість означає, що КФС пристосовані до роботи з швидкоплинними ситуаціями і змінними цілями, чим створюється перевага КФС як системи багатоцільового управління [45].

Концептуальні моделі КФС будуються на основі інформаційних конструкцій [46], а базисні – на основі інформаційних одиниць, які утворюють мовне середовище. Відповідно до теорії семіотичного управління мовне середовище при цьому служить основою інтелектуального управління. В аспекті взаємодії КФС використовують новий тип моделей, побудованих на інформаційно-фізичному підході. В аспекті моделювання мережевої взаємодії КФС використовують новий тип моделювання - внутрішньомережеве онлайн моделювання. В аспекті інтелектуальної обробки інформації КФС використовують новий тип самоверифікуючих моделей і моделей внутрішньої онлайн оптимізації. Наявність інтелектуальних моделей в кіберфізичних транспортно-виробничих системах, робить їх стійкими до кібератаки і підвищує ступінь безпеки, що є важливим при забезпеченні безпеки руху на транспорті та

розробці системи охорони праці на виробництві.

На увагу заслуговують напрямки застосування КФС на транспорті і виробництві у вигляді транспортних (ТКФС) та виробничих кіберфізичних систем (ВКФС). При цьому ТКФС і ВКФС поділяються на два якісних їх типи: внутрішня система всередині об'єкта дослідження, що рухається, і зовнішня система, яка об'єднує комплекс рухомих об'єктів дослідження. Системи другого типу вирішують завдання управління трафіком руху в системі транспортних та виробничих потоків, а першого типу – управління окремими об'єктами в складних динамічно мінливих ситуаціях.

Висновки.

1. З'ясовано сутність і зміст кіберфізичного підходу при створенні, функціонуванні та удосконаленні транспортно-виробничих систем.

2. Виявлено, що принципово важливою властивістю кіберфізичної системи є включення в їх структуру інтелектуальних підсистем обробки інформації. Це свідчить про те, що кіберфізичні системи є розподіленими інтелектуальними системами.

3. Показано, що кіберфізичні системи є більш складними системами управління в порівнянні з існуючими системами управління транспортом і виробництвом. Вони вважаються розподіленими мережевими системами, але відрізняються від комунікаційних систем наявністю інтелектуальних підсистем і володінням різної природи властивостей самоверифіцируемості і онлайн модифікації потоків. У звичайних мережевих системах управління здійснюється ззовні користувачем.

4. Застосування кіберфізичних систем в транспортній і виробничій сферах дасть можливість підвищити надійність і ефективність транспортних та виробничих кіберфізичних систем. Кіберфізичні системи, на відміну від інтелектуальних технічних систем, більш стійкі до кібератак, завдяки наявності автономного управління та принципів саморегуляції.

5. В цілому аналіз можливостей кіберфізичних систем дозволяє сподіватися на прогрес в освоєнні кіберфізичного підходу і побудови моделей управління, створення його методологічних та теоретичних основ, інтеграцію виконавчих і сенсорних пристроїв в єдиний комплекс, перетворення окремих інтелектуальних підсистем в класичну автоматизовану паспортну систему управління. Перспективними є дослідження структур і властивостей кіберфізичних транспортно-виробничих систем на прикладі кіберфізичної системи технічного сервісу машин. Це стосується теорії і технологій їх створення, функціонування та удосконалення, а також електронного супроводу інформаційних процесів.

Список літератури

1. Голембо В., Бочкарьов О. Підходи до побудови концептуальних моделей кіберфізичних систем. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Комп'ютерні науки та інформаційні технології.* - Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2017. № 864. С. 168-178.
2. Аулін В.В., Гриньків А.В., Ляшук О.Л., Великодний Д.О. Принципові основи організації та вдосконалення системи технічного сервісу транспортних машин. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу с-х машин і знарядь*: збірник тез V Всеукраїнської науково-практичної конференції, 28-29 березня 2019 р. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 2019. С. 245-248.
3. Чехарин Е. Е. Большие данные: большие проблемы. *Перспективы науки и образования.* 2016. № 3. С. 7–11.
4. Khaitan et al. Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey, *IEEE Systems Journal*, 2014, 9(2), pp.1-16.
5. Jianjun S.et al.The analysis of traffic control Cyber-physical systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences.* 2013. Т. 96. С. 2487-2496.
6. Ван Чунжі, Яцишин С. П., Лиса О. В., Мідик А.-В. В. Кіберфізичні системи та їх програмне забезпечення. *Вимірювальна техніка та метрологія: міжвідомчий науково-технічний збірник.*

- Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2018. Том 79. № 1. С. 34-38.
7. Мейтус В. Ю., Морозова Г. І, Таран Л. Ю., Козлова В. П., Майданюк Н. В. Кіберфізичні системи ж основа інтелектуалізації "Розумних" підприємств. *Управляющие системы и машины*. 2019. №4. С.14-26.
 8. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом. *МИР ТРАНСПОРТА*, 2018, том 16, № 2, С. 138-145.
 9. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Применение мультиагентных систем в интеллектуальных логистических системах. *Международный журнал экспериментального образования*. 2012. №6. С. 107-109.
 10. Аулін В.В., Гриньків А.В. Теоретичний аналіз діагностичних параметрів технічного стану систем та агрегатів засобів транспорту за допомогою методів теорії чутливості. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. 2017. Вип. 262. С. 227-239.
 11. Аулін В.В., Гриньків А.В. Метод визначення тенденцій зміни технічного стану засобів транспорту з використанням критеріїв статистичної інформативності та відносної чутливості. *Крамаровські читання: зб. тез доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції, 22-23 лют. 2018 р., К.: Видавничий центр НУБіП України, 2018. С. 132-135.*
 12. Аулін В.В., Панков А.А. Эволюционное вычисление жизненного цикла технических средств на основе генетических алгоритмов. *Вісник інж. академії України*. 2017. №2. С.116-119.
 13. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Теоретико-методологічні основи побудови транспортно-логістичних систем. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: Матеріали VI-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 12-13 квітня 2018 року. Вінниця: ВНТУ, 2018. С.9-10.*
 14. Аулін В.В. Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортно-логістичній системі АПК. *Міжвузівський збірник "Наукові нотатки"*. Луцьк: Луцький НТУ, 2018. №62. С.8-11.
 15. Аулін В.В., Великодний Д.О., Голуб Д.В., Дьяченко В.О. Підвищення ефективності управління логістичним ланцюгом постачання в транспортній системі. *Крамаровські читання: зб. тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції, 21-22 лют. 2019 р., м. Київ: НУБіП, 2019. С. 195-198.*
 16. Аулін В.В., Жилова І.В., Лисенко С.В. Мезомеханіка – сучасний підхід до теорії зношування. *Підвищення надійності машин і обладнання: зб. тез доповідей XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 75-77.*
 17. Аулін В.В., Лисенко В.М. Виявлення зв'язку триботехнічних характеристик матеріалу деталі з його температурою Дебая. *Підвищення надійності машин і обладнання: зб. тез доповідей XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 7-78.*
 18. Аулін В.В., Замота Т.Н., Замота О.Н., Гриньків А.В. Технично-економічне обґрунтування переваг інтелектуальної стратегії технічного обслуговування і ремонту легкового автомобіля. *Вісник інж. академії України*. 2017. №4. С.50-56.
 19. Аулін В.В., Замота Т. М., Гриньків А. В., Замота О. М., Чернай А. Е. Переваги інтелектуальної стратегії технічної експлуатації з точки зору економічної ефективності. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2018. Вип. 192. С. 29-40.
 20. Аулін В.В., Великодний Д.О. Методи формування системи транспортно-технологічного забезпечення в АПК. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення: збірник наукових праць за матеріалами VIII-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 23-25 травня 2018р. Одеса: КУПРІСНКО СВ, 2018. С. 15-17.*
 21. Аулін В.В., Голуб Д. В., Гриньків А.В. Концептуальний підхід дослідження функціонування транспортних систем. *Перспективні напрями розвитку регіональних транспортних та логістичних систем: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 22-23 травня 2018 р. Харків: ХНАДУ, 2018. С.14-17.*
 22. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Удосконалення системи транспортного обслуговування підприємств агропромислового виробництва. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.*, 2017. Вип. 47, ч.ІІ. С. 3-10.
 23. Aulin V., Velykodnyi D., Dyachenko V. Concept of development and formation of transport-logistic systems in the agroindustrial complex. *Modern Management: Logistics and Education. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2018. P.165-169.*

24. Аулін В.В., Голуб Д.В. Реалізація фізико-інформаційного підходу дослідження проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування транспортних систем. *Вестник ХНАДУ*, 2018. вып. 81. С.21-28.
25. Аулін В.В., Панков А.А. Автоматизация и информатизация транспортных средств на основе распределенной системы управления с интеллектуальными мехатронными модулями. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту: збірник наукових матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, ЦНТУ м.Кропивницький, Україна, 14-15 листопада 2018 року. Кропивницький. 2018. С.97-100.*
26. Аулін В.В., Панков А.О., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Щеглов А.В. Розробка інтелектуального мехатронного модуля для системи управління дозуванням. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2019): збірник тез Дванадцятій міжнародної науково-практичної конференції, 21-22 травня 2019 року, Київ, Україна. К.: НАУ, 2019. С.173-175.*
27. Aulin V.V., Pankov A.O., Zamota T.M., Lyashuk O.L., Hryniv A.V., Tykhyi A.A., Kuzyk A. V. Development of mechatronic module for the seeding control system. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2019. vol. 59, no.3. P. 181-188.
28. Aulin V., Pavlenko O., Velikodnyy D., Kalinichenko O, Hrinkiv A., Diychenko V., Dzyura V. Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine. С.120-134.*
29. Аулін В.В., Голуб Д.В. Забезпечення ефективності функціонування транспортних систем шляхом підвищення надійності структурно-функціональних резервних схем процесу доставки. *Наука – виробництво 2019: зб. тез доповідей викладачів, аспірантів та співробітників Л наукової конференції, 18 квітня 2019 року. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 17-20.*
30. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Принципи самоорганізації автомобільних транспортних систем. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали VIII-ої міжн. наук.-практичної інтернет-конф., 14-15 квітня 2020 року: зб. наук. праць / МОН України, ВНТУ [та ін.]. – Вінниця: ВНТУ, 2020. С.17-19.*
31. Аулін В.В., Гриньків А.В. Кіберфізичний підхід в дослідження стану технічних систем. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.168-169.*
32. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Інтелектуальні транспортні системи як результат впровадження інноваційних ефективних технологій. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 15-17 квітня 2020 р. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.207.*
33. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О., Кернус Р.О. Необхідність розроблення нової системи організації та управління логістичними потоками. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.236-237.*
34. Ігнатович А. О. Моделі застосування модифікованих блокових шифрів у кіберфізичних системах. Кіберфізичні системи досягнення та виклики : матеріали І Наукового семінару, 25-26 червня 2015 року, Львів. Національний університет "Львівська політехніка". - Львів: НВФ "Українські технології". 2015. С. 144-148.
35. Волков С. Л., Асабашвілі С. Д., Коломієць С. В. Модель оцінки якості життєвого циклу промислових кіберфізичних систем. *Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. 2018, вил. 2 (13). с. 43-49.*
36. Дешко И. П., Кряженков К. Г., Цветков В. Я. Устройства, модели и архитектуры Интернета вещей. М.: Макс Пресс, 2017. 88 с.
37. Internet of Things Global Standards Initiative. ITU. <http://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx>. Доступ 10.04.2017.
38. Barr M. Embedded Systems Glossary Neutrino Technical Library. <https://barrgroup.com/Embedded-Systems/Glossary>. Доступ 10.04.2017.
39. Barr M. Real men program in C. *Embedded Systems Design. Techinsights (United Business Media).P.2.*
40. Дешко И. П., Кряженков К. Г., Цветков В. Я. Системная и программная инженерия: Учебное пособие. – М.: Макс Пресс, 2018. 80 с.
41. Nieuwdorp E. The pervasive discource. *Computers in Entertainment*, 2007.5 (2): 13.
42. Hansmann U. et al. *Pervasive Computing: The Mobile World.*Springer, 2003.
43. Greenfield A. *Everyware: the dawning age of ubiquitous computing. New Riders*, 2006. Pp.11-12.
44. Tsvetkov V. Ya. Information Management of Mobile Object. *European Journal of Economic Studies*,

- 2012, Vol.1, № 1, pp.40-44.
45. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management. *European Journal of Economic Studies*. 2012, Vol.2, № 2, pp.140–143.
46. Дешко И. П. Информационное конструирование: Монография. М.: Макс Пресс, 2016. 64 с.

References

1. Holembo V., Bochkarov O. (2017) Pidkhody do pobudovy kontseptualnykh modelei kiberfizychnykh system [Approaches to the construction of conceptual models of cyberphysical systems]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnik". Seriya: Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnologii – Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Series: Computer Science and Information Technology*. - Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House. - Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky, № 864. S. 168-178 [in Ukrainian].
2. Aulin V.V., Hrynkiv A.V., Liashuk O.L., Velykodnyi D.O. (2019) Pryntsypovi osnovy orhanizatsii ta vdoskonalennia systemy tekhnichnoho servisu transportnykh mashyn [Fundamental bases of organization and improvement of the system of technical service of transport machines]. Prospects and trends in the development of structures and technical service of agricultural machines and tools: *zbirnyk tez V Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 28-29 bereznia 2019 r. Zhytomyr: Zhytomyrskiy ahrotekhnichnyi koledzh – a collection of abstracts of the V All-Ukrainian scientific-practical conference, March 28-29, 2019. Zhytomyr: Zhytomyr Agrotechnical College, 2019. S. 245-248 [in Ukrainian].*
3. Cheharin E.E. (2016). Bolshie dannye: bolshie problemy [Big data: big problems]. *Perspektivy nauki i obrazovaniya – Prospects for science and education*. № 3. S. 7-11 [in Russian].
4. Khaitan et al. Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey (2014), *IEEE Systems Journal*, 9(2), pp.1-16 [in English].
5. Jianjun S.et al. (2013). The analysis of traffic control Cyber-physical systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. T. 96. C. 2487-2496 [in English].
6. Van Chunzhi, Yatsyshyn S. P., Lysa O. V., Midyk A.-V. V. (2018) Kiberfizychni systemy ta yikh prohramne zabezpechennia [Cyberphysical systems and their software]. Measuring equipment and metrology: *mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk - interdepartmental scientific and technical collection*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky. Tom 79. № 1. S. 34-38 [in Ukrainian].
7. Meitus V. Yu., Morozova H. I, Taran L. Yu., Kozlova V. P., Maidaniuk N. V. (2019). Kiberfizychni systemy zh osnova intelektualizatsii "Rozumnykh" pidpriemstv [Cyberphysical systems are the basis of intellectualization of "Smart" enterprises]. *Upravliaiushchye systemy y mashyny - Control systems and machines*. №4. S.14-26 [in Ukrainian].
8. Lyovin B.A., Tsvetkov V.Ya. (2018). Kiberfizicheskie sistemy v upravlenii transportom [Cyberphysical systems in transport management]. *MIR TRANSPORTA - WORLD OF TRANSPORT*, tom 16, № 2, S. 138-145 [in Russian].
9. Rozenberg I. N., Tsvetkov V. Ya. (2012). Primenenie multiagentnykh sistem v intellektualnykh logisticheskikh sistemah [Application of multiagent systems in intelligent logistics systems]. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniya - International Journal of Experimental Education*. №6. S. 107-109 [in Russian].
10. Aulin V.V., Hrynkiv A.V. (2017). Teoretychnyi analiz diahnostychnykh parametriv tekhnichnoho stanu system ta ahrehativ zasobiv transportu za dopomohoiu metodiv teorii chutlyvosti [Theoretical analysis of diagnostic parameters of technical condition of systems and units of means of transport by means of methods of the theory of sensitivity]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: tekhnika ta enerhetyka APK - Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: machinery and energy of agro-industrial complex*. Vyp. 262. S. 227-239 [in Ukrainian].
11. Aulin V.V., Hrynkiv A.V. (2018). Metod vyznachennia tendentsii zminy tekhnichnoho stanu zasobiv transportu z vykorystanniam kryteriiv statystychnoi informatyvnosti ta vidnosnoi chutlyvosti [The method of determining trends in the technical condition of vehicles using the criteria of statistical informativeness and relative sensitivity]. *Kramarov readings: zb. tez dopovidei V Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii - collection. abstracts of the V International Scientific and Technical Conference, 22-23 liut. 2018 r., K.: Vydavnychiy tsentr NUBiP Ukrainy, S. 132-135 [in Ukrainian].*
12. Aulin V.V., Pankov A.A. (2017). Evolyutsionnoe vyichislenie zhiznennogo tsikla tehnichestikh sredstv na osnove geneticheskikh algoritmov [Evolutionary calculation of the life cycle of technical means based on genetic algorithms]. *Visnyk inzh. akademii Ukrainy - Bulletin of Eng. Academy of Ukraine*. №2. S.116-119 [in Russian].
13. Aulin V.V., Velykodnyi D.O., Diachenko V.O. (2018). Teoretyko-metodolohichni osnovy pobudovy

- transportno-lohistychnykh system [Theoretical and methodological foundations of construction of transport and logistics systems]. Problems and prospects for the development of road transport: *Materialy VI-oi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii - Proceedings of the VI International Scientific and Practical Internet Conference*, 12-13 kvitnia 2018 roku. Vinnytsia: VNTU, S.9-10 [in Ukrainian].
14. Aulin V.V., Velykodnyi D.O., Diachenko V.O. (2018). Optyimizatsiia i upravlinnia resursamy v transportno-lohistychnii systemi APK [Optimization and management of resources in the transport and logistics system of agro-industrial complex]. *Mizhvuzivnyi zbirnyk "Naukovi notatky" - Interuniversity collection "Scientific Notes"*. Lutsk: Lutskiy NTU, №62. S.8-11 [in Ukrainian].
 15. Aulin V.V., Velykodnyi D.O., Holub D.V., Dchenko V.O. (2019). Pidvyschennia efektyvnosti upravlinnia lohistychnym lantsiuhom postachannia v transportnii systemi [Improving the efficiency of logistics supply chain management in the transport system]. Kramarov readings: *zb. tez dopovidei VI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii - collection. abstracts of the VI International Scientific and Technical Conference*. 21-22 liut. 2019 r., m. Kyiv: NUBiP, S. 195-198 [in Ukrainian].
 16. Aulin V.V., Zhylova I.V., Lysenko S.V. (2018). Mezomekhanika – suchasnyi pidkhid do teorii znoshuvannia [Mesomechanics - a modern approach to the theory of wear]. Improving the reliability of machinery and equipment: *zb. tez dopovidei KhII Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh naukovtsiv - Coll. abstracts of the XII All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists*. Kropyvnytskyi: TsNTU, S. 75-77 [in Ukrainian].
 17. Aulin V.V., Lysenko V.M. (2018). Vyiavlennia zviazku trybotekhnichnykh kharakterystyk materialu detali z yoho temperaturoiu Debaia [Detection of connection of tribotechnical characteristics of material of a detail with its Debye temperature]. Improving the reliability of machinery and equipment: *zb. tez dopovidei KhII Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh naukovtsiv - Coll. abstracts of the XII All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists*. Kropyvnytskyi: TsNTU, S. 7-78 [in Ukrainian].
 18. Aulin V.V., Zamota T.N., Zamota O.N., Grinkiv A.V. (2017). Tehniko-ekonomicheskoe obosnovanie preimuschestva intellektualnoy strategii tehniicheskogo obsluzhivaniya i remonta legkovogo avtomobilya [Feasibility study of the benefits of an intelligent strategy for maintenance and repair of passenger cars]. *Visnyk inzh. akademii Ukrainy - Bulletin of Eng. Academy of Ukraine*. №4. S.50-56 [in Russian].
 19. Aulin V.V., Zamota T. N., Grinkiv A. V., Zamota O. M., Chernay A. E. (2018). Preimuschestva intellektualnoy strategii tehniicheskoy ekspluatatsii s tochki zreniya ekonomicheskoy effektivnosti [Advantages of intelligent strategy of technical operation from the point of view of economic efficiency]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka - Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture*. Vyp. 192. S. 29-40 [in Russian].
 20. Aulin V.V., Velykodnyi D.O. (2018). Metody formuvannia systemy transportno-tekhnologichnoho zabezpechennia v APK [Methods of formation of the system of transport and technological support in the agro-industrial complex]. Transport and logistics: problems and solutions: *zbirnyk naukovykh prats za materialamy VIII-yi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - a collection of scientific papers on the materials of the VIII International Scientific and Practical Conference*, 23-25 travnia 2018r. Odesa: KUPRIIeNKO SV, S. 15-17 [in Ukrainian].
 21. Aulin V.V., Holub D. V., Hrynkiv A.V. (2018). Kontseptualnyi pidkhid doslidzhennia funktsionuvannia transportnykh system [Conceptual approach to the study of the functioning of transport systems]. Perspective directions of development of regional transport and logistics systems: *materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the International scientific-practical conference*, 22-23 travnia 2018 r. Kharkiv: KhNADU, S.14-17 [in Ukrainian].
 22. Aulin V.V., Holub D.V., Hrynkiv A.V. (2017). Udoskonalennia systemy transportnoho obsluhovuvannia pidpriemstv ahropromyslovoho vyrobnytstva [Improving the system of transport services for agro-industrial enterprises]. *Zahalnodержavnyi mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn - National interdepartmental scientific and technical collection. Design, manufacture and operation of agricultural machinery*, Kropyvnytskyi: TsNTU, vyp. 47, ch.II. S. 3-10 [in Ukrainian].
 23. Aulin V., Velykodnyi D., Dyachenko V. (2018). Concept of development and formation of transport-logistic systems in the agroindustrial complex. Modern Management: Logistics and Education. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, P.165-169 [in English].
 24. Aulin V.V., Holub D.V. (2018). Realizatsiia fizyko-informatsiinoho pidkhodu doslidzhennia problemy pidvyschennia nadiinosti ta efektyvnosti funktsionuvannia transportnykh system [Implementation of the physical and information approach to the study of the problem of improving the reliability and efficiency

- of transport systems]. *Vestnik HNADU - Bulletin of KhNADU*, vyip. 81. S.21-28 [in Ukrainian].
25. Aulin V.V., Pankov A.A. (2018). Avtomatizatsiya i informatizatsiya transportnykh sredstv na osnove raspredelennoy sistemy upravleniya s intellektualnyimi mehatronnyimi modulyami [Automation and informatization of vehicles based on a distributed control system with intelligent mechatronic modules]. Innovative technologies for the development and efficiency of road transport: *zbirnyk naukovykh materialiv mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii - a collection of scientific materials of the international scientific-practical Internet conference*, TsNTU m.Kropyvnytskyi, Ukraina, 14-15 lystopada 2018 roku. Kropyvnytskyi. S.97-100 [in Russian].
 26. Aulin V.V., Pankov A.O., Hrynkiv A.V., Holub D.V., Shcheglov A.V. Rozrobka intelektualnoho mekhatronnoho modulia dlia systemy upravlinnia dozuvanniam. *Intehrovani intelektualni robototekhnichni kompleksy (IIRTK-2019): zbirnyk tez Dvanadtsiatoi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*, 21-22 travnia 2019 roku, Kyiv, Ukraina. K.: NAU, 2019. S.173-175 [in Ukrainian].
 27. Aulin V.V., Pankov A.O., Zamota T.M., Lyashuk O.L., Hrynkiv A.V., Tykhyi A.A., Kuzyk A.V. (2019). Development of mechatronic module for the seeding control system. *INMATEH – Agricultural Engineering*, vol. 59, no.3. P. 181-188 [in English].
 28. Aulin V., Pavlenko O., Velikodnyy D., Kalinichenko O., Hrynkiv A., Diychenko V., Dzyura V. (2019). Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference*, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine. C.120-134 [in English].
 29. Aulin V.V., Holub D.V. (2019). Zabezpechennia efektyvnosti funktsionuvannia transportnykh system shliakhom pidvyshchennia nadiinosti strukturno-funktsionalnykh rezervnykh skhem protsesu dostavky [Ensuring the efficiency of transport systems by increasing the reliability of structural and functional backup schemes of the delivery process]. *Science - production 2019: zb. tez dopovidei vykladachiv, aspirantiv ta spivrobitynykiv L naukovo konferentsii - coll. abstracts of reports of teachers, graduate students and staff of the L scientific conference*, 18 kvitnia 2019 roku. Kropyvnytskyi: TsNTU, S. 17-20 [in Ukrainian].
 30. Aulin V.V., Holub D.V., Bilichenko V.V., Zamurenko A.S. (2020). Pryntsypy samoorganizatsii avtomobilnykh transportnykh system [Principles of self-organization of automobile transport systems]. Problems and prospects for the development of road transport: *materialy VIII-oi mizhn. nauk.-praktychnoi internet-konf. - materials of the VIII International scientific-practical Internet conference*, 14-15 kvitnia 2020 roku, VNTU, S.17-19 [in Ukrainian].
 31. Aulin V.V., Hrynkiv A.V. (2020). Kiberfizychnyi pidkhid v doslidzhennia stanu tekhnichnykh system [Cyberphysical approach to the study of technical systems]. Increase of Machine and Equipment Reliability: *materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the International scientific-practical conference*, 15-17 kvitnia 2020 r. Kropyvnytskyi: TsNTU, S.168-169 [in Ukrainian].
 32. Aulin V.V., Hrynkiv A.V., Holovatyi A.O. (2020). Intelektualni transportni systemy yak rezultat vprovadzhennia innovatsiinykh efektyvnykh tekhnolohii [Intelligent transport systems as a result of the introduction of innovative efficient technologies]. Increase of Machine and Equipment Reliability: *materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the International scientific-practical conference*, 15-17 kvitnia 2020 r. – Kropyvnytskyi: TsNTU, S.207[in Ukrainian].
 33. Aulin V.V., Hrynkiv A.V., Holovatyi A.O., Kernus R.O. (2020). Neobkhdnist rozroblennia novoi systemy orhanizatsii ta upravlinnia lohistrychnymy potokamy [The need to develop a new system of organization and management of logistics flows]. Increase of Machine and Equipment Reliability: *materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the International scientific-practical conference*, 15-17 kvitnia 2020 r. Kropyvnytskyi: TsNTU, S.236-237 [in Ukrainian].
 34. Ignatovych A.O. (2015). Modeli zastosuvannia modyfikovanykh blokovykh shyfriv u kiberfizychnykh systemakh [Models of application of modified block ciphers in cyberphysical systems]. Cyberphysical Systems of Achievement and Challenges: *materialy I Naukovoho seminaru - Proceedings of the First Scientific Seminar*, 25-26 chervnia 2015 roku, Lviv. Natsionalnyi universytet "Lvivska politekhnika". - Lviv: NVF "Ukrainski tekhnolohii". S. 144-148 [in Ukrainian].
 35. Volkov S.L., Asabashvili S.D., Kolomiets S.V. (2018). Model otsinky yakosti zhyttievoho tsykladu promyslovykh kiberfizychnykh system [Model of life cycle quality assessment of industrial cyberphysical systems]. *Zbirnyk naukovykh prats Odeskoi derzhavnoi akademii tekhnichnoho rehuliuвання ta yakosti - Collection of scientific works of the Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality*. vyl. 2 (13). S. 43-49 [in Ukrainian].
 36. Deshko I. P., Kryazhenkov K. G., Tsvetkov V. Ya. (2017). *Ustroystva, modeli i arhitekturyi Interneta veshey [Devices, models and architectures of the Internet of Things]*. M.: Maks Press, 88 s [in Russian].
 37. Internet of Things Global Standards Initiative. ITU. <http://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx>. Дочурн 10.04.2017 [in English].

38. Barr M. (2017). Embedded Systems Glossary Neutrino Technical Library. <https://barrgroup.com/Embedded-Systems/Glossary>. Доступ 10.04.2017 [in English].
39. Barr M. Real men program in C. Embedded Systems Design. Techinsights (United Business Media).P.2 [in English].
40. Deshko I. P., Kryazhenkov K. G., Tsvetkov V. Ya. (2018). Sistemnaya i programmaya inzheneriya: Uchebnoe posobie. – M.: Maks Press, 80 s [in English].
41. Nieuwdorp E. (2007). The pervasive discourse. *Computers in Entertainment*, 2007.5 (2): 13 [in English].
42. Hansmann U. et al. (2003). Pervasive Computing: The Mobile World.Springer [in English].
43. Greenfield A. (2006). Everywhere: the dawning age of ubiquitous computing. *New Riders*, Pp.11-12 [in English].
44. Tsvetkov V. Ya. (2012). Information Management of Mobile Object. *European Journal of Economic Studies*, Vol.1, № 1, pp.40-44 [in English].
45. Tsvetkov V. Ya. (2012). Multipurpose Management. *European Journal of Economic Studies*. 2012, Vol.2, № 2, pp.140-143 [in English].
46. Deshko I.P. (2016). Informatsionnoe konstruirovanie: Monografiya. M.: Maks Press, 64 s [in English].

Viktor Aulin, Prof., Dr. tech. sci., **Andrey Grinkiv**, Senior Researcher, PhD tech. sci., **Artem Holovaty**, post-graduate

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Cyberphysical Approach to the Creation, Operation and Improvement of Transport and Production Systems

The content of the cyberphysical approach to the creation, functioning and improvement of transport and production systems is analyzed. It was found out how, on the basis of the approach, cyberphysical transport and production systems are created as the integration of special technologies of the Internet of Things; embedded systems; ubiquitous and cloud computing.

It was revealed that cyberphysical transport and production systems have a trinitarian concept and are defined by three entities: communication, computation and control, which unites information. It is determined that the main functions of cyberphysical transport and production systems are: information processing, intelligent communications, performance and process control.

A component model of such a system has been built, which includes two groups of components - evolutionary and technological. The evolutionary group of components includes subsystems: digital; integrated; robotic, intelligent distributed. These components are a kind of basis for the presence of prerequisites for the creation of transport and production systems.

It is noted that the technology group of components is the basis for concrete implementations of the Internet of Things, embedded systems and ubiquitous and cloud computing.

A cyberphysical system of technical service is proposed as a specific implementation of cyberphysical transport and production systems. It was determined that the modes of the proposed functional cyber system are: high adaptability; an appropriate level of efficiency; intelligence of management; high level of reliability; the use of a new on-net online simulation type; using a new type of self-verifying models; internal online optimization, etc.

It is shown that the presence of intelligent models in the cyberphysical model of technical service makes the system resistant to cyberattacks and increases the degree of safety when ensuring traffic in transport and the development of an occupational safety system during maintenance and repair operations.

cyberphysical approach, transport and production system, component model, technical service

Одержано (Received) 25.09.2020

Прорецензовано (Reviewed) 08.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 656.132

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).344-350](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).344-350)**Є.М. Шапенко**, канд. техн. наук*Національний транспортний університет, м. Київ, Україна**e-mail: e.shapenko@i.ua*

Психофізіологічні особливості роботи водіїв автобусів в містах

Стаття присвячена аналізу факторів, що безпосередньо впливають на напруженість роботи водіїв міських автобусів. Найбільшу частку серед всіх видів перевезень займають автобусні перевезення. Організація перевезень пасажирів повинна забезпечувати найменший час поїздки пасажирів, регулярність руху транспортних засобів на всьому шляху прямування, раціональне використання рухомого складу, безпеку й високу культуру обслуговування пасажирів з прийнятними витратами. Очевидно, що в такому місті як Київ, маршрути дуже різняться за складністю та напруженістю роботи водія.

автобусні перевезення, міський автобусний маршрут, міський пасажирський транспорт, напруженість роботи водія

Е.М. Шапенко, канд. техн. наук*Національний транспортний університет, г. Киев, Украина*

Психофизиологические особенности работы водителей автобусов в городах

Статья посвящена анализу факторов, которые непосредственно влияют на напряженность работы водителей городских автобусов. Наибольшую долю среди всех видов перевозок занимают автобусные перевозки. Организация перевозок пассажиров должна обеспечивать наименьшее время поездки пассажиров, регулярность движения на всем пути следования, рациональное использование подвижного состава, безопасность и высокую культуру обслуживания пассажиров с приемлемыми затратами. Очевидно, что в таком городе как Киев, маршруты очень различаются по сложности и напряженности работы водителя.

автобусные перевозки, городской автобусный маршрут, городской пассажирский транспорт, напряженность работы водителя

Постановка проблеми. Погіршення якості транспортного обслуговування мешканців міст та умов роботи водіїв є глобальною проблемою для країни. Робота водія автобуса складається з цілої низки задач, обов'язків та відповідальності, включаючи необхідну майстерність, знання, надійність, здатність протистояти стресовим ситуаціям, а також здатність планувати, контролювати та координувати стан навколишнього середовища, в якому протікає робочий процес тощо. Необхідно відзначити, що міські автобусні маршрути в одному місті розрізняються за складністю. Відомі методики не забезпечують рівних умов роботи водіїв. Отже, постає необхідність проаналізувати психофізичні особливості роботи водіїв міських автобусів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам технології та організації перевезень в містах присвячені праці Ігнатенка О.С., Муна Е.Е., Спіріна І.В., Штанова В.Ф. та інших авторів [1 – 6]. В роботах наведені методи і технології міських пасажирських перевезень та методики удосконалення рівня транспортного обслуговування населення.

Проведені раніше дослідження вказують на необхідність встановлення раціонального режиму роботи водіїв, що має забезпечувати високу продуктивність

праці, безпеку перевезень пасажирів з прийнятними витратами. Виконаний аналіз досліджень методів раціональної організації міських автобусних перевезень визначив перелік рекомендацій з планування режимів праці та відпочинку водіїв міських автобусів [7]. Однак постає проблема врахування психофізіологічних особливостей роботи водія на маршруті.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз психофізіологічних особливостей роботи водіїв міського пасажирського транспорту для врахування людського фактору в транспортному процесі.

Виклад основного матеріалу. Автомобілізація міст призвела до вичерпання перевізних можливостей транспорту загального користування закладених в планувальних рішеннях міста. Наслідком цього процесу є погіршення якості транспортного обслуговування мешканців міст та умов роботи водіїв. Ця проблема є глобальною для країни, оскільки найбільшу частку серед всіх видів перевезень (70%) займають автобусні перевезення. Планування робочого дня водія має велике значення для підвищення надійності їх роботи і передбачає розроблення раціональних режимів праці і відпочинку [7].

Водій є найбільш значущою ланкою в енергетичній системі «водій – автомобіль – дорога – середовище». Від його дій на 70 – 80 % залежить надійність роботи цієї системи [8, 9].

При управлінні на міських автобусних маршрутах, водієві важливо зберігати тривалий час врівноважений психічний стан, при якому найбільш швидко і якісно протікає весь процес від сприйняття інформації до здійснення відповідних дій в постійно мінливих дорожньо-транспортних ситуаціях. Відхилення в той чи інший бік від врівноваженого психічного стану (збудження чи, навпаки, депресія) ускладнюють процес сприйняття і переробки інформації і тим самим збільшують ймовірність помилкових дій водія. Саме тому психічні особливості водія мають велике значення для продуктивної та безаварійної роботи.

Для правильного розуміння індивідуально-психологічних особливостей водія недостатньо тільки вивчення окремих психічних процесів, необхідне знання психічних властивостей, які характеризують людину як особистість. Адже особистість складається з великого різноманіття якостей, взаємопов'язаних між собою.

Це – здібності, інтереси, темперамент, характер, схильності, ставлення до своєї професії і іншим видам діяльності, до громадської роботи, тощо. Особистісні якості водія багато в чому визначають його професійні якості, що підтверджується виразом "Людина керує автомобілем так, як вона живе" [11].

Великою розбіжністю характеризуються траси, по яким проходять маршрути. Для багатьох маршрутів, що обслуговують центральні райони міста, характерна висока густина світлофорного регулювання, наявність великої кількості перехресть, висока щільність транспортного потоку. В той же час маршрути, що обслуговують житлові райони міста, відрізняються більш вільним рухом транспортних засобів.

Під складністю руху на маршруті слід розуміти сукупність дії факторів, які відображають параметри маршруту, що обслуговується, транспортні умови експлуатації і суттєво впливають на режими роботи рухомого складу і напруженість праці водія автобусу.

Аналіз досліджень засвідчив про виконання фундаментальних розробок в напрямках обстеження пасажиропотоків, формування транспортної і маршрутної систем, організації та управлінню перевезень. Однак, питанню раціонального використання роботи водіїв приділено недостатньо уваги. Раніше науковцями було встановлено теоретичні та методологічні основи організації роботи міського

пасажирського транспорту, однак, не було враховано різницю у величині напруженості роботи водіїв в залежності від складності маршруту.

Раніше жодним чином складність маршруту не визначалась та не враховувалась взагалі. У зв'язку з цим, роль людського фактору у транспортному процесі, незалежно від виду транспорту, набуває ще більшого значення.

Внаслідок цього, виникає необхідність у аналізі встановлених трудовим законодавством норм тривалості робочого дня, перерв протягом робочого дня для відпочинку й прийому їжі.

Запропонована методика розподілу за категоріями маршрутів у залежності від величини напруженості роботи водія [12] забезпечує певні інтервали (табл. 1).

Таблиця 1 – Розподіл за категоріями міських автобусних маршрутів

Категорії	Інтервали	№ маршруту
I	0 – 0,46	49
II	0,47 – 0,92	566,539,599,526,238,18,201
III	0,93 – 1,38	439
IV	1,39 – 1,84	–
V	1,85 – 2,30	527

Для дослідження взаємозв'язку величини складності міського автобусного маршруту і величини енерговитрат водія були виконані розрахунки, результати яких представлені на рисунку 1.

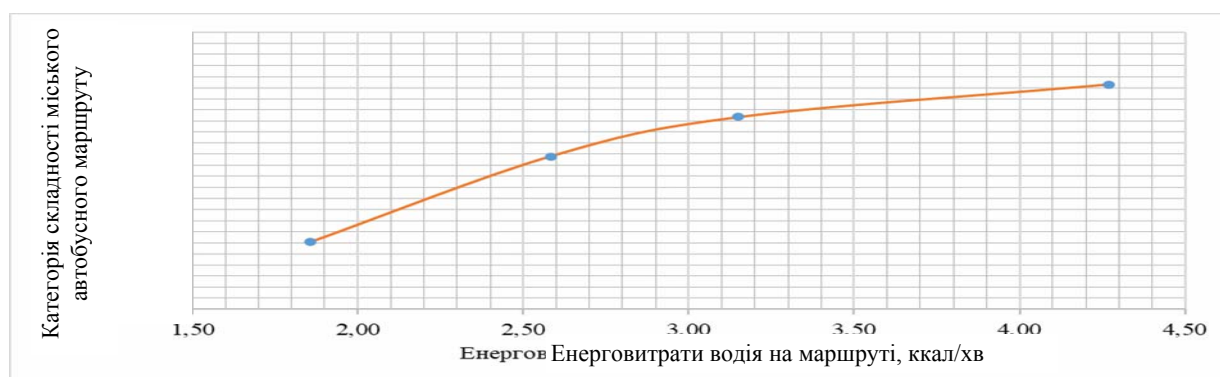


Рисунок 1 – Залежність величини енерговитрат водія від категорії складності міського автобусного маршруту

Джерело: розроблено автором

Від свідомості водія, від його вміння керувати психічним станом залежить, наскільки він зможе використовувати цю властивість для полегшення своєї праці.

Разом з цим важливу роль відіграє здатність водія до прогнозування подальшого розвитку дорожньо-транспортної ситуації. І чим більшою здатністю до передбачення володіє водій, тим менше ймовірність його потрапляння в аварійну ситуацію.

Дуже велике значення в діяльності водія, що визначає в багатьох випадках правильність і точність його дій, має його емоційний стан.

Як показує аналіз дорожньо-транспортних подій, безпека руху залежить від надійності водія і в значній мірі визначається його оперативними якостями [13].

Велика кількість досліджень спрямована на вивчення впливу втоми на поведінку водіїв і виникнення ризику аварії. Рядом дослідників зазначено, що напруженість роботи водіїв є важливою проблемою в області безпеки дорожнього руху. Ці дослідження підкреслили, що на напруженість роботи водіїв впливають:

- час доби, в який працює водій;
- тривалість робочої зміни;
- порушення сну тощо.

Керування транспортним засобом у складній дорожній обстановці вимагає від водія постійного пристосування, що досягається за рахунок активізації регуляторних механізмів його організму. При цьому збільшується навантаження на організм водія. Внаслідок цього, при організації праці водіїв необхідно неухильно дотримуватися встановленого нормованого режиму праці та відпочинку, правильного чергування ранкових, денних і вечірніх змін роботи, не допускати фізичної перевтоми водіїв через понаднормові роботи [10].

Особливістю роботи водіїв автобусів є наявність понаднормових робіт і велика питома вага часу безпосереднього керування автомобілем по відношенню до загальної тривалості робочої зміни – в середньому 9 + 1,4 ч. З усіх водіїв, які працюють на транспорті, найбільше навантаження для нервової системи мають водії міського пасажирського транспорту [7].

Ефективне функціонування системи напіваавтоматичного управління можливе лише за умови злагодженої роботи її обох ланок – людини і машини. Під злагодженою роботою можна мати на увазі працездатність оператора, однак вона не є постійною величиною, а зміна функціонального стану людини може знизити його надійність і привести систему до повного розбалансування. У зв'язку з цим виникає необхідність постійного контролю над станом оператора [7].

Допустима тривалість робочої зміни визначається тим моментом часу, коли відбувається значне погіршення досліджуваних показників у порівнянні з тими, які були на початку фази стійкої працездатності операторів [9, 14]. За рекомендаціями фізіологів час роботи має визначатися її інтенсивністю. Одні пропонують визначати тривалість робочої зміни виходячи з нормального числа робочих годин водія в даному місяці, їх кількості в бригаді, загальної кількості робочих змін на закріплених транспортних засобах, інші – на основі місячного балансу робочого часу – не більше 178 годин або від 155-185 годин для семигодинного робочого дня, треті – на основі тривалості робочого часу водіїв за тиждень – 40 годин [15] або 41 годину [16, 17]. При понаднормових роботах тривалість робочого тижня не повинна перевищувати 48 годин [15]. Крім того, дослідниками наголошується, що час перебування водія за кермом не повинен перевищувати 7 – 8 годин на добу, через кожні 2 години мають надаватися перерви в роботі тривалістю 15 хвилин. Це правило поширюється на водіїв автомобілів вантажопідйомністю більше 3,5 т та автобусів місткістю більше 9 осіб, включаючи водія.

Підтримка на необхідному рівні стан людино-машинної системи можливо за рахунок постійного контролю над її ланками [7]. Контролювати стан людини можливо за допомогою оцінки функціонального стану його організму.

Розроблена методика режимів праці і відпочинку водіїв [12] дозволяє проектувати графіки режиму праці і відпочинку водія на автобусних маршрутах (рис. 2 – 3) на основі вивчення зміни функціонального стану організму людини в процесі діяльності з урахуванням регламентованих перерв.

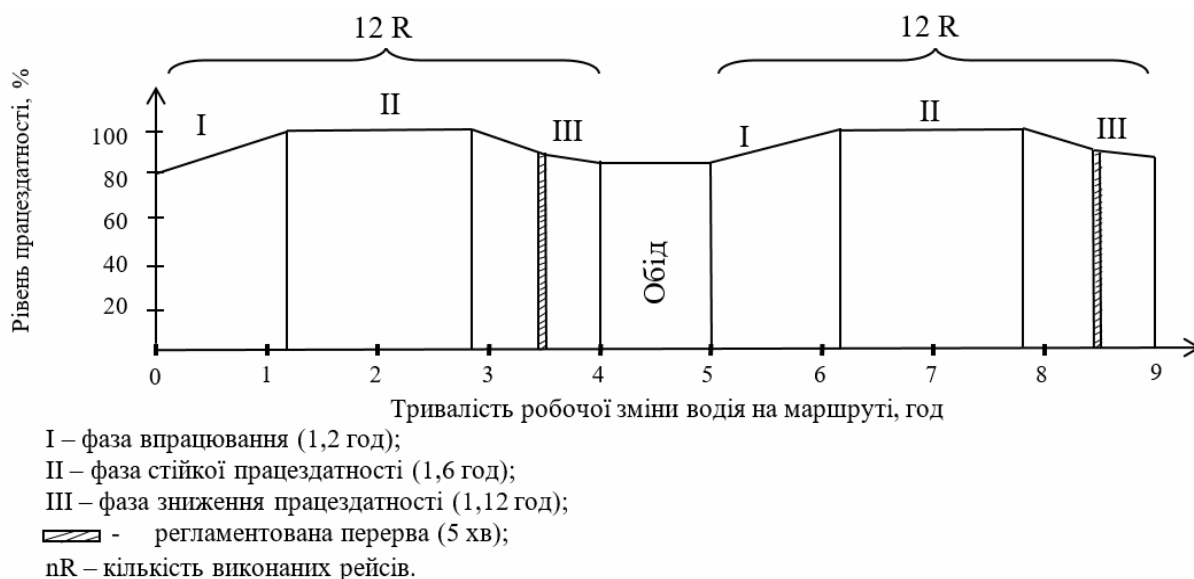


Рисунок 2 – Графік режиму роботи і відпочинку водія на автобусному маршруті № 49
 Джерело: розроблено автором

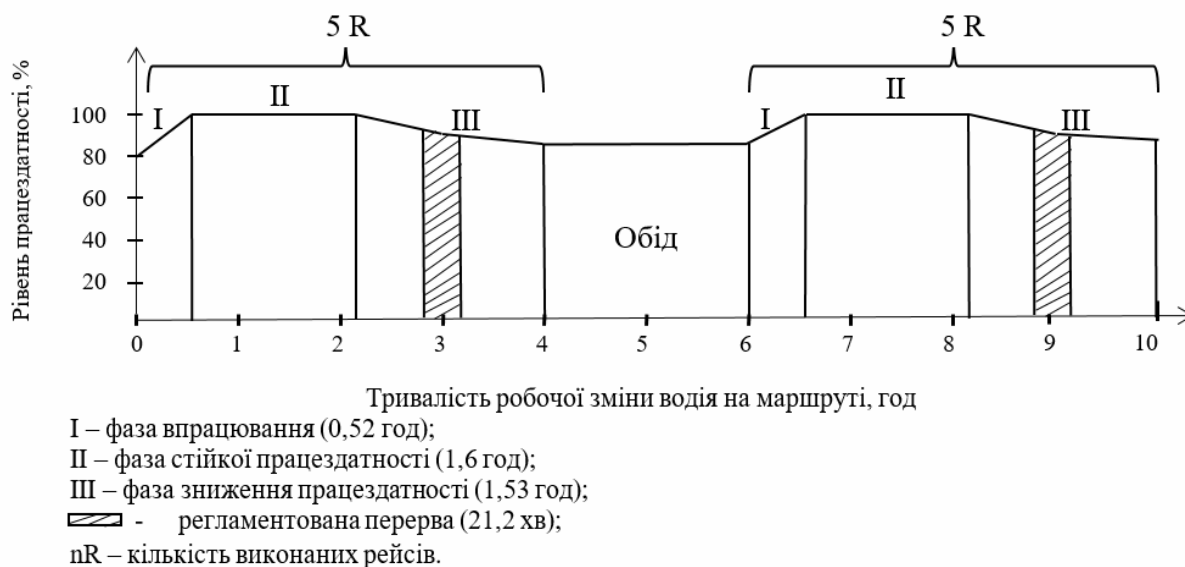


Рисунок 3 – Графік режиму роботи і відпочинку водія на автобусному маршруті № 527
 Джерело: розроблено автором

Висновки. Таким чином, раніше виконані дослідження визначили рекомендації з планування режимів праці та відпочинку водіїв. Однак вони не враховують напруженість роботи водія на маршруті, яка істотним чином впливає на ефективність роботи водія та якість обслуговування пасажирів. Також, питанню раціонального використання роботи водіїв приділено недостатньо уваги. Раніше науковцями було встановлено теоретичні та методологічні основи організації роботи міського пасажирського транспорту, однак, не було враховано різницю у величині напруженості роботи водіїв в залежності від складності маршруту.

Список літератури

1. Игнатенко А.С. Управление качеством таксомоторных пассажирских перевозок. Москва: Транспорт, 1988. 127 с.
2. Мун Э.Е., Рубец Д.А. Организация перевозок пассажиров маршрутными такси. Москва: Транспорт, 1986. 136 с.
3. Спирин И.В. Городские автобусные перевозки: справочник. Москва: Транспорт, 1991. 237 с.
4. Спирин И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками. Москва: Академия, 2003. 400 с.
5. Коцюк А.Я., Штанов В.Ф. Совершенствование организации управления перевозочным процессом на пассажирском. Киев: Знание, 1991. 20 с.
6. Ищенко В.И., Поберезкин Г.А., Штанов В.Ф. Организация перевозок пассажиров автомобильным транспортом. Киев: Техника, 1988. 94 с.
7. Таранов А.Т. Перевозка пассажиров автомобильным транспортом. Изд. 2-е перераб. и дополн. Москва: Транспорт. 1972, 316 с.
8. Гюлев, Н.У. Особливості ергономіки та психофізіології в діяльності водія. Х.: ХНАМГ, 2012. 185 с.
9. Гаврилов Э.В. Эргономика на автомобильном транспорте. К.: Техника, 1976. 152 с.
10. Ищенко В.И., Поберезкин Г.А., Штанов В.Ф. Организация перевозок пассажиров автомобильным транспортом. Киев: Техника, 1988. 94 с.
11. Коноплянко В. И. Основы безопасности дорожного движения. Москва: Издательство ДОСААФ, 1978. 128 с.
12. Шапенко Є. М. Удосконалення методів раціональної організації роботи водіїв міського пасажирського транспорту : дис. канд. техн. наук : 05.22.01 / Шапенко Євгенія Миколаївна . Київ, 2019. 189 с.
13. Дмитриченко М.Ф., Лановий О.Т., Поліщук В.П. Системологія на транспорті. Ергономіка (Книга V). Київ: Знання України, 2008. 267 с.
14. Вайнштюк М.А., Лигум Ю.С., Рева В.М., Сотников В.Е. Управление пассажирским автотранспортом: Справочное пособие. Киев: Техника, 1985. 167 с.
15. Зинченко В.П. Введение в эргономику. Москва: Советское радио, 1974. 352 с.
16. Афанасьев Л.Л., Воркут А.И., Дьяков А.Б. Пасажирські автомобільні перевезення. Москва: Транспорт, 1986. 220 с.
17. Рыженко Л. И. Оценка качества обслуживания пассажиров городским транспортом. Совершенствование организации и управления перевозочным процессом на пассажирском автомобильном транспорте. Москва: НИИАТ, 1988. С. 65–75.

References

1. Yhnatenko, A.S. (1988). *Upravlenye kachestvom taksomotornykh passazhyrskyykh perevozk* [Taxi passenger transportation quality management]. Moskva: Transport [in Russian].
2. Mun, E.E. & Rubets, D.A. (1986). *Orhanyzatsyya perevozk passazhyrov marshrutnyy taksy* [Organization of passenger transportation by fixed-route taxis]. Moskva: Transport [in Russian].
3. Spyrin, Y.V. (1991). *Horodskyye avtobusnyye perevozky* [City bus transportation]. Moskva: Transport [in Russian].
4. Spyrin, Y.V. (2003). *Orhanyzatsyya y upravlenye passazhyrskyy avtomobil'nyy perevozkamy* [Organization and management of passenger road transport]. Moskva: Akademyya [in Russian].
5. Kotsyuk, A.Ya. & Shtanov, V.F. (1991). *Sovershenstvovanye orhanyzatsyy upravlenyya perevozochnym protsessom na passazhyrskom*. [Improving the organization of management of the transportation process on the passenger]. Kyev: Znanye [in Russian].
6. Yshchenko, V.Y., Poberezky, H.A. & Shtanov, V.F. (1988). *Orhanyzatsyya perevozk passazhyrov avtomobil'nyy transportom* [Organization of passenger transportation by road]. Kyev: Tekhnyka [in Russian].
7. Taranov A.T. (1972). *Carriage of passengers by road*. (2-d ed.). Moskva: Transport [in Russian].
8. Hyulyev, N.U. (2012). *Osoblyvosti erhonomiky ta psykhofiziolohiyi v diyal'nosti vodiya* [Features of ergonomics and psychophysiology in the driver's activity]. Kh.: KhNAMH [in Ukrainian].
9. Gavrilov, Je.V. (1976). *Jergonomika na avtomobil'nom transporte* [Ergonomics in road transport]. Kiev: Tehnika [in Russian].

10. Yshchenko, V.Y., Poberezkyn, H.A. & Shtanov, V.F. (1988). *Orhanyzatsyya perevozok passazhyrov avtomobil'nyim transportom [Organization of passenger transportation by road]*. Kyev: Tekhnyka [in Russian].
11. Konoplyanko, V.Y. (1978). *Osnovy bezopasnosti dorozhnoho dvyzhenyia [Road Safety Fundamentals]*. Moskva: Yzdatel'stvo DOSAAF [in Russian].
12. Shapenko, E. (2019). Improvement of methods of rational organization of work of drivers of city passenger transport [Improving methods of rational organization of work of drivers of urban passenger transport]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
13. Dmytrychenko, M.F., Lanovyy, O.T. & Polishchuk, V.P. (2008). *Systemolohiia na transporti. Erhonomika [Systemology in transport. Ergonomics]*. (Book V). Kyiv: Znannia Ukrainy [in Ukrainian].
14. Vaynshtyuk, M.A., Lyhum, Yu.S., Reva, V.M. & Sotnykov, V.E. (1985). *Upravlyenye passazhyrskym avtotransportom [Passenger vehicle management]*. Kyev: Tekhnyka [in Russian].
15. Zinchenko, V.P. (1974). *Vvedenie v jergonomiku [Introduction to Ergonomics]*. Moskva: Sovetskoe radio [in Russian].
16. Afanas'ev, L.L., Vorkut, A.Y. & D'yakov, A.B. (1986). *Pasazhyr'ski avtomobil'ni perevezennya [Passenger road transport]*. Moskva: Transport [in Ukrainian].
17. Ryzhenko, L.Y. (1988). *Otsenka kachestva obsluzhyvaniya passazhyrov horodskym transportom. Sovershenstvovanye orhanyzatsyy y upravlyeniya perevozochnym protsessom na passazhyrskom avtomobil'nom transporte [Assessment of the quality of public transport services to passengers. Improving the organization and management of the transportation process in passenger road transport]*. Moskva: NYYAT [in Russian].

Yevheniia Shapenko, Phd tech. sci.

National Transport University, Kyiv, Ukraine

Psychophysiological Features of Bus Drivers in Cities

The aim of the article is to analyze the psychophysiological features of the work of drivers of urban passenger transport to take into account the human factor in the transport process.

The performed analysis of researches of methods of rational organization of city bus transportations has defined the list of recommendations on planning of modes of work and rest of drivers of city buses. However, they do not take into account the intensity of the driver's work on the route. The driver's activity is one of the most intense and responsible types of work. It is associated with great nervous and emotional stress, requires constant stability and concentration, as well as quite high energy expenditure. Because of this, the issue of rationing and distribution of time in trucking companies is an important factor that is designed to actively influence the quality of the driver's work.

It is established that such factors as fatigue, working conditions, physical environmental factors, biomechanical and physiological factors are important for ensuring the efficiency of the driver's activity. Thus, the rationalization of labor activity, creating the necessary prerequisites for maintaining the health and development of the employee's personality, will achieve a significant increase in efficiency and reliability of human activity. When organizing the work of city bus drivers, the psychophysiological features of their work are not taken into account at all. As a result, the role of the human factor in the transport process, regardless of the mode of transport, is even more important. As a result, there is a need to analyze the norms of the length of the working day established by the labor legislation, breaks during the working day for rest and meals.

bus transportation, city bus route, city passenger transport, driver work intensity

Одержано (Received) 02.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 16.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 629.5

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).351-357](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).351-357)**О.А. Даки**, доц., д-р техн. наук*Державний університет інфраструктури та технологій, м.Київ, Україна**e-mail: daki-olena@ukr.net*

Автоматизація процесів технічного обслуговування та ремонту річкових суден з використанням методів виробничої логістики

У статті розглянуто роль виробничої логістики у рішенні завдання технічного обслуговування та ремонту суден. Розроблено моделі автоматизації процесів технічного обслуговування та ремонту річкових суден з використанням методів виробничої логістики. Комплексна автоматизація виробничих процесів веде до підвищення ефективності діяльності підприємства, особливо це позначається на етапі планування і визначення потреб у матеріалах, вузлах, агрегатах як власного виробництва, так і покупних. **автоматизація виробництва, виробничий процес, водний транспорт, логістика, ремонт та технічне обслуговування**

Е.А. Даки, доц., д-р техн. наук*Государственный университет инфраструктуры и технологий, г.Киев, Украина*

Автоматизация процессов технического обслуживания и ремонта речных судов с использованием методов производственной логистики

В статье рассматривается роль производственной логистики в решении задания технического обслуживания и ремонта судов. Разработаны модели автоматизации процессов технического обслуживания и ремонта речных судов с использованием методов производственной логистики. Комплексная автоматизация производственных процессов ведет к повышению эффективности деятельности предприятия, особенно это отображается на этапе планирования и определения потребностей в материалах, узлах, агрегатах как собственного производства, так и покупных. **автоматизация производства, производний процес, водний транспорт, логістика, ремонт та технічне обслуговування**

Постановка проблеми. Розвиток промислового виробництва, ріст платоспроможності транспортних компаній і підвищення їх вимог до рівня обслуговування на судноремонтних заводах, скорочення часу виходу на ринок інноваційних товарів, глобалізація ринків збуту викликали необхідність удосконалення методологій і технологій управління сучасним суднобудівним (судноремонтним) підприємством. Тому сучасний менеджмент зіткнувся з проблемою систематизації існуючих методів і підходів до управління підприємством, а також потребою прискорення прийняття та реалізації стратегічних і оперативних управлінських рішень. Дана ситуація обумовила потребу в розробці відповідних норм і стандартів управління, зокрема, в галузі інформаційних систем і технологій. Одним зі стандартів у цій сфері став глобальний стандарт планування потреб у матеріалах – MRP (Material Requirements Planning), що знайшов своє продовження в стандартах: планування виробничих ресурсів – MRP II (Manufacturing Resources Planning) і планування ресурсів підприємства – ERP (Enterprise Resources Planning).

Вони і лягли в основу сучасних систем автоматизації управління підприємством (САУП), що у свою чергу стали невід'ємною частиною систем управління суб'єктів господарювання.

Тому основні завдання будь-якого сучасного підприємства в цій сфері полягають у створенні інформаційної мережі для управління корпоративними внутрішніми знаннями і підвищення ефективності роботи і, як наслідок, задоволення вимог споживачів і одержання максимального ефекту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження, що представлені в статті, ґрунтуються на роботах вітчизняних та закордонних дослідників. Умовно поділимо їх на три групи:

- до першої групи відносяться роботи з питань організації технічної експлуатації флоту та судноремонту [1–3];
- до другої (найбільш численної) групи необхідно віднести роботи з логістики взагалі і промислової логістики зокрема [4–7];
- до третьої групи віднесемо роботи з менеджменту (виробничого менеджменту та організації виробництва) [8–12].

Постановка завдання. Метою статті є розробка моделей автоматизації процесів технічного обслуговування та ремонту річкових суден з використанням методів виробничої логістики.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ефективність використання транспортних суден залежить від прийнятої системи їх технічної експлуатації (ТЕ) і ремонту. Систему ТЕ і ремонту (ТЕ і Р) суден можна визначити як комплекс взаємозалежних положень і норм, що встановлюють принципи організації, планування і управління ТЕ і Р, структуру виробничої бази технічної експлуатації флоту (ТЕФ), стратегію ТЕ і Р, включаючи вибір номенклатури, періодичності та обсягів робіт і термінів їх виконання [2].

В основу прийнятої на флоті системи ТЕ і Р закладені принципи планово-попереджувального ТЕ і Р, що в основному зводяться до наступного:

- планово-попереджувальний ТЕ і Р передбачають проведення робіт для забезпечення справного технічного стану суден і їх елементів на майбутній період до чергового планового ремонту;
- заводський ремонт суден виконується через заздалегідь плановані, в основному рівні проміжки часу (міжремонтні періоди);
- крім періодичних заводських ремонтів, передбачається ТЕ, при якому, поряд із планово-попереджувальними заходами, проведеними за визначеним регламентом, відновлюють або замінюють елементи, що передчасно зношуються, і усувають ушкодження і несправності технічних засобів без виводу суден з експлуатації.

Цільова функція системи ТЕ і Р полягає в забезпеченні справного технічного стану суден при мінімальній середньорічній тривалості ремонту. Система ТЕ і Р характеризується показниками, що відображають її цільову функцію. Такими показниками є середньорічні величини тривалості і трудомісткості ТЕ і Р. Середньорічна тривалість ремонту - це середньорічний час виводу суден з експлуатації на ремонт за експлуатаційно-ремонтний цикл або інший період, що перевищує його величину. Цей показник найповніше відбиває цільову функцію системи. Середньорічна трудомісткість ТЕ і Р – це середній по судну (серії суден, флоту) рівень працевтрат на підтримку і відновлення справного стану за визначений період часу [1].

Цей показник має першорядне значення для рішення багатьох практичних задач ТЕФ.

Основними елементами системи є (рисунки 1):

- види ТЕ і ремонту;
- схеми ТЕ і ремонту;
- зміст, періодичність і обсяг робіт;

- експлуатаційно-ремонтні цикли суден;
- організація управління і планування ТЕ і Р;
- структура виробничої бази ТЕФ.

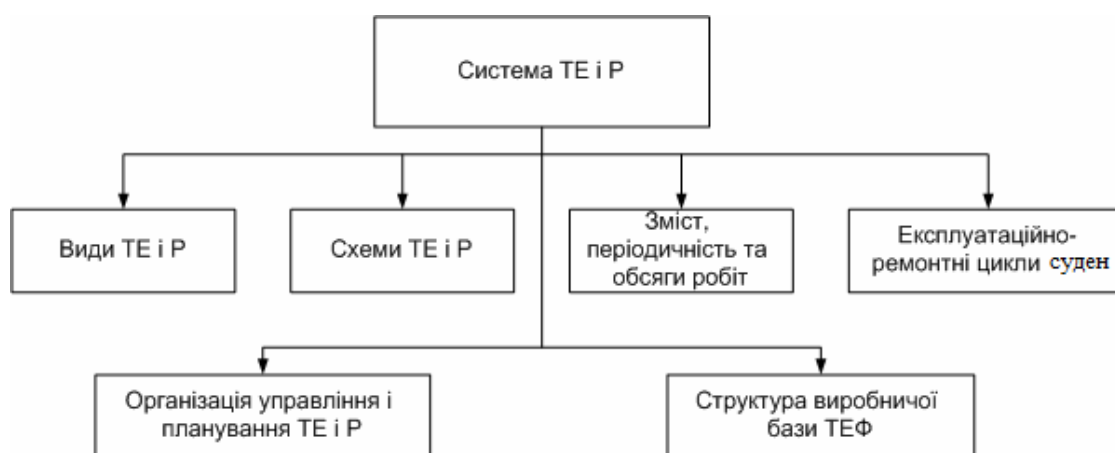


Рисунок 1 – Основні елементи системи ТЕ і Р річкових суден

Джерело: [8]

Розглянемо види технічного обслуговування і ремонту.

Весь комплекс робіт, виконуваних для підтримки і відновлення працездатності (справності) суден, можна класифікувати за [2]:

- умовами виконання;
- причинами виникнення;
- виконавцями.

В залежності від умов виконання весь комплекс робіт поділяється на роботи, що виконуються в процесі експлуатації (ТЕ) і під час виводу судна з експлуатації (ремонт). ТЕ визначається як комплекс робіт для підтримки справності або тільки працездатності виробів під час підготовки і використання за призначенням, під час збереження і транспортування. Ремонт визначається як комплекс робіт для підтримки і відновлення справності або працездатності виробу. Існують наступні види ремонтів суден:

- ремонти, що входять у планово-попереджувальну систему (ППС) (докування, навігаційний);
- ремонти, що не входять у ППС (підтримуючий, аварійний, відбудовний).

ППС ремонтів застосовується протягом розрахункового терміну служби судна, після закінчення якого, в залежності від технічного стану, воно може бути виключене із системи.

Докування полягає у виконанні комплексу робіт, що забезпечують відновлення захисних покриттів корпусу від корозії та обростання; перевірку і відновлення справного стану рушійно-рульового комплексу, донною і забортною арматурою. При докуванні можуть виконуватися супровідні роботи.

Навігаційний ремонт полягає у реалізації робіт, виконання яких не сумісне з вантажними операціями і вимагає короткострокового виводу судна з експлуатації.

Підтримуючий ремонт полягає у виконанні мінімально необхідного обсягу робіт, що забезпечують можливість використання суден, виведених із ППС, за своїм призначенням.

Аварійний ремонт полягає у виконанні робіт з метою усунення ушкоджень судна і суднових технічних засобів, викликаних стихійними причинами, конструктивними недоліками, неправильним завантаженням і розвантаженням судна, порушенням Правил технічної експлуатації та інших нормативних документів.

При аварійному ремонті, як правило, виконують роботи, пов'язані з ліквідацією наслідків аварії.

Розглянемо роль виробничої логістики у вирішенні завдання технічного обслуговування та ремонту.

Формулювання логістичної задачі полягає у встановленні її крайових умов, оснований на аналізі логістичної системи даного підприємства, а також у зв'язку з оточенням [4]. Сформульована логістична задача потребує отримання відповідей на такі питання, як:

- що? скільки? – охарактеризувати матеріал, а також визначення величини заданих, тобто річних і добових переміщень товарів;
- звідки? куди? коли? – визначення простору і часових рамок, тобто створення таблиці перехресних переміщень товарів, а також графіку роботи людей і застосованого обладнання;
- як зробити? – визначення характеру перетворень, таких як перевезення, складування, перетворення.

Зміст функціональних областей виробничої логістики наведено на рисунку 2.

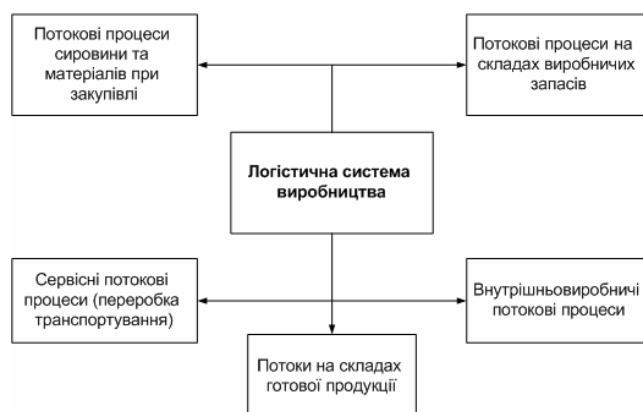


Рисунок 2 – Зміст функціональних областей логістичної системи виробництва

Джерело: [5]

Логістична задача процесів виробничого підприємства полягає в двоетапному перетворенні потоків товарів і пов'язаних з ними потоків інформації.

Якщо в даному виробничому підприємстві ми виділяємо постачальників матеріалів D, складські зони M, споживачів готових виробів O, а також виробничу систему SP, тоді місце виробничої логістики в логістичній системі підприємства можна представити на рис. 3.

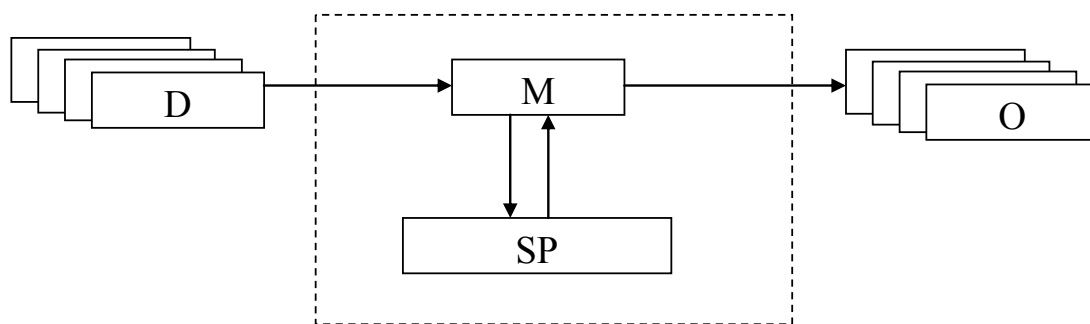


Рисунок 3 – Логістичні процеси основного виробництва

Джерело: розроблено автором

Вхід у склад сировини (напівфабрикатів, матеріалів) представляє собою потік вантажів від постачальників як функція часу. Вихід – це потік готових виробів відповідно до замовлення споживачів. Процеси перетворення потоків вантажів вимагають виміру з погляду продуктивності і витрат. Важливим стає формування процесів переміщення вантажів і інформації в сфері видів технології роботи, процедур, обладнання, а також людської праці. Це дає підставу для проектування процесів виробничої системи.

З позиції логістики мета управління виробництвом полягає в найбільш ефективному, з погляду зниження витрат і підвищення якості продукції, управлінні матеріальними потоками і незавершеним виробництвом.

До того ж велике значення має виконання задач виробничої логістики, до яких, можна віднести:

- оперативно-календарне планування з детальним розкладом випуску готової продукції;

- загальний контроль якості продукції, що випускається;

- стратегічне та оперативне планування поставок матеріальних ресурсів;

- організація внутрівиробничого складського господарства;

- прогнозування, планування і нормування витрат матеріальних ресурсів у виробництві;

- контроль і управління запасами;

- фізичний розподіл матеріальних ресурсів і готової продукції;

- інформаційне і технічне забезпечення процесів управління внутрішньовиробничими матеріальними потоками.

Перелічимо основні функції виробничої логістики:

- забезпечення координації процесів і дій щодо всіх учасників процесу логістики;

- організація матеріальних потоків у виробництві;

- здійснення планування матеріальних потоків;

- здійснення контролю за ходом процесу руху товарів у рамках внутрішньовиробничої логістичної системи;

- регулювання ходу виконуваних виробничих робіт.

Функції виробничої логістики потребують автоматизації процесів для підвищення оперативності та обґрунтованості рішень.

Висновки. Виробничий процес є сукупністю взаємозалежних дій людей, засобів виробництва і природи, що необхідні для виготовлення продукції. Головною складовою виробничого процесу є технологічний процес – сукупність дій зі зміни і визначення стану предмета праці. На підприємствах здійснюються різноманітні

виробничі процеси. Потокове виробництво – високоефективний метод організації виробничого процесу. При умовах потоку виробничий процес здійснюється в максимальній відповідності до принципів його раціональної організації.

Комплексна автоматизація виробничих процесів веде до підвищення ефективності діяльності підприємства, особливо це позначається на етапі планування і визначення потреб у матеріалах, вузлах, агрегатах як власного виробництва, так і покупних.

В умовах кризисних явищ у вітчизняній економіці, падіння промислового виробництва для судноремонтних підприємств гостро постало питання заміни дефіцитних і дорогих матеріалів для організації виробництва, а також нормування і дбайливого використання існуючих матеріалів. Як правило, шляхи рішення даної проблеми лежать у площинах:

- переорієнтація закупівель на внутрішньому ринку;
- планування власного виробництва дефіцитної і дорогої продукції для потреб виробництва;
- використання наукових методів організації матеріального потоку з використанням принципів виробничої логістики.

Отже, застосування принципів планування виробництва є досить важливим для рішення вищезазначених задач, що і доводиться в даній статті.

Список літератури

1. Балякин О.К. Технология судоремонта . Москва : Транспорт, 1983. 264 с.
2. Дидык А.Д., Усов В.Д., Титов Р.Ю. Управление судном и его техническая эксплуатация : Учебник для мореходных училищ . Москва : Транспорт, 1990. 320 с.
3. Зяблов О.К. Основы технической эксплуатации флота и судноремонт : конспект лекций . Н. Новгород : Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2013. 82 с.
4. Алькема В.Г., Сумець О.М. Логістика. Теорія та практика : навчальний посібник . Київ : «Видавничий дім «Професіонал», 2008. 272 с.
5. Банько В.Г. Логістика : навчальний посібник . Київ : КНТУ, 2013. 345 с.
6. Економіка логістичних систем : монографія / М. Васелевський, О. Дейнега, М. Довба та ін.; під ред. Є. Крикавського та С. Кубіва. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2008. 596 с.
7. Кальченко А.Г. Логістика : підручник . Київ : КНЕУ, 2013. 85 с.
8. Аакер Д. Стратегическое рыночное управление / 7-е изд. СПб. : Питер, 2012. 496 с.
9. Виханский О.С., Наумов А.И. Менеджмент : учебник / 4-е изд., перераб. и доп. М. : Экономистъ, 2013. 670 с.
10. Покропивний С.Ф. Економіка підприємства: підручник . Київ : Вид-во КНЕУ, 2010. 528 с.
11. Крикавський Є.В. Логістичне управління : підручник . Львів : НУ «Львівська політехніка», 2012. 351 с.
12. Гудзь П.В. Аналіз зарубіжного досвіду застосування системного управління логістичною діяльністю . *Бізнес-інформ*. 2015. №4. С.139–142.

References

1. Balyakin, O.K. (1983). *Tekhnologiya sudoremonta [Ship repair technology]*. Moscow : Transport [in Russian].
2. Didyk, A.D., Usov V.D. & Titov R.Yu. (1990). *Upravlenie sudnom i ego tekhnicheskaya ekspluatatsiya [Ship management and its technical operation]*. Moscow : Transport [in Russian].
3. Zyablov, O.K. (2013). *Osnovy tekhnicheskoi ekspluatatsii flota I sudoremont [Fundamentals of fleet technical maintenance and ship repair]*. N. Novgorod : FBOU VPO «VGAVT» [in Russian].
4. Alkema, V.H. and Sumets O.M. (2008). *Lohistyka. Teoriia ta praktyka [Logistics. Theory and practice]*. Kiev : Vydavnychiy dim «Profesional» [in Ukrainian].
5. Banko, V.H. (2013). *Lohistyka [Logistics J]*. Kiev : KNTU [in Ukrainian].
6. Vaselevskii M. (2015). *Ekonomika lohistychnykh system [Economics of Logistics Systems]*. Lviv : Natsionalnyi universytet "Lvivska politekhnika" [in Ukrainian].

7. Kalchenko, A.H. (2013). *Lohistyka [Logistics]*. Kiev : KNEU [in Ukrainian].
8. Aaker, D. (2012). *Strategicheskoe rynochnoe upravlenie [Strategic Market Management]*. St. Petersburg : Piter [in Russian].
9. Vikhanskii, O.S & Naumov, A.I. (2013). *Menedzhment [Management]*. Moscow : Ekonomist [in Russian].
10. Pokropyvnyi, S.F. (2010). *Ekonomika pidpriemstva [Enterprise Economics]*. Kiev : Vyd-vo KNEU [in Ukrainian].
11. Krykavskiy, Ye.V. (2012). *Lohistychnе upravlinnia [Logistic management]*. Lviv : NU «Lvivska politekhnika» [in Ukrainian].
12. Hudz, P.V. (2015). Analiz zarubizhnogo dosvidu zastosuvannya systemnoho upravlinnia lohistychnoiu diialnistiu [Analysis of foreign experience in the application of system management of logistics activities]. *Business Inform*, 4, 139–142 [in Ukrainian].

Olena Daki, Assoc. Prof., DSc.

State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine

Automation of Processes of Maintenance and Repair of River Vessels Using Methods of Production Logistics

The article is devoted to the development of models for automation of maintenance and repair of river vessels using the methods of production logistics, as well as to determine the role of production logistics in solving the problem of maintenance and repair of vessels. Achieving this goal contributes to solving a number of problems of modern enterprise management. The research presented in the article is based on the work of domestic and foreign researchers.

The production process is a set of interdependent actions of people, means of production and nature, necessary for the manufacture of products. The main component of the production process is the technological process - a set of actions to change and determine the state of the object of labor. Various production processes are carried out at the enterprises. Flow production is a highly efficient method of organizing the production process. Under the conditions of the flow, the production process is carried out in maximum accordance with the principles of its rational organization. In the conditions of crisis phenomena in the domestic economy, the fall of industrial production for ship repair enterprises, the question of replacing scarce and expensive materials for the organization of production, as well as rationing and careful use of existing materials became acute. Comprehensive automation of production processes leads to increased efficiency of the enterprise, especially at the stage of planning and determining the needs for materials, components, units, both own production and purchased.

The application of production planning principles is very important for solving a number of problems related to the maintenance and repair of river vessels. Ways to solve this problem lie in the planes: reorientation of procurement in the domestic market; planning own production of scarce and expensive products for production needs; use of scientific methods of material flow organization using the principles of production logistics.

automation of production, production process, water transport, logistics, repair and maintenance

Одержано (Received) 11.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 17.10.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 656.13

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).358-369](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).358-369)**О.І. Субочев**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Мартинюк**, студ*Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна**e-mail: subohev.alex@gmail.com***О.Є. Січко**, доц., канд. техн. наук*Національний транспортний університет, м. Київ, Україна**e-mail: sae@ua.fm*

Підвищення ефективності сервісних підприємств за рахунок зацікавленості клієнтів автопослуг

Виявлені проблеми функціонування сервісних підприємств, в яких головною є недостатнє використання виробничих потужностей внаслідок нестачі клієнтів. Збільшення коефіцієнта використання виробничої потужності сервісного підприємства пов'язано з необхідністю вибору критеріїв для оцінки виробничої діяльності підприємства. Пріоритетами сервісного підприємства є оцінка ступеня задоволеності споживача товарами та послугами фірми, підвищення прихильності серед клієнтів. Значущість факторів виробництва сервісних підприємств визначається з використанням причинно-наслідкової діаграми. Встановлено, що величина коефіцієнта використання виробничої потужності автосервісу залежить від факторів: місця розташування сервісу, близькості конкурентів та їх кількості, структури попиту на послуги з сезонними змінами та рівнем обслуговування. Резерв підвищення коефіцієнта використання виробничої потужності сервісного підприємства від поліпшення якості послуг на *i*-й виробничій зоні залежить від показників збільшення трудомісткості робіт від введення додаткових послуг, збільшення кількості клієнтів внаслідок утримання та залучення, збільшення трудомісткості та регулярності звернень за послугами замовлення постійних клієнтів порівняно з новими.

сервісні підприємства, виробнича потужність, постійні клієнти, якість послуг

А.І. Субочев, доц., канд. техн. наук, **В.В. Мартинюк**, студ*Днепро́вский государственный аграрно-экономический университет, г. Днепр, Украина***А.Е. Сичко**, доц., канд. техн. наук*Национальной транспортной университет, г. Киев, Украина*

Повышение эффективности сервисных предприятий за счет заинтересованности клиентов автоуслуг

Выявленные проблемы функционирования сервисных предприятий, в которых главным является недостаточное использование производственных мощностей вследствие недостатка клиентов. Увеличение коэффициента использования производственной мощности сервисного предприятия связано с необходимостью выбора критериев для оценки производственной деятельности предприятия. Приоритетами сервисного предприятия является оценка степени удовлетворенности потребителя товарами и услугами фирмы, повышения приверженности клиентов. Значимость факторов производства сервисных предприятий определяется с использованием причинно-следственной диаграммы. Установлено, что величина коэффициента использования производственной мощности автосервиса зависит от факторов: местоположения сервиса, близости конкурентов и их количества, структуры спроса на услуги с сезонными изменениями и уровнем обслуживания. Резерв повышения коэффициента использования производственной мощности сервисного предприятия от улучшения качества услуг на *i*-й производственной зоне зависит от показателей увеличения трудоемкости работ от введения дополнительных услуг, увеличение количества клиентов вследствие содержания и привлечения, увеличение трудоемкости заказов и увеличение регулярности обращений за услугами постоянных клиентов по сравнению с новыми.

сервисные предприятия, производственная мощность, постоянные клиенты, качество услуг

Постановка проблеми. В літературі питання показників ефективності сервісних підприємств слабо висвітлені з тієї причини, що вони не є актуальними за умов розвитку сервісних підприємств (СП) як бізнесу без будь-якого аналізу його впливу на ефективність економіки чи соціального стану суспільства. В достатній мірі розроблені та висвітлені в літературі лише питання оцінки ефективності діяльності СП [1, 2].

Багато робіт присвячено конкурентоздатності бізнесу, залученню клієнтів та оцінці рівня їх задоволеності, витратам на діяльність автосервісу та забезпечення його прибутковості. Що ж стосується оцінки автосервісу як соціально-економічної системи та забезпечення його ефективності з погляду якості життя людей, то цьому питанню не приділяється належної уваги [3, 4].

Широкий спектр виробничих процесів на підприємствах автомобільного транспорту стимулює технічну службу СП систематично виконувати низку функцій планування, організацію та регулювання потоку автотранспортних засобів (АТЗ) для проведення технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) [5].

Комплекс таких проблем виникає в зв'язку із тим, що фіксується зменшення загальної кількості, наприклад, муніципальних автобусів, а обладнання постів і дільниць ускладнюється і відповідно збільшується його вартість. Вартісне обладнання економічно не доцільно мати на кожному СП, тому доцільно створювати спеціалізовані виробництва або СП з повним завантаженням його потужностей [6].

Функції, які мало забезпечувати СП, стали визначальними щодо можливих стратегічних напрямків його подальшого розвитку при переході до ринкових відносин. Структурні підрозділи АТП, які опікувались основними та допоміжними видами діяльності, в багатьох випадках трансформувались в стратегічні бізнес-одиниці або самостійні спеціалізовані підприємства [7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи визначення раціонального складу підприємств різної потужності в автосервісній системі практично відсутні. Це визначає пріоритетність розв'язання задачі теоретичного обґрунтування і математичного визначення оптимального співвідношення кількості великих, середніх і малих підприємств в автосервісних системах міста, району, області або регіону [8].

Задоволення клієнтів якісним обслуговуванням вносить істотний внесок в економічне зростання фірми. У компаній, кращих за показниками якості виконуваних робіт, темпи приросту річного обсягу реалізації послуг на 9% вище, а рентабельність продажів на 11% вище, ніж у компаній, гірших за цими показниками [9].

Існуюча структура потужностей сервісних підприємств (СП) у якісному розвитку є неефективною. Відсутність науково-обґрунтованих методів управління її розвитком в умовах конкуренції не створило реальних передумов для становлення перспективної сфери автосервісних послуг. Тому проблема оптимального розвитку системи автосервісу для нашої держави набула особливої актуальності [10, 11].

Постановка завдання. Метою даної роботи є підвищення ефективності роботи сервісних підприємств за рахунок раціонального вибору напрямку щодо поліпшення якості послуг, практична реалізація методики аналізу виробничої діяльності постів і анкетування клієнтури сервісних підприємств

Виклад основного матеріалу. Для сервісних підприємств найбільш актуальною проблемою є проблема недовикористання виробничих потужностей внаслідок нестачі клієнтів; дефіциту на автомобільні послуги немає, виробничі потужності сервісного підприємства використовуються на 70%, хоча за якістю обслуговування СП стоять на високому рівні.

Отже, одна з основних проблем для підприємств автомобільного сервісу - підвищення потенціалу виробничої потужності, а значить - пошук практичних шляхів

збільшення коефіцієнта використання виробничої потужності сервісного підприємства ($K_{ВП}$), який пов'язаний з необхідністю вибору критеріїв для оцінки виробничої діяльності підприємства.

Зараз особливу увагу приділено принципам проектування і будівництва сервісного підприємства, оптимізації розміщення, методам оцінки і показниками виробничо-технічної бази (ВТБ), техніко-економічного обґрунтування розмірів і потужності СП, а також питаннями планування.

Тепер розробляються нові підходи в проектуванні ВТБ автомобільного сервісу і виконуються роботи, пов'язані з атестацією робочих постів, ліцензуванням, раціональним вибором і розміщенням комунікаційних систем сучасних сервісних підприємств.

Виробнича програма визначає всі основні технічні та економічні показники сервісних підприємств, в тому числі рівень використання і структуру виробничих потужностей, завантаження устаткування і персоналу.

Фірма має пов'язувати цілі роботи з клієнтурою з виробничими результатами. Фірма має провести оцінку ступеня задоволеності споживача товарами та послугами фірми. Фірмі потрібно визначити пріоритети в діях, спрямованих на підвищення лояльності (прихильності) серед клієнтів (рис. 1).

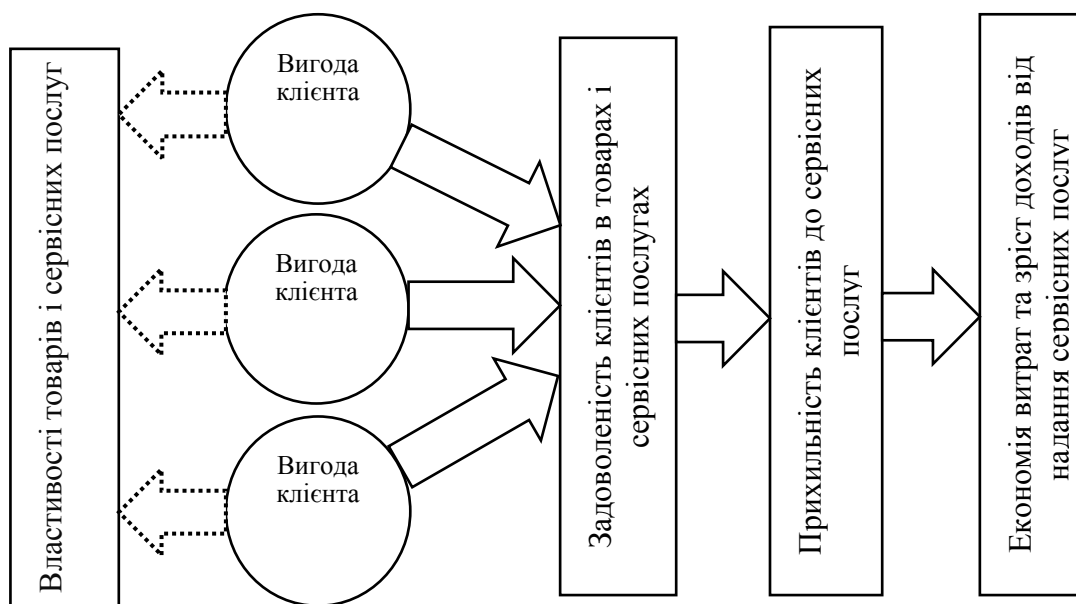


Рисунок 1 – Задоволення вимог клієнтів в товарах і сервісних послугах

Джерело: розроблено автором

Для підвищення потенціалу виробничої потужності сервісного підприємства, вираженого коефіцієнтом $K_{ВП}$, слід утримувати клієнта шляхом підвищення якості надаваних послуг.

Причинно-наслідкова діаграма з оцінками значущості факторів, що викликають брак двигуна після ремонту приведена на рис. 2. При кресленні схеми до центральної стрілкою, що зображає об'єкт аналізу, підводять великі первинні стрілки, що позначають - групи факторів, що впливають на об'єкт аналізу. Далі до кожної стрілки підводять стрілки другого, третього та інших порядків до тих пір, доки на діаграму не

будуть нанесені всі стрілки, що позначають фактори, що роблять помітний вплив на об'єкт аналізу в конкретній ситуації.

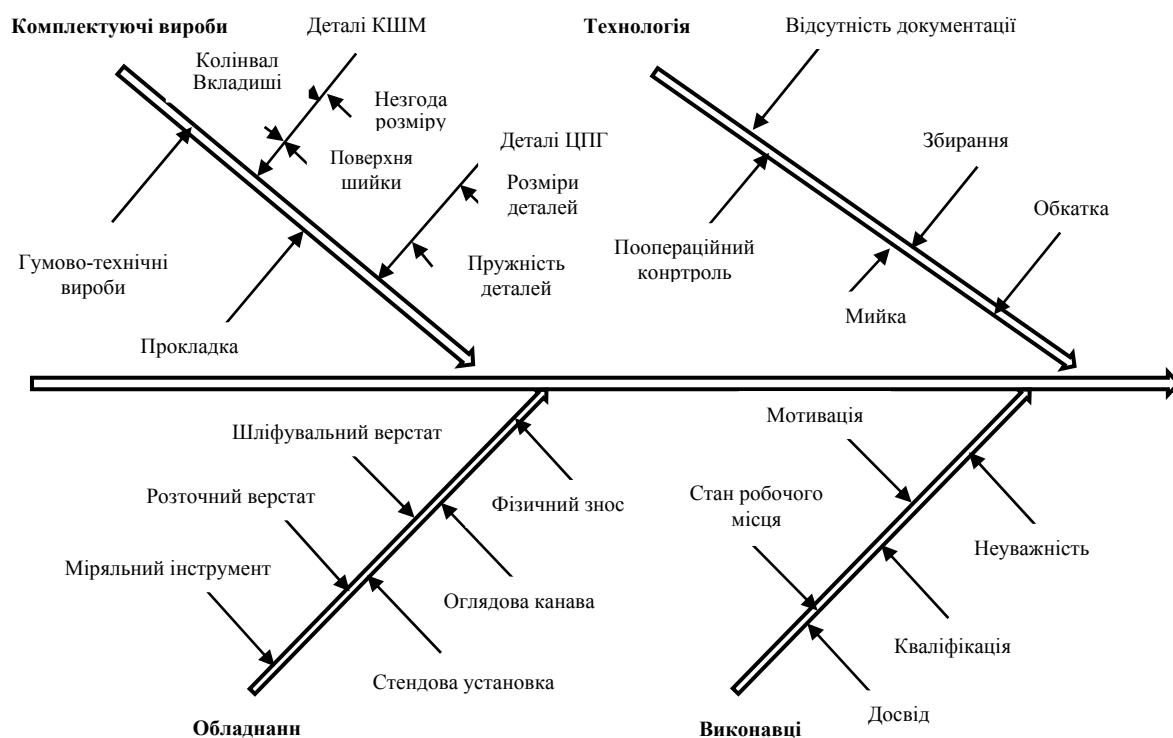


Рисунок 2 – Схема Ісікава

Джерело: розроблено автором

Утримання клієнтів сприяє залученню нових через таку форму мотивації, як повідомлення або рекомендації.

Підвищення якості обслуговування стимулює процес обслуговування і, таким чином, забезпечує підвищення коефіцієнта використання виробничої потужності автосервісу ($K_{ВП}$) в умовах конкуренції. Величина коефіцієнта $K_{ВП}$ автосервісу залежить від ряду факторів: місця розташування сервісу, близькості конкурентів та їх кількості, структури попиту на послуги з сезонними змінами та рівнем обслуговування.

Резерв підвищення коефіцієнта використання виробничої потужності автосервісу від поліпшення обслуговування:

$$\Delta K_{ВП} = f(\Delta D_{зац}, \Delta D_{пост}), \quad (1)$$

де $\Delta D_{зац}$ – збільшення питомої ваги зацікавлених у сервісах клієнтів автосервісу;

$\Delta D_{пост}$ – збільшення питомої ваги постійних клієнтів підприємства.

Клієнт, який звернувся за послугами на сервісне підприємство більш N раз, можна віднести до категорії постійних. Клієнт, який звернувся менш N раз на сервіс - відноситься до категорії нових. Сервісні підприємства через систему знижок стимулюють повторне звернення клієнтів аж до 3-го звернення, тому в рамках гіпотези в якості початкового значення приймаємо $N = 3$.

Коефіцієнт використання виробничої потужності:

$$K_{ВП} = \frac{T_{ФВП}}{T_{МВП}}, \quad (2)$$

де $T_{ФВП}$ – фактична виробнича потужність підприємства;

$T_{МВП}$ – максимальна виробнича потужність підприємства.

В умовах обмеженого попиту і конкуренції для багатьох сервісних підприємств $T_{МВП} = 0,5$. Основне завдання полягає в збільшенні коефіцієнта за рахунок раціонального пошуку рішень щодо поліпшення якості послуг:

$$K_{ВП_2} = K_{ВП_1} \cdot \frac{T_{ФВП_2}}{T_{МВП_2}} \cdot \frac{T_{МВП_1}}{T_{ФВП_1}}, \quad (3)$$

де 1,2- індекси фактичних і планованих значень показників відповідно.

Резерв підвищення коефіцієнта використання виробничої потужності сервісного підприємства від поліпшення якості послуг на i -й виробничій зоні:

$$\Delta K_{ВП}(i) = P_i \cdot K_{ВП_i} \cdot \left[\frac{K_{ДОП_i} \cdot K_{КЛІЄНТ_i} \cdot \left[1 + D_{ПОСТ_i}^n \cdot (K_{ЗАК_i} \cdot K_{ЧАСТ_i} - 1) \right]}{\left[1 + D_{ПОСТ_i}^\phi \cdot (K_{ЗАК_i} \cdot K_{ЧАСТ_i} - 1) \right]} - 1 \right], \quad (4)$$

де $K_{ДОП_i}$ - показник збільшення трудомісткості робіт від введення додаткових послуг;

$K_{КЛІЄНТ_i}$ - показник збільшення кількості клієнтів внаслідок утримання та залучення;

$K_{ЗАК_i}$ - показник збільшення трудомісткості замовлення постійних клієнтів порівняно з новими;

$K_{ЧАСТ_i}$ - показник збільшення регулярності звернень за послугами постійних клієнтів в порівнянні з новими;

Показник збільшення кількості клієнтів внаслідок утримування і залучення:

$$K_{КЛІЄНТ_i} = \left(1 - D_{ПОСТ_i}^\phi \right) \cdot \left(K_{ЗАЛУЧ_i} + D_{ПОСТ_i}^n \right) + D_{ПОСТ_i}^\phi, \quad (5)$$

де $K_{ЗАЛУЧ_i}$ – показник залучення нових клієнтів на автосервіс.

Показник збільшення трудомісткості робіт від введення додаткових послуг визначається:

$$K_{ДОД_i}(j) = \frac{T_i^\phi + V_{ДОД_{ij}} \cdot T_{ДОД_{ij}}}{T_i^\phi}, \quad (6)$$

де $V_{ДОД_{ij}}$ – питома вага незадоволених вимог (зауважень клієнтів) через відсутність затребуваної послуги (роботи);

$T_{ДОД_{ij}}$ - трудомісткість замовлення відсутньої послуги;

T_i^ϕ - фактична трудомісткість виконаних на замовлення робіт.

Показники $P_i, K_{ПМ_i}, K_{ЗАК_i}, K_{ЧАСТ_i}, T_i^\phi, T_{ДОД_i}$ визначаються в ході аналізу даних первинної документації та паспортної інформації автосервісу: перелік виробничих зон і ділянок; кількість постів і працюючих на постах; фонд робочого часу поста; виробниче

вироблення поста; трудомісткість виконаних робіт і замовлень по відсутнім на сервісі послугам. У якості джерел виступають дані клієнтської бази, замовлення-нарядів і нормативно-технічної документації.

Критерії $\Pi_{ij}^n, V_{ДОД_{ij}}, D_{ПОСТ_i}^n$ визначаються шляхом проведення аналізу виробничої діяльності постів і анкетування.

Аналіз виробничої діяльності постів виконується відповідно до схеми організації технологічного процесу приймання і обслуговування автомобілів клієнтів, представленої на рис. 3.

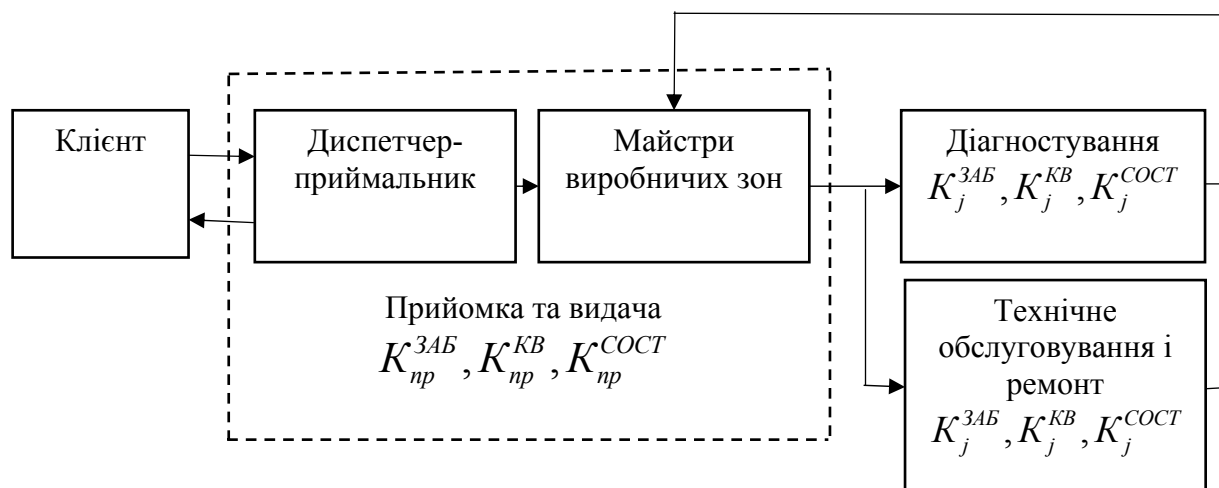


Рисунок 3 – Схема організації технологічного процесу приймки і обслуговування автомобілів клієнтів
Джерело: розроблено автором

Згідно зі схемою організації технологічного процесу, наведеної на рис. 3, автомобіль спочатку направляється на дільницю приймання до ремонту, а потім - в будь-яку з виробничих зон автосервісу.

Показник забезпеченості технологічно необхідним обладнанням і інструментом для виконання j -го виду робіт розраховується за формулою:

$$K_j^{ЗАБЕЗП} = \frac{S_j^\phi}{S_j^m}, \quad (7)$$

де S_j^ϕ – фактично наявна кількість одиниць обладнання, інструменту;

S_j^m – кількість обладнання та інструменту, покладене за табелем.

Критерієм оцінки навичок і вмінь персоналу надавати j -у послугу служить питома вага операцій (робіт), виконаних без порушень і помилок:

$$K^{KB} = 1 - \frac{a_{поруш_j}}{a_j}, \quad (8)$$

де $a_{поруш_j}$ – кількість операцій (робіт), виконаних з порушеннями і помилками;

a_j – загальна кількість операцій (робіт).

Вибір низькоякісної послуги (роботи) обстежуваної виробничої зони (дільниці), слід здійснювати за пронормованим ранговим показником важливості, розрахованим за формулою нормування з урахуванням питомої ваги замовлень, що припадає на кожний даний вид послуг в загальній кількості замовлень на послуги виробничої зони (ділянки):

$$P_{i j}^H = \frac{3 - P_j + C_j \cdot P_j}{\sum_1^n (3 - P_j + C_j \cdot P_j)}, \quad (9)$$

де C_j – питома вага замовлень з даного j -ого виду послуг (робіт) в загальній кількості замовлень на послуги i -ої виробничої зони (ділянки);

n – кількість послуг, що надаються в i -й виробничій зоні.

Повторне звернення клієнтури (більше 3-х разів) за послугами на досліджуваних вантажних сервісних підприємствах супроводжується дворазовим збільшенням трудомісткості замовлення (рис 4).

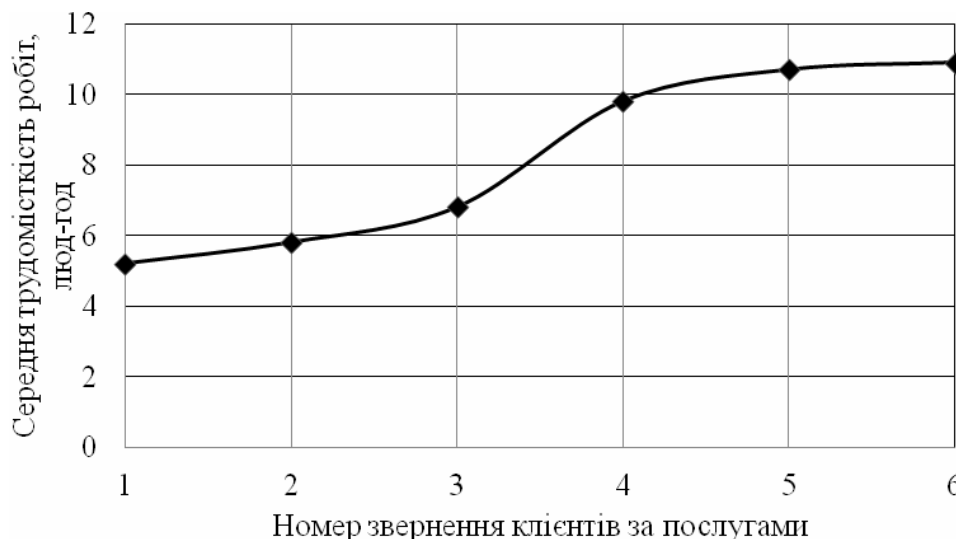


Рисунок 4 – Зміна трудомісткості послуг в залежності від номера звернень на сервісне підприємство

Джерело: розроблено автором

Диспетчер використовує дані замовлення-нарядів і заявок на ремонт клієнтської бази, нормативи трудомісткостей на ремонт, середньостатистичну періодичність звернень нових і постійних клієнтів, структуру замовлень, середньостатистичну трудомісткість упущеного замовлення за послугою, що не надається сервісом, показник залучення клієнтів на сервісне підприємство (рис. 5).

Для проведення анкетування майстер-приймальник виконує наступні операції: організовує пробне поширення анкет серед клієнтів.

Обробка даних здійснюється в два етапи. Спочатку в алгоритм вводиться перша група даних. Ці дані первинної документації, паспортної інформації про сервіс і дані анкетування клієнтів, віддаються інженеру ІТС для отримання результатів моделювання - виявлення виробничої зони (дільниці) автосервісу, роботу якої слід покращувати і вибору напрямку поліпшення її роботи.



Рисунок 5– Аналіз виробничої діяльності сервісного підприємства

Джерело: розроблено автором

На рис. 6, 7 наведена графічна інтерпретація якості послуг дільниці діагностики двигуна. Результуючий графік якості отримано узагальненням даних анкетування клієнтів і даних про виробничу діяльність дільниці.

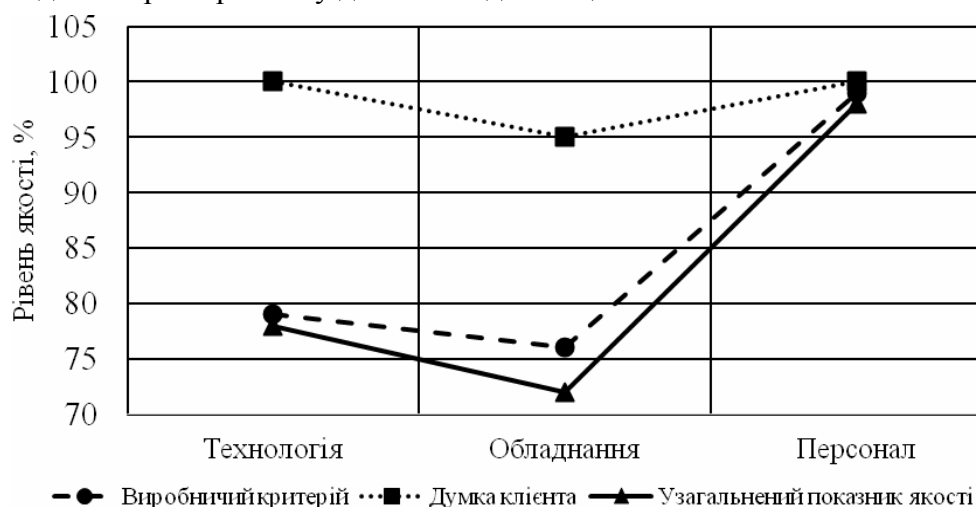


Рисунок 6 – Дослідження низького рівня якості контрольно-діагностичних робіт

Джерело: розроблено автором

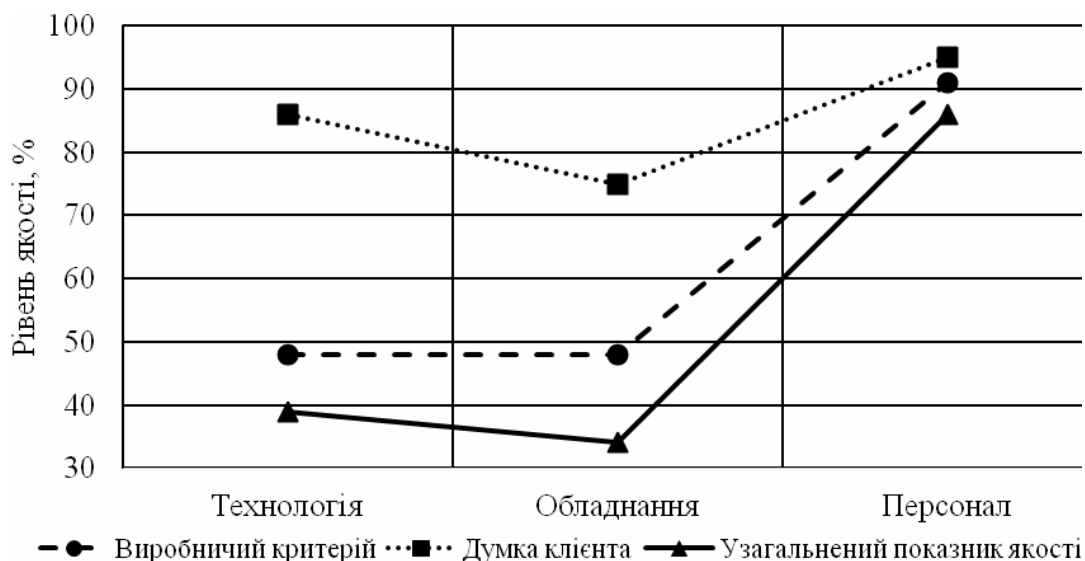


Рисунок 7 – Дослідження низького рівня якості робіт з обслуговування паливної апаратури
Джерело: розроблено автором

Для підвищення якості робіт по обслуговуванню паливних систем (рис. 4.5, критерії «Технологія», «Обладнання») є технологічне оснащення робочого місця відповідно до типових вимог і приведення в потрібний технічний стан основного технологічного обладнання.

Реалізація методики управління потенціалом виробничої потужності на даному підприємстві дозволить збільшити коефіцієнт $K_{ВП}$ до 5%

Висновки. Реалізована методика управління потенціалом виробничої потужності на вантажних сервісних підприємствах.

Запропонована технологія реалізації методики відповідає поставленим вимогам, а саме, забезпечує можливість проведення аналізу виробничої діяльності підприємства без залучення сторонніх фахівців і з мінімальними витратами.

Встановлено, що з найменшою віддачею на виробництві працює ділянка діагностики двигуна ($\Delta K_{ВП} = 6\%$). При цьому робота інших виробничих зон (ділянок) знаходиться на прийнятному рівні. Основним напрямком поліпшення роботи ділянки діагностики двигуна є підвищення якості надаваних на даній ділянці послуг. У створенні додаткового переліку послуг особливої необхідності немає.

Обрано низькоякісну послугу за нормуванням з урахуванням питомої ваги замовлень: для діагностики систем двигуна дорівнює 0,35; для обслуговування паливної апаратури - 0,65. Найбільше зниження якості спостерігається при обслуговуванні паливної апаратури двигунів, недоліки в організації контрольно-діагностичних робіт по двигуну менш істотні.

Запропоновані заходи щодо поліпшення якості робіт з обслуговування паливної апаратури за критерієм рівня якості послуги: для «Технології» дорівнює 0,39, для «Обладнання» - 0,34; для «Персоналу» - 0,86. Для підвищення якості робіт по обслуговуванню паливних систем є технологічне оснащення робочого місця відповідно до типових вимог і приведення в потрібний технічний стан основного технологічного обладнання.

Список літератури

1. Андрусенко С.І., Бугайчук О.С. Організація технічної експлуатації автомобілів в Україні за сучасних умов. *Вісник НТУ: Серія «Технічні науки»: наук.-техн. зб.* 2016. Вип. 1 (34). С. 12-20.
2. Сучасний стан автомобільного транспорту і перспективи розвитку технічної експлуатації автомобілів / В.П. Волков, Т.В. Волкова, Ю.В. Волков, І.В. Грицук. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів: наук. журн.* 2019. № 16. С. 77 – 87.
3. Марков О.Д., Березняцький В.В. Забезпечення контролю за технічним станом автомобілів: регламент виробника, попит споживачів, пропозиція автосервісу. Національний транспортний університет, Київ, 2018.
4. Марков О.Д., Веретельникова Н.В. Обслуговування клієнтів автосервісу: навчальний посібник. К.: Видавництво Каравела, 2015. 263 с.
5. Андрусенко С.І. Оцінка ефективності інвестицій в підприємства автомобільного транспорту: навч. посіб. К.: НТУ, 2018. 56с.
6. Лудченко О.А., Лудченко Я.О.; Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Організація, планування і управління: підруч. для студентів ВНЗ / Нац. трансп. ун-т. - 2-ге вид., переробл. Київ: Логос, 2014. 462 с.
7. Андрусенко С.І., Бугайчук О.С. Моделювання бізнес-процесів підприємства автосервісу : монографія . К. : Кафедра, 2014. 328 с.
8. Субочев О.І., Погорєлов М.Г., Вовчанський С.В. Підвищення ефективності сервісних підприємств за рахунок спеціалізації, потужності і їх розміщення. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту: зб. наук. матеріалів міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (14-15 листопада 2018 р.)*. ЦНТУ. Кропивницький, 2018. С. 107 – 115.
9. Волков Ю.В. Совершенствование системы обеспечения работоспособности автомобилей Ю.В. Волков Politechnikarzeszowskaim. Ignacego lukasiewicza. Monografia pod redakcja naukowa Kazimierza lejdy. Seria: Transpor. Systemy i srodki transportu samochodowego. wybrane zagadnienia. systems and means of motor transport. 2014. С. 297 -303.
10. Погорєлов М.Г., Ларін О.М., Субочев О.І. Оптимізація показників функціонування автосервісних підприємств з урахуванням факторів пріоритетності. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2011. № 6(120). С. 78 – 84.
11. Січко О.Є., Волков О.Ф., Потьомкін Р.О. Оцінка ефективності централізації виробничих процесів ТР і ПР як системи масового обслуговування. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. 2018. Вип. 34. С. 455-462.
12. Subochev O. Efficiency of managing the production capacity of service enterprises, taking into account customer motivation / O. Subochev, O. Sichko, M. Pogorelov, I. Kovalenko, N. Havron // ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference May 28-29, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine, 2019. P. 238 – 250.

Referencis

1. Andrusenko S.I., Bugajchuk O.S. (2016). Organizaciya tekhnichnoї ekspluataciї avtomobiliv v Ukraїni za suchasnih umov. [Organization of technical operation of cars in Ukraine for ordinary minds] Visnik NTU: Seriya «Tekhnichni nauki». Naukovo-tekhnichnij zbirnik. K.: NTU. Vol. 1 (34), 12-20 [in Ukrainian].
2. Volkov V.P., Volkova T.V., Volkov Y.V, Gricuk I.V. (2019). Suchasnij stan avtomobil'nogo transportu i perspektivi rozvitku tekhnichnoї ekspluataciї avtomobiliv. [Nowadays, the mill of automobile transport and prospect of development of technical operation of automobiles] Tekhnichnij servis agropromisloвого, lisovogo ta transportnogo kompleksiv: Naukovij zhurnal. Harkiv. Vol. 16, 77 – 87[in Ukrainian].
3. Markov O.D., Bereznjac'kij V.V. (2018). Zabezpechennya kontrolyu za tekhnichnim stanom avtomobiliv: reglamenti virobnika, popit spozhivachiv, propoziciya avtoservisu. [Security monitoring of the technical camp of automobiles: regulations of the trolley, drink well, offer a car service]. Nacional'nij transportnij universitet, Kiїv. [in Ukrainian].
4. Markov O.D., Rudkov'skij, S.M (2015). Problemi upravlinnya pidpriemstvami avtoservisu. [Problems of car service management]. *Lemeshins'kij Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu.: Tekhnichni nauki*. Vol. 2(223). [in Ukrainian].
5. Andrusenko S.I. (2018) Ocinka efektnosti investicij v pidpriemstva avtomobil'nogo transportu. [Assessment of the effectiveness of investment in the automotive industry]. Navchal'nij posibnik. – K.: NTU. [in Ukrainian].

6. Ludchenko O.A., Ludchenko Y.O. (2014). Tekhnichna ekspluatatsiya i obslugovuvannya avtomobiliv. Organizatsiya, planuvannya i upravlinnya. [Technical exploitation and servicing of automobiles. Organization, Planning and Management]. Pidruch. dlya studentiv VNZ *Nac. transp. un-t. - 2-ge vid., pererobl.* Kiiv: Logos [in Ukrainian].
7. Andrusenko S.I., Bugajchuk O. S. (2014). Modelyuvannya biznes-procesiv pidpriemstva avtoservisu. [Model of business processes for car service]. Monografiya. K.: Kafedra [in Ukrainian].
8. Subochev O. I. Pogorelov M. G., Vovchans'kij S.V. (2018). Pidvishchennya efektyvnosti servisnih pidpriemstv za rahunok specializacii, potuzhnosti i ih rozmishchennya. [Realization of the efficiency of servicing for the grocery stores; specialization, need for special care]. *Zbirnik naukovih materialiv mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi internet-konferencii «Innovacijni tekhnologii rozvitku ta efektyvnosti funkcionuvannya avtomobil'nogo transportu» (14-15 listopada 2018 r.)*. CNTU. – Kropivnic'kij, 107 – 115. [in Ukrainian].
9. Volkov Y.V. (2014). Sovershenstvovanie sistemy obespechenie rabotosposobnosti avtomobilej. [Improving the system of ensuring the performance of cars]. *Politechnikarzeszowskaim. Ignacego lukasiewicza. Monografia pod redakcja naukowa Kazimierza lejdy. Seria: Transpor. Systemy i srodki transportu samochodowego. wybrane zagadnienia. systems and means of motor transport*, 297 -303. [in Ukrainian].
10. Pogorelov M.G., Larin O.M, Subochev O.I. (2011). Optimizatsiya pokaznikov funkcionuvannya avtoservisnih pidpriemstv z urahuvannjam faktoriv prioritetnosti. [Optimization of the indicator of the functions of the car service centers with the factors of priority factors]. *Visnik skhidnoukrains'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalya / SNU im. Volodimira Dalya. - Lugans'k. Vol. 6(120)*, 78 – 84. [in Ukrainian].
11. Sichko O.C., Volkov O.F., Pot'omkin R.O. (2018). Ocinka efektyvnosti centralizacii virobnichih procesiv TR i PR yak sistemi masovogo obslugovuvannya. [Evaluation of the effectiveness of the centralization of the legal processes of TR and PR as a system of mass servicing] *Visnik Nacional'nogo transportnogo universitetu. Seriya «Tekhnichni nauki» Naukovo-tekhnicnij zbirnik.* K.: NTU. Vol. 34, 455-462 [in Ukrainian].
12. Subochev O., Sichko O., Pogorelov M., Kovalenko I., Havron N. (2019). Efficiency of managing the production capacity of service enterprises, taking into account customer motivation. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference May 28-29, Ternopil Ivan Puluj National Technical University.* Ternopil, Ukraine, 238 – 250. [in English].

Olexander Subochev, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vyacheslav Martynyuk**

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Olexander Sichko, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

National Transport University, Kyiv, Ukraine

Efficiency Upgrading of Service Enterprises at the Price of Interest of Auto Services' Clients

The problems of functioning of the service enterprises, whose main point is the underutilization of production facilities due to the lack of customers, are identified. An increase in the utilization capacity of a service enterprise is associated with the need to select criteria for evaluating the enterprise's production activity. Special attention is paid to the principles of design and construction of the service enterprise, optimization of placement, estimation methods and indicators of production and technical base, feasibility study of the size and capacity of service enterprises, as well as planning issues.

New approaches have been developed in the design of the production and technical base of automobile service, which are related to the certification of work posts, licensing, rational choice and placement of communication systems of modern service enterprises. The priorities of the service enterprise are to evaluate the degree of consumer satisfaction with the goods and services of the firm, to increase the commitment among clients. The importance of production factors of service enterprises is determined using a cause and effect diagram. It is established that the magnitude of the utilization factor of the car service production capacity depends on the factors: location of the service, closeness of competitors and their quantity, structure of demand for services with seasonal changes and level of service. A customer who has requested services for a service company more than 3 times is a permanent customer. A customer who has applied less than 3 times for the service, is in the category of new. Service companies, through a system of discounts, stimulate repeat customer appeal. The reserve of increasing the utilization capacity of a service enterprise from improving the quality of services in the i – production zone depends on the indicators of increasing the complexity of work from the introduction of additional services, the increase in the number of customers due to retention and involvement, the increase in the complexity of ordering regular customers compared to new regularities regular customers services compared to new ones.

The scheme of technological process of service enterprise is made according to which the car is first directed to the site of acceptance for repair, and then to any of the production areas of the car service (areas of diagnosis, maintenance, repair and repair stations). The choice of low-quality service (work) of the surveyed production area (site) is carried out according to the normalized ranking of importance, taking about the specific weight of orders. The analysis of production activity of the service enterprise is carried out in which at different stages the dispatcher, the master - the receiver, the foreman, the engineer of engineering and technical service take part. The graphical interpretation of the services quality at the engine diagnostics department based on the generalized customer questionnaire data and data on the production activity of the station is given. To improve the quality of maintenance work on fuel systems is the technological equipment of the workplace in accordance with the typical requirements and bringing in the necessary technical condition of the main technological equipment.

service enterprise, production capacity, regular customers, services quality

Одержано (Received) 17.04.2020

Процеcеновано (Reviewed) 29.04.2020

Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

УДК 656.13

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).369-376](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).369-376)

Vladyslav Ershov, post-graduate, **Serhiy Nedilko**, Prof., DSc., **Oleksiy Izvalov**, **Vitaliy Nedilko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Flight Academy of National Aviation University, Kropivnitsky, Ukraine

Safety Of Drones Flows In Conditions Of Their Mass Use In The City

In the sphere of entertainment, drones have become much more accessible over the past two years and have received a set of serious instruments - cameras, autopilots, etc. Their cost became acceptable, the functionality grew, management became easier.

All over the world, rules are being developed and implemented for the use of unmanned aerial vehicles to regulate flights and eliminate potential dangers.

Actual is the analysis of the legislative framework for the flight of drones of various countries, as well as the development of the concept of safe flight of a large number of drones in the urban environment.

drones, mass use, safety of flows, UASes, GPS, law regulations, BAPLA, SACAA, RPA, unmanned aerial vehicles, IoT, CAA, SAAU

В.В. Ершов, асп., **С.Н. Неделько**, проф., д-р техн. наук, **А.В. Извалов**, **В.Н. Неделько**, доц., канд. техн. наук
Лётная академия Национального авиационного университета, г. Кропивницький, Україна

Безопасность потоков дронов в условиях их массового использования в городской среде

В сфере развлечений и целевого использования беспилотники стали намного доступнее за последние два года и получили набор серьезных инструментов - камеры, автопилоты и т. д. Их стоимость стала приемлемой, функциональность выросла, управление стало проще.

Во всем мире разрабатываются и применяются правила использования беспилотных летательных аппаратов для регулирования полетов и устранения потенциальных опасностей.

Актуальным является анализ законодательной базы для полетов дронов разных стран, а также разработка концепции безопасного полета большого количества беспилотников в городской среде.

беспилотные летательные аппараты, массовое использование, безопасность потоков, GPS, правовые нормы, BAPLA, БПЛА, беспилотные летательные аппараты, IoT

© Vladyslav Ershov, Serhiy Nedilko, Oleksiy Izvalov, Vitaliy Nedilko, 2020

Statement of the problem.. Drone - in the technological context, it's an unmanned aerial vehicle. Formally, drones are known as unmanned aerial vehicles (UAVs) or unmanned aerial systems (UASes). Essentially an unmanned flying robot.

UAVs can be remotely controlled, and can fly autonomously with the built-in software (flight plan), working in close connection with on-board sensors and GPS systems.

In the recent past, unmanned aerial vehicles had exclusively military applications, where they were originally used to destroy aerial targets and collect intelligence information.

Now the drones have been widely used, ranging from search and rescue operations, surveillance, weather monitoring, traffic, fire extinguishing, for personal purposes, business with an emphasis on photo and video shooting, in agriculture and even in cargo delivery services.

The main material. The first unmanned aerial vehicle was realized in 1935 using the example of the full-size biplane De Havilland DH82B "Queen Bee". It was equipped with a radio receiver and control servo located in the rear seat. Later it was used as a live target for training firing from anti-aircraft installations with the goal of training artillerymen. In total, 380 De Havilland DH82B "Queen Bee" aircraft were built. The term "drone" was born thanks to this historic event.

At the end of 2012, Chris Anderson, resigned from the post of editor-in-chief of the magazine "Wired" in order to lighten himself with drones in the company 3DRobotics Inc. Later, within the walls of this company, the unique code of the universal flight APM was first written, on the basis of which the famous high-class autopilot Pixhawk was realized. At the moment the company specializes in UAV and realizes its advanced solutions in such areas as photo and video shooting, construction, utilities, telecommunications services, as well as in ensuring public safety.

In late 2013, the well-known public company Amazon was one of the first to use commercial drones to deliver the products sold. Later in 2016, this idea was supported by: the Poly-technic University of Virginia and the State Institute in conjunction with the Alphabet Inc holding company, using the example of the test project "Wing", whose goal was to deliver goods purchased on the Internet or essentials with the help of drones.

From BI Intelligence report "The drones Report": "The profit from the implementation of drones will increase to \$ 12 billion by 2021 [1]. Analysts at BI Intelligence estimated that in 2015 it already amounted to more than \$ 8 000 000 000.

Embry-Riddle - Aviation University, for a long time was a training ground for the aviation industry. Currently, he offers a Bachelor of Science in unmanned systems, a Master of Science degree in unmanned systems, and also conducts basic training courses in the field of unmanned aerial systems.

The integration of unmanned aerial vehicles and the Internet has made it possible to use drones everywhere in enterprises. Drones operate on IoT terrestrial sensor networks, help agricultural companies monitor lands and crops, energy companies use drones to inspect power lines and related equipment.

Law regulations of the drones flows in the world. Drones have long been more widely used than use in law enforcement and specialized-commercial spheres. Now they can be seen in private hands.

In the sphere of entertainment, drones have become much more accessible over the past two years and have received a set of serious instruments - cameras, autopilots, etc. Their cost became acceptable, the functionality grew, management became easier.

All over the world, rules are being developed and implemented for the use of unmanned aerial vehicles to regulate flights and eliminate potential hazards, which,

unfortunately, are not uncommon. For example, an unidentified drone was close to a collision with the A320 Airbus during a landing in London's Heathrow in the summer of 2014 [2].

A. Russia

Since the beginning of April 2016 in Russia there is a mandatory registration of UAVs weighing more than 250 grams, including toy drones. They will be registered by the Federal Security Service. The relevant decree was adopted and signed on 30.12.15 [3].

Owners of unmanned vehicles, both acquired in Russia, and imported to the territory of the Russian Federation from abroad, will be required to register them in the controlling body. The management department will need to provide information on the country of manufacture of the drone, its serial number, the year of manufacture, the purpose of the device, its maximum take-off mass, as well as the type, number and power of its engines.

In addition, UAV owners will need to report to the FSS the name of the owner (or the name of the organization that owns the drone), the date and place of birth of the person, as well as his passport and contact information.

B. European Union

Despite the fact that the European Union is one of the leaders in the production and use of drones, there are currently no laws that establish clear rules for flights.

At the end of 2015, the European Parliament adopted a resolution that focuses the Europe-an Commission's attention not only on security but also on the inviolability of private life affect-ed by the use of unmanned aerial vehicles that are capable of collecting and storing photo or video images [4].

The resolution also calls for equipping drones with unique chips, identifying the identity and registration data of the pilot.

C. Ireland

In some countries there are local regulations, for example, in Ireland from 21.12.15 all drones over 1 kg should be registered with the IAA. Ireland has taken an active role in the fast-growing region and is one of the few EU member states involved in drafting legislation regulat-ing the use of unmanned aerial vehicles.

D. Italy

In Italy, there is a ban on the use of quadcopters (for non-commercial shooting, lighter than 25 kg) with a large crowd of people, in cities, near railway stations, airports, military instal-lations, power stations and government agencies.

It is allowed to launch drones in an open, well-viewed space at a distance of not less than 150 meters from the city infrastructure, while maintaining constant visual contact with the appa-ratus. Pilot can not approach more than 50 meters to people and objects of private property. Shooting is prohibited within a radius of 8 km from the airport. For commercial shooting, pilot need to buy a license.

E. Austria

In Austria, the zones allowed for flights are divided into 4 categories. Without a license, pilot can fly only in open spaces (in nature) and near farmlands (farms).

F. Czech Republic

In the Czech Republic, drones are banned in cities and in crowded places. Unmanned ve-hicles weighing less than 7 kg are allowed to run at a safe distance from people and buildings, vehicles weighing 7 to 20 kg should fly at a distance of not less than 150 meters from people and buildings.

G. United Kingdom

The Civil Aviation Authority (CAA) establishes rules for flights on drones, which is called the air navigation order.

There are conditions under which a drone weighing less than 20 kg. does not require separate registration and licensing:

- Drone must be used within the "line of sight". Parameters of the zone: air space in the perimeter of 500 meters (1,640ft) horizontally or 400 feet (122m) vertically;
- An unmanned aircraft equipped with a photo camera should be located at a distance of not less than 50 m (164ft) from a person, car, building or any structure;
- Copter for private purposes can not be used in the zone of a large group of people, such as a sporting event or a concert (no closer than 150 m);
- For commercial purposes, operators must have permission to fly drones from CAA

The British Pilot Association (BALPA) defends the need for programming drones for auto-restraint of airspace for flight operations. It's about installing a kind of geo-block. Some commercial series already includes a geo-lock.

GPS-tracker contains coordinates of thousands of airports around the world. It does not allow entering these areas. If the copter approaches the boundary of the blocked zone (within a radius of 2 km from a large airport), in automatic mode its flight altitude will be limited to 10 m.

H. Canada

In Canada, the regulation and control of flights on drones is carried out by the Ministry of Transport of Canada.

To assess the need to obtain a special permission to fly flights, we can use special graphical scheme prepared by the Ministry of Transport of Canada.

Briefly, special permission is not required in case of the following conditions:

- Pilots are not going to use Copter for research and commercial purposes.
- Flight device weighing less than 25 kg.
- Pilots follow the standard flight safety rules (do not threaten anyone or anything).

I. United States of America

According to the newest rules, those pilots who purchased drones before December 21, 2015, will be required to register them in the database before February 19, 2016. The remaining UAV owners will need to register drones before their first flight. Registration is carried out on the FAA website, cost is \$5. For refusal of registration, a fine of \$27000 is threatened.

The regulatory law was adopted not so long ago, but by now more than 300 000 UAV owners have registered in the US.

In addition, the Federal Aviation Administration (FAA) prohibits the flight of unmanned aircraft, including hobby drones, above 122 meters.

Similarly, in the event that drones are used at a distance of 5 miles from the airport, controllers must be notified in advance of its air traffic pattern.

Pilots can not use copters in the Yosemite National Park, so as not to disturb the birds and animals (this is the rule in many nature reserves of the world).

At the same time, each state has its own rules that allow or prohibit drones. The drone should not weigh more than 25 kg.

J. South Africa

Without the need for a license, regulation presupposes that:

- use of drones does not involve commercial interest;
- the range of flight is not more than 500 meters from the pilot's location and in the distance more than 50 meters from buildings and public routes;

- the presence of a first aid kit and a fire extinguisher within 300 m from the runway;
- taking into account traffic, unmanned aerial vehicles should always give way to manned aircraft.

For commercial purposes, drones necessarily require licensing (RPA) and registration with the Civil Aviation Administration of South Africa (SACAA). Acquisition of the license requires medical examination, knowledge of the English language, passing training courses for flights, ending with a theoretical examination and a test of practical skills.

The license is valid for 24 months and can be issued to individuals who have reached the age of 18 years. The license holder will also have to pass the re-certification 90 days prior to the expiry of its validity term for renewal. The RPA license can be issued in three categories: air-craft, helicopter or multi-rotor.

In accordance with the new laws, RPA pilots will also be required to maintain a pilot log with a detailed description of each flight carried out. acronyms.

K. Morocco

In Morocco, the survey is allowed, but only by the apparatus that was purchased in the country.

L. Australia

All flights operated for commercial purposes must be registered.

If the drone weighs less than 2 kg and flights are carried out for private purposes (hobby / entertainment), additional registration is not required, but there is a list of mandatory conditions requiring compliance:

- A pilot can not fly closer than 30 m from vehicles, boats, buildings that are not located on the private property or a pilot does not own a permit from the owner of a private property.
- A pilot can not fly over populated areas and over crowded areas such as public beaches, foreign yards / parks, parks and public recreation areas, sporting events and play areas.
- A pilot can not work within a radius of 5.5 km from any aerodrome, airport, in the take-off and landing areas of helicopters that can be located in hospitals, police stations and other places that are not obvious on first examination. It is the responsibility of the pilot, before planning the flight, it is necessary to take into account the location data (ignorance does not absolve from responsibility).
- Flights are allowed only during the daytime. Only in good weather and within the visibility of the pilot.
- The range should not exceed 400 feet (123 meters).

M. Thailand

In Thailand, the launch of drones equipped with cameras is prohibited. This is due to the lack of an approved procedure for the use of UAVs.

At the moment, the Ministry of Transport of Thailand is developing a bill, which will fix instruments to regulate privacy issues.

Law regulations of the drones flows in Ukraine. The State Aviation Administration of Ukraine (SAAU) has developed a "Concept for regulating the direction of unmanned aircraft" [7]. The similar rules - FAR-107 - have already been operating in the US since August 2016, European regulator European Aviation Safety Agency (EASA) published a draft of its document on market regulation.

The SAAU document provides for 2 types of classification of unmanned aerial vehicles: the maximum take-off mass and the types of control.

According to the first criterion, there are four categories of aircraft (aircraft):

1. to 0.250 kg;
2. 0.25-20 kg;
3. 20-150 kg;
4. more than 150 kg.

By the second criterion there is a manual visual, manual instrumental and stand-alone apparatus.

In addition, it is expected that they will distinguish between commercial and non-commercial exploitation.

Depending on the class of aircraft, different requirements are imposed on its owners. The largest - the same as for manned aircraft, and when using the smallest - it is enough to follow the rules of aviation security.

In this case, certain requirements can be introduced to operators of drones.

Owners of Class 1 aircraft (from 0.25 to 20 kg) can operate them only in conditions of direct visual contact without additional devices. The maximum speed should not exceed 150 km/h with a maximum flight altitude of up to 120 m and a radius of 500 m. The ban on flights in the 8-kilometer zone from the perimeter of the airport, as well as restricted areas is prohibited. Use an unmanned aerial vehicle (UAV) of this class can only be in the daytime.

Also definitions of the remote pilot and the visual observer are introduced. The first of them is a person who manipulates the controls of an unmanned aircraft during the flight and has the right to a final decision, and is also responsible for the safety of the UAV during flights. The second one - visually observes the aircraft and provides information about the parameters of its flight to the remote pilot.

For second-class vehicles (20-150 kg), mandatory certification is required in the State Aviation Service, certification of the type / flightability requirements and obtaining an operator's certificate.

All UAV flights should not be performed on people other than a remote pilot or visual observer. The remote pilot can at the same time manipulate only one drone. When using the drone, a remote pilot should be preflighted. On drones there should be no hazardous materials, except for food items.

The remote pilot must ensure a normal physical and psychological condition for safe operation (alcohol consumption or fatigue).

The State Aviation Administration of Ukraine intends to introduce new amendments to the Air Code of Ukraine, engage in discussion and improvement of the project of the Aviation Regulations of Ukraine, develop and launch an online educational course for users and a web-site with rules for the safe operation of UAVs.

Also the State Aviation Administration of Ukraine is on the way to develop a training course for obtaining a certificate of a remote pilot of such aircraft.

Automatic calculation of the safety of drones flows in urban conditions. At a result of analysis of the given regulations, the need to automatize the safety assessment of UAV routes emerges. Such automatization can be achieved by adapting the model of air traffic flows, used in [8] for exercise design in air traffic control simulators. Performance differences between aircraft and UAV are taken into account, as well as difference scales of air traffic service area and a single city. At the moment, the development of software, which incorporates these models and allows to consider the law regulations of drone flows on the actual area and calculate the safest routes for the drones according to these regulations, is in progress.

The software contains the map of the current urban area with the common drone flight routes, shown as black lines. The places of potential unsafe zones are shown as red circles. The software detects these zones and optimizes the routes to avoid collisions between the drones.

The software can be run on mobile and web. The possible fields of application of this software can include safety calculation for new UAV routes opening, assessment of implementation of the new generation of UAV, individual routes planning.

Conclusion. The huge demand for commercial and private drones also caused a number of problems related to safety, regarding the consequences of collisions and loss of control. In this regard, many countries at the legislative level have introduced a number of amendments to the air code. The “No-fly” zones appeared.

As a result of variety of law regulations, there is a need create the automatic system for calculation of the safety of drones flows in urban conditions and for prediction of the approximated safest routes of the flow.

Список літератури

1. IHS Jane's Intelligence Review, 2015; Intelligence Estimates, 2016 (references).
2. The UK Airprox Board Report from 7 Dec 2014, pp. 8–13.
3. Federal Law No. 462-FZ of 30.12.2015 "On Amending the Air Code of the Russian Federation with regard to the Use of Unmanned Aircraft", pp. 1–5.
4. Drones: guidelines for rules on commercial and recreational use and safety Resolution, EU Press Release, Ref.: 20151022IPR98819, 29-10-2015.
5. Regulation on common rules in the field of civil aviation and establishing a European Union Aviation Safety Agency (EC) No 216/2008 of the European Parliament, pp. 14-65.
6. Использование авиамodelей в Республике Беларусь. Совет Министров Республики Беларусь; Постановление, Правила от 16.08.2016 № 636. URL: <http://government.by/upload/docs/fileaeab4fba05047ee0.PDF> (дата обращения: 17.03.2020).
7. Про затвердження Правил польотів повітряних суден та обслуговування повітряного руху в класифікованому [...] . Мінтранс України; Наказ, Правила від 16.04.2003 № 293 . URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0346-03> (дата обращения: 17.03.2020).
8. Aleksey Izvalov, Sergey Nedelko, Vitaliy Nedelko. Set of Software for Automatic Control System of the Air Traffic Modeling Complex. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту.* 2014. Вип. 27. С. 266-274. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpkntu_2014_27_41 (дата обращения: 20.03.2020).

References

1. IHS Jane's Intelligence Review, 2015; Intelligence Estimates, 2016 (references) [in English].
2. The UK Airprox Board Report from 7 Dec 2014, pp. 8–13 [in English].
3. Federal Law No. 462-FZ of 30.12.2015 "On Amending the Air Code of the Russian Federation with regard to the Use of Unmanned Aircraft", pp. 1–5 [in English].
4. Drones: guidelines for rules on commercial and recreational use and safety Resolution, EU Press Release, Ref.: 20151022IPR98819, 29-10-2015 [in English].
5. Regulation on common rules in the field of civil aviation and establishing a European Union Aviation Safety Agency (EC) No 216/2008 of the European Parliament, pp. 14-65 [in English].
6. Ispol'zovanie aviamodelej v Respublike Belarus'. Sovet Ministrov Respubliki Belarus'; Postanovlenie, Pravila ot 16.08.2016 № 636. [Use of aircraft models in the Republic of Belarus. Council of Ministers of the Republic of Belarus; Resolution, Rules of 16.08.2016 N 636.]. *government.by*. Retrieved from <http://government.by/upload/docs/fileaeab4fba05047ee0.PDF> [in Russian].
7. Pro zatverdzhennia Pravyl pol'otiv povitrianykh suden ta obsluhovuvannia povitrianoho rukhu v klasyfikovanomu [...] . Mintrans Ukrainy; Nakaz, Pravyla vid 16.04.2003 № 293 [About approval of the Rules of Aircraft Flight and Air Traffic Services in the classified [...]]. Ministry of Transport of Ukraine;

- Order, Rules of 16.04.2003 N 293. *zakon3.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0346-03> [in Ukrainian].
8. Aleksey Izvalov, Sergey Nedelko & Vitaliy Nedelko (2014). Set of Software for Automatic Control System of the Air Traffic Modeling Complex, 27, 266-274. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpkntu_2014_27_41 [in English].

В.В. Єршов, асп., **С.М. Неділько**, проф., д-р техн. наук, **О.В. Ізвалов**, **В.М. Неділько**, доц.,
канд. техн. наук

Льотна академія Національного авіаційного університету, м. Кропивницький, Україна

Безпека потоків дронів в умовах їх масового використання в міському середовищі

У сфері розваг і цільового призначення за останні два роки безпілотники стали набагато доступнішими і отримали набір серйозних інструментів - камери, автопілоти тощо. Їх вартість стала прийнятною, функціональність зростала, управління стало простішим. У всьому світі розробляються та впроваджуються правила щодо використання безпілотних літальних апаратів для регулювання польотів та усунення потенційних небезпек. Актуальним є аналіз законодавчої бази щодо польоту безпілотників різних країн, а також розробка концепції безпечного польоту великої кількості безпілотників у міському середовищі.

сервісні безпілотники, масове використання, безпека потоків, GPS, нормативно-правові акти, БАПЛА, БПЛА, безпілотники, IoT

Одержано (Received) 09.04.2020

Прорецензовано (Reviewed) 15.04.2020
Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020

ПАМ'ЯТІ ПАТОНА Б.Є. – ВИДАТНОГО ВЧЕНОГО І ЛЮДИНИ

УДК 669.187.56

ВНЕСОК БОРИСА ЄВГЕНОВИЧА ПАТОНА У РОЗВИТОК ЗВАРЮВАННЯ

19 серпня 2020 року на 102 році пішов з життя видатний вчений, організатор науки, громадський діяч, директор Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона, Герой Соціалістичної Праці (1969, 1978 рр.), Герой України (1998 р.), заслужений діяч науки і техніки України (1968 р.), академік Національної академії наук України (з 1958 р.), її президент (з 1962 р.), академік АН СРСР - АН РФ (з 1962 р.), депутат Верховної Ради УРСР (1959-1988 рр.) та Верховної Ради СРСР (1962-1991 рр.), член ЦК КПРС Борис Євгенович Патон.

Борис Євгенович Патон - народився 27.11.1918 р. в м. Києві в сім'ї професора Євгенія Оскаровича Патона (з 1929 р. Академік АН УРСР). В цей же день відбулися перші збори Української академії наук. У 1929 році Є.О. Патона обирають академіком Всеукраїнської академії наук (ВУАН, тепер - Національна академія наук України). У тому ж році за пропозицією Є.О. Патона в складі ВУАН відкрито Електрозварювальну лабораторію, а в 1934 р - Інститут електрозварювання (ІЕЗ). У 1941 р. Борис Євгенович закінчив Київський індустріальний інститут і з 1942 р. до останніх днів життя працював в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України [1].

З початку Великої Вітчизняної війни ІЕЗ було евакуйовано в Нижній Тагіл (Свердловська обл., РФ) і розміщено на території "Уралвагонзавода". Тут з Харківського паровозного заводу №183 (ХПЗ), Маріупольського металургійного заводу та низки інших підприємств, евакуйованих з України, було створено Уральський танковий завод №183 (до тепер – "Уралвагонзавод"). Саме в КБ ХПЗ було створено Т34 - кращий танк Другої світової війни, а на металургійних заводах було налагоджено виробництво високоякісної броньової сталі. У Нижньому Тагілі Б.Є. Патон брав участь у створенні високопродуктивного автоматичного зварювання броньових сталей, впроваджував нову технологію на оборонних заводах. Одна установка, керована підлітками, заміняла 10-14 досвідчених зварювальників - ручників. Впровадження її на 50 заводах дозволило відмовити від американської допомоги і випустити 102 тисячі танків і САУ [2]. Тоді ж молодий фахівець виконав фундаментальні дослідження процесів зварювання під флюсом, використані для

вдосконалення зварювальної техніки [3]. З 1946 р. Б.Є. Патон – завідувач відділом. Він розробляє нову зварювальну техніку, досліджує процеси в зварювальних ланцюгах, розробляє системи керування зварювальними головками [4].

У 1949 р. Б.Є. Патоном і Г.З. Волошкевичем створений новий вид з'єднання – електрошлакове зварювання металів. Застосування цієї проривної технології з'єднання металів необмеженої товщини вже з 1950-х років відкрило нову еру науково-технічного прогресу, уможливило створення техніки нового покоління. Вперше в світі новий процес було випробувано на Ново-Краматорському машинобудівному заводі (НКМЗ) при виготовленні ковальсько-пресового устаткування і потужних енергетичних установок. Фахівці заводу творче удосконалили і розвинули новий вид зварювання. Зразу ж досвід було використано в хімічній, атомній та інших галузях промисловості [5]. І цю технологію кинулися купувати фірми США, ФРН, Швеції, Японії, її безоплатно впроваджували співробітники Інституту електрозварювання в Чехословаччині, НДР і інших країнах РЕВ.

Повоєнні інноваційні технології зварювання в десятки разів прискорили виробництво труб і будівництва трубопроводів, суднобудування, виробництва і ремонту залізничного транспорту, виготовлення цистерн, вагонів, вагонеток, будівництво домен, нафторезервуарів, газгольдерів, мостів.

Так, нова конструкція, обладнання та технологія виробництва, впроваджені на Торезькому заводі, прискорили випуск вагонеток для шахт і гірничо-збагачувальних комбінатів Донбасу і Криворіжжя, шахтарських ламп, кріпильних стояків в 25 разів. У 1946-48 р. на Маріупольському металургійному заводі ім. Ілліча була введена в дію лінія виробництва залізничних цистерн. У 1946-1947 рр. у ІЕЗ розроблено спосіб автоматичного високопродуктивного зварювання труб на значних швидкостях. На Харцизькому трубному заводі вперше в країні розпочалося виробництво високоякісних труб великого діаметра. Впровадження зварювання під флюсом дозволило звільнити для інших робіт понад 30 тис. кваліфікованих робітників [6]. До 1952 року в Україні, Білорусії, Молдові, Прибалтійських республіках, зокрема завдяки цим роботам, було повністю відновлено промислове виробництво.

У 1950-1953 роках Б.Є. Патон - заступник директора, з 1953 р. - директор ІЕЗ ім. Є.О. Патона.

Широкий науковий кругозір, здатність охоплювати весь комплекс проблем, розроблюваних інститутом, визначати тенденції і перспективи розвитку, постійний контакт із співробітниками дозволили Борисові Євгеновичу налаштувати колектив інституту на розв'язування великих, практично значимих завдань. Патон веде пошук нових методів прискорення впровадження наукових досягнень у виробництво. Інститут здійснив прорив у створенні нового обладнання - універсальної мобільної зварювальної апаратури (тракторів і шлангових напівавтоматів) і спеціалізованих складально-зварювальних установок, випередивши світовий розвиток техніки на десятиліття.

У 1960-1961 роках ІЕЗ спільно з ЦНДІТМАШ і заводом ім. Ілліча була розроблена лінія автоматизованої зварювання спіралешовних труб для металургійного заводу ім. Ілліча. На Маріупольському (тоді Жданівському) заводі важкого машинобудування створено конвеєр з виробництва ємностей об'ємом до 100 м³. Так Донбас увійшов в історію як полігон для випробувань, удосконалення і першого впровадження нових проривних технологій [4].

На вимогу нових проблем науково-технічного прогресу в 1960-х роках на засадах, розгорнутих Б.Є. Патоном фундаментальних досліджень, було створено зварювання і споріднені технології з використанням енергії електричної дуги в інертних газах, контактено-стикового нагріву, енергії електронного і лазерного променів

та ін. [7]. Створюються нові технологічні процеси плазмового зварювання, зварювання в магнітному полі, зварювання під водою, повітряно-плазмового різання, мікроплазмового зварювання та ін. [8, 9]. Вперше в світі створені складально-зварювальні пересувні комплекси для будівництва трубопроводів і безстикових "оксамитових" залізничних шляхів. Для будівництва надпотужних трубопроводів діаметром 1420 мм вперше в світі створено трубоварювальний комплекс "Північ" з самохідним апаратом, що переміщається усередині трубопроводу.

Нові принципи посекційного складання і зварювання кораблів значно знизили трудомісткість виробництва і прискорили створення флоту. У 1950-1970 рр. вперше в світі в ІЕЗ імені Є.О. Патона спільно з НДІ, КБ і підприємствами ракетно-космічної галузі створено обладнання та технології виробництва ракетно-космічної техніки, ампулізація ракет продовжила бойове чергування більш ніж на 20 років. Торезький завод шахтного обладнання виготовляв транспортні, підйомні та пускові установки ракет з космонавтами і ядерною зброєю. Конструкції ракет різних класів виготовляли на НКМЗ. В ці часи в Донецьк і Маріуполь Борис Євгенович декілька разів привозив президентів Академії наук СРСР М.В. Келдиша і А.П. Александрова, які вивчали досвід досягнення регіону, надавали замовлення.

Під керівництвом Б.Є. Патона були вирішені проблеми атомної енергетики - створені радіаційностійкі конструкційні матеріали, технології виготовлення реакторів, генераторів і інших вузлів атомних електростанцій, ядерних двигунів і ядерної зброї. Підприємства, НДІ і вищі навчальні заклади Донецько-Дніпровського регіону зробили значний внесок у розробку і випробування нової техніки.

У 1953-1960 рр. Б.Є. Патон створена теорія отримання металів і сплавів заданого складу методом електрошлакового переплавлення в синтетичних шлаках. Під його керівництвом розгорнулися роботи по використанню зварювальних джерел нагріву для металургійних технологій. Виник принципово новий вид металургії – спеціальна електрометалургія: електрошлаковий, електронно-променевий, плазмово-дуговий переплави. Електронно-променеве нанесення захисних жаростійких і зміцнюючих покриттів на лопатки турбін, сопла реактивних двигунів, корпуси хімічних джерел струму та ін. збільшило надійність і підвищило ресурс експлуатації в 5 - 10 разів.

В історії науково-технічного прогресу Б.Є. Патона залишиться першовідкривачем ери космічних технологій. На апараті "Вулкан", створеному під його керівництвом 16 жовтня 1969 р. на борту космічного корабля "Союз-6" космонавти В.М. Кубасов і Г.С. Шонін вперше в світі здійснили зварювання та термічне різання металів. У 1984 р. космонавти С.Є. Савицька і В.О. Джанібеков провели зварювання, паяння, напилення у відкритому космосі. В ІЕЗ розроблена техніка доставки в космос, на Місяць і планети великогабаритних конструкцій в згорнутому вигляді. Була встановлена можливість виготовляти матеріали з властивостями, недостижними в земних умовах, отримані унікальні напівпровідникові і композитні матеріали, надчисті ідеальні кристали [10].

У 1990 р. Б.Є Патон ініціював і керував створенням способів зварювання живих тканин людини. Першу спеціальну медичну клініку було відкрито у Донецьку. З того часу у багатьох країнах по технологіям ІЕЗ ім. Є.О. Патона зроблено сотні тисяч операцій [11].

Як президент, політичний і громадський діяч Б.Є. Патон багато зробив для розвитку культури, вирішення соціогуманітарних питань. Борису Євгеновичу притаманне почуття особистої відповідальності перед державою, народом і власною совістю. Він як депутат законодавчого органу влади, як член ЦК правлячої партії

використовував всі можливості для поліпшення життя людей, постійно дбав про поліпшення економічного і соціального становища народу.

Борис Євгенович Патон була людиною видатної організованості, діловитості, рідкісної здатності безпомилково схоплювати головне, миттєво приймати правильне рішення. Його багатогранність і працездатність вражали. Тільки завдяки глибокому почуттю особистої відповідальності перед державою, народом, власною совістю він успішно справлявся з таким навантаженням. Допомогала йому в цьому хороша фізична форма, регулярне заняття тенісом, водними лижами, плаванням.

Величезну увагу Борис Євгенович приділяв вихованню молоді. Він підтримував ідеї молодих співробітників, любив працювати з ними. Співробітниками ІЕЗ захищено більше 150 докторських і 700 кандидатських дисертацій. Серед співробітників багато лауреатів Ленінської премії, Державних премій СРСР і України, академічних премій. Вихованці Інституту електрозварювання керують підприємствами, вищими навчальними закладами, є провідними фахівцями міністерств і відомств України.

Глибоке розуміння ролі науки в суспільстві, її цілей і завдань, відданість науці, невичерпна енергія та високі моральні якості, суспільно-політична діяльність, досвід керівництва великим науковим колективом були вирішальними аргументами при виборі Бориса Євгеновича на посаду президента Академії наук УРСР. У 1962 році новий президент приступає до реконструкції штабу науки за вимогами сучасного науково-технічного прогресу.

Відповідно до статуту академії вибори її президента проводяться кожні п'ять років. Бориса Євгеновича переобирали 11 разів.

З ініціативи Б.Є. Патона в системі Академії наук УРСР почали створюватися нові інститути. Борис Євгенович організовує академічні установи в регіонах країни. В 1965 р. з його ініціативи в Донецьку створено перший академічний науковий центр і відкрито університет. Потім на досвіді Донецька починають працювати наукові центри АН УРСР в інших регіонах країни.

Б.Є. Патон постійно вів пошук нових організаційно-економічних форм підвищення ефективності наукової діяльності та результативності зв'язку науки з виробництвом. Під його керівництвом розроблялися партійно-урядові постанови і плани в масштабах держави, що стимулювали створення інноваційних технологій і їх впровадження. Він керував Координаційними радами СРСР і країн Ради економічної взаємодопомоги зі зварювання і споріднених технологій. З ініціативи Б.Є. Патона створена Міжнародна асоціація академії наук країн Європи і Азії, яку він очолював протягом 1993-2016 років. Інститути Української академії наук відвідували керівники СРСР, ФРН, Фінляндії, Франції, Югославії, Болгарії та ряду інших країн, провідні вчені та промисловці багатьох країн.

Багатостороння діяльність Б.Є. Патона відзначена Ленінською і Державною преміями СРСР і України, орденами і медалями СРСР, України, Росії, Болгарії, Великої Британії, Німеччини, Італії та багатьох інших країн. За великий внесок в науку він нагороджений медалями ім. М.В. Ломоносова, С.І. Вавілова, С.П. Корольова, В.І. Вернадського. Б.Є. Патон був обраний почесним і іноземним членом академії, наукових і технічних товариств багатьох країн, почесним професором і доктором наук багатьох вітчизняних і зарубіжних університетів, Почесним громадянином м. Маріуполь.

Список літератури

1. Борис Євгенович Патон. Біобібліографія. К.: Наукова думка, 2008. 623с.

2. Патон. Б.Е. Развитие автоматической электросварки под флюсом за годы войны. *Электричество*. 1945. № 3. С. 3–5..
3. Патон Б.Е., Макара А.М. Экспериментальное исследование процесса автоматической сварки под слоем флюса . Киев: Ин-т электросварки АН УССР, 1944. 92 с.
4. Патон Б.Е. Сварочные головки и питание их током. Киев: Изд-во АН УССР, 1947. 67 с.
5. Электрошлаковая сварка / под ред. Б.Е. Патона. Киев; Москва: Машгиз, 1956. 168с.
6. Сварка в СССР. Том 1. -М.: Наука, 1981. 533с.
7. Электронно-лучевая сварка / под ред. Б.Е. Патона. Киев : Наук. думка, 1987. 255 с.
8. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б.Е. Патона. Москва: Машиностроение, 1974. 768 с.
9. Микроплазменная сварка / под ред. Б.Е. Патона. Киев: Наук. думка, 1979. 247 с.
10. Космос: технологии, материаловедение, конструкции: сб. науч. тр. / ред.: Б. Е. Патон; сост.: А. А. Загребельный. К. : ИЭС им. Е.О.Патона НАН Украины, 2000. 528 с.
11. Тканесохраняющая высокочастотная электросварочная хирургия / под ред. Б.Е. Патона и О.Н. Ивановой. К.: Наукова думка, 2009. 198 с.

Підготовлено авторами:

Чигарьов Валерій Васильович - завідувач кафедри "Металургія і технологія зварювального виробництва" Державного вищого навчального закладу "Приазовський державний технічний університет", професор, доктор технічних наук, Заслужений діяч науки і техніки України

Макаренко Наталія Олексіївна - завідувач кафедри "Зварювальне виробництво" Донбаської державної машинобудівної академії, професор, доктор технічних наук.

ЗМІСТ

Комп'ютерна інженерія

- В.В. Свяцький, О.В. Скрипник, С.В. Конончук*
Комп'ютерне моделювання процесу прямого пресування через різні профілі матричних ліжок 3
- В.В. Смірнов, Н.В. Смірнова*
Архітектура контролера вузла адаптивної мобільної мережі з аморфною топологією..... 12

Кібербезпека

- К.Н. Марченко, О.В. Оришака, А.К. Марченко*
Проблеми інформаційної безпеки людини в умовах епідемії 22

Прикладна механіка

- М.М. Студент, С.І. Маркович, М.Я. Головчук, Г.В.Похмурська, Г.В. Чумало, В.М. Гвоздецький*
Вплив діаметра електродних порошкових дротів на механічні характеристики електродугових покриттів 32
- В.В. Чигарьов, Ю.В. Логвінов, А.Г. Білик*
Зниження утворення оксидів при напаленні зносостійких сплавів 43

Матеріалознавство

- Volodymyr Kropivnyi, Mykola Bosyi, Olexandr Kuzyk, Olena Kropivna*
Specific Distribution of Thermal Effects of Graphite Forming Reactions in High-strength Cast Iron..... 48
- В.В. Аулін, І.Ф. Василенко, М.В. Красота*
Теоретичне обґрунтування експлуатаційних властивостей деталей автомобілів, зміцнених композиційними покриттями, методом кластерних компонентів 54
- В.М. Ломакін, Л.А. Молокост*
Ударостійкий чавун для молільних тіл 65
- А.В. Рутковський, С.І. Маркович, С.С. Михайлюта*
Теплостійкість іонноазотованих алюмінієвих сплавів при ізотермічному та термоциклічному впливі 72
- О.О. Іванов*
Дослідження структури та властивостей зносостійких покриттів отриманих методом напалення порошковими електродами на основі системи Fe-Ti-B-C 81

- А.В. Кропивна, О.В. Кузик*
Аналіз та гармонізація національних до міжнародних стандартів якісних показників чавунів з вермикулярним графітом 88

Галузеве машинобудування

- К.В. Борак*
Вплив рослинних решток на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин 96
- О.Д. Деркач, О.С. Кабат, Д.О. Макаренко, Б.Г. Харченко*
Обґрунтування полімерних матеріалів для використання у конструкціях плугів 102
- С.В. Конончук, О.В. Скрипник, В.В. Свяцький, В.В. Пукалов*
Дослідження впливу конструкції шлаковловлювача на ефективність затримки шлаку в середовищі параметричного моделювання SolidWorks Flow Simulation 108
- І.І. Павленко, М.О. Годунко, О. А. Кислун, Є.С. Костюк*
Дослідження кутових переміщень платформи МПС із ріжучим інструментом 117
- В.О. Дзюра*
Класифікація частково регулярних мікрорельєфів, сформованих на торцевих поверхнях тіл обертання 129
- М.В. Босий, О.В. Кузик*
Ефективність циклу теплового насоса для теплопостачання 136

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

- О.П. Лобок, Б.М. Гончаренко, Л.Г. Віхрова*
Зведення задачі мінімаксного керування лінійними нестационарними системами до H^∞ – робастного шляхом динамічної гри 143
- В.М. Ломакін, В.В. Пукалов, В.І. Дубодєлов, М.С. Горюк*
Автоматизація порційної розливки розплаву чавуну в кокіль при виробництві виливків деталей машин гірничорудної промисловості 163
- І.А. Березюк, О.П. Голик, В.П. Солдатенко*
Динамічне проектування оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання для стрічкопилкового верстата 169
- О. П. Голик, І. А. Березюк, М. С. Мірошніченко, Ісмаїл Мухаммед*
Моніторинг та аналіз нафтових забруднень водних ресурсів з використанням інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень 175
- Є.В. Мелешко, Д.С. Бакін*
Метод секторної растрезації для зображення на відеопристрої з

механічною розгорткою 182

Будівництво та цивільна інженерія

Iryna Karpiuk, Vasyl Karpiuk

Surface subsidence ground during tunnel construction..... 194

В.А. Пашинський, С.О Джирма, М.В. Пашинський

Теплові характеристики вузлів примикання вікон до цегляних та залізобетонних стін цивільних будівель на території Кіровоградської області 200

Oleksandr Semko, Anton Hasenko, Aleksey Fenko,

J Godwin Emmanuel B. Arch., Victor Dariienko

Architectural and Constructive Decisions of a Triangular Reinforced Concrete Arch With a Self-stressed Steel Brace 209

О. А. Кислун, Ю.М. Пархоменко, І.О. Скриннік, В.В. Дарієнко

IT в процесах створення та експлуатації об'єктів будівництва..... 218

Агроінженерія

В.І. Крутякова, В.М. Бельченко, Б.М. Шейкін, В.М. Булгаков,

І.В. Головач, М.О. Свірень

Шляхи розвитку промисловості з виробництва біологічних засобів захисту рослин в Україні 226

А.С. Лімонт, З.А. Лімонт

Масово-об'ємні параметри і лінійні розміри платформи тракторних причепів 241

Автомобільний транспорт

В.В. Аулін, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків, А.Є. Чернай, В.В.Слонь, А.П. Лукашук

Вплив процесів, що відбуваються в рухомих спряженнях деталей транспортних машин під дією компонентів геомодифікатора, на ефективність триботехнологій припрацювання і відновлення..... 250

В. А. Сиволапов, А. В. Новицький, В.С. Хмельовський, О. М. Бистрий

Дослідження процесу теплопередачі в циліндрах двигуна внутрішнього згоряння..... 266

Є.К. Солових, В.О. Дубовик, В.В. Пукалов, Ю.А. Невдаха, А.М. Серєда

Підвищення якості припрацювання деталей двигунів автомобілів при обкатці застосуванням присадки комплексної дії 274

Є.К. Солових, В.О. Дубовик, А.Є. Солових, С.Є. Катеринич, М.І. Ішов

Дослідження процесу гальмування вивішених коліс автомобіля з гідравлічним приводом гальм 282

Транспортні технології (за видами)

<i>В.В. Аулін, Д.В. Голуб, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків, В.О. Дьяченко, А.С. Замуренко</i> Теоретичний підхід до оцінки ймовірностей безвідмовної роботи транспортних та виробничих систем і ланцюгів постачань на основі їх логічних структурних схем надійності	290
<i>О.С. Дубицький, В.І. Бодак, Н.Г. Куць, Ю.В. Булік</i> Проблеми та перспективи розвитку міжнародного ринку транспортних послуг	305
<i>В. М. Боков, О. Ф. Сіса, В. В. Юр'єв</i> Удосконалення процесу обробки тіл обертання електричною дугою	313
<i>І.О. Хітров, М.Є. Кристончук</i> Закономірності формування і розподілу транспортних та пасажирських потоків	324
<i>В.В. Аулін, А.В. Гриньків, А.О. Головатий</i> Кіберфізичний підхід при створенні, функціонуванні та удосконаленні транспортно-виробничих систем.....	331
<i>Є.М. Шапенко</i> Психофізіологічні особливості роботи водіїв автобусів в містах	344
<i>О.А. Дакі</i> Автоматизація процесів технічного обслуговування та ремонту річкових суден з використанням методів виробничої логістики	351
<i>О.І. Субочев, В.В. Мартинюк, О.Є. Січко</i> Підвищення ефективності сервісних підприємств за рахунок зацікавленості клієнтів автопослуг	358
<i>Vladyslav Ershov, Serhiy Nedilko, Oleksiy Izvalov, Vitaliy Nedilko</i> Safety Of Drones Flows In Conditions Of Their Mass Use In The City	369

Пам'яті Патона Б.Є. – видатного вченого і людини

Внесок Бориса Євгеновича Патона у розвиток зварювання (<i>В.В. Чигарьов, Н.О. Макаренко</i>)	377
--	-----

CONTENT

Computer Engineering

Volodymyr Sviatskyi, Oleksandr Skrypnyk, Serhii Kononchuk
Computer Simulation of the Direct Pressing Process Through Various
Matrix Funnel Profiles 3

Volodymyr Smirnov, Natalia Smirnova
Adaptive Mobile Network With Amorphous Topology Node Controller
Architecture
..... 12

Cybersecurity

Konstantyn Marchenko, Oleh Oryshaka, Anzhelyka Marchenko
Information Security Challenges in the Context of the Epidemic 22

Applied mechanics

*Mykhajlo Student, Myroslav Golovchuk, Halyna Chumalo, Volodymyr Hvozdetzkii,
Sergiy Markovych, Hanna Pohkmurska*
Influence of Diameter of Electrode Powder-like Wires is on Mechanical Descriptions
of Elektrodugovikh Coverages 32

Valeriy Chigarev, Yuriy Logvinov, Alexandr Belik
Reduction of Oxides Formation During Surfacing of Wear-resistant Alloys 43

Materials science

Volodymyr Kropivnyi, Mykola Bosyi, Olexandr Kuzyk, Alena Kropivna
Specific Distribution of Thermal Effects of Graphite Forming Reactions
in High-strength Cast Iron 48

Viktor Aulin, Ivan Vasylenko, Mykhailo Krasota
Theoretical Substantiation of the Operational Properties of Automobile Parts
Reinforced with Composite Coatings by the Method of Cluster Components 54

Viktor Lomakin, Lyudmyla Molokost
Impact Resistant Cast iron for Grinding Bodies 65

Anatoly Rutkovskiy, Sergiy Markovych, Sergiy Myhajlyta
Thermostability of Ionic Nitriding of Aluminium Alloys at Isothermal
and Thermal-cycle Influence 72

Olexandr Ivanov
Researching of the Structure and Properties of Wear-resistant Coatings
Obtained by Surfacing With Powder Electrodes Based on the Fe-Ti-B-C System 81

<i>Alena Kropivna, Olexandr Kuzyk</i> Analysis and Harmonization of National and International Quality Standards for Compacted Graphite Cast Irons.....	88
---	----

Industry engineering

<i>Kostiantyn Borak</i> Effect of Plant Remains on the Tilling Machine Movable Operating Parts Abrasive Wear Rate	96
<i>Oleksii Derkach, Oleh Kabat, Dmytro Makarenko, Borys Kharchenko</i> Substantiation of Polymer Materials for the Use in Plow Constructions.....	102
<i>Serhii Kononchuk, Oleksandr Skrypnyk, Volodymyr Sviatskyi, Viktor Pukalov</i> Investigation of the Effect of Slag Trap Design on Slag Delay Efficiency in the SolidWorks Flow Simulation parametric Modeling Environment	108
<i>Ivan Pavlenko, Maksym Hodunko, Oleg Kyslun, Evhen Kostyuk</i> Research Motor Capabilities of the Executive Authority (MP) PKM When Making Cross Motion Angle	117
<i>Volodymyr Dzyura</i> Classification of Partially Regular Microreliefs Formed on the End Surfaces of Rotary Bodies.....	129
<i>Mykola Bosiy, Olexandr Kuzyk</i> Heat Pump Cycle Efficiency for Heat Supply	136

Automation and computer-integrated technologies

<i>Oleksij Lobok, Boris Goncharenko, Larisa Vihrova</i> Reducing the Problem of Minimax Control of Linear non-Stationary Systems to a H^∞ - Robust One by the Way of Dynamic Game	143
<i>Viktor Lomakin, Viktor Pukalov, Viktor Dubodelov, Maksim Goryuk</i> Automation of Batch Casting of Cast Iron Melts in the Chill Mold in the Production of Castings of Machine Parts for the Mining Industry	163
<i>Iryna Bereziuk, Olena Holyk, Valentyn Soldatenko</i> Dynamic Design of Optimal Stochastic Stabilization System of Cutting Power on a band saw machine.....	169
<i>Olena Holyk, Iryna Bereziuk, Mariya Miroshnichenko, Mohammad Ismail</i> Monitoring and Analysis of Oil Pollution of Water Resources With Using an Intelligent Decision Support System	175
<i>Yelizaveta Meleshko, Dmytro Bakin</i> Sector Rasterization Method for Images on a Video Device With Mechanical Scanning	182

Construction and civil engineering

- Iryna Karpiuk, Vasyl Karpiuk*
Surface Subsidence Ground During Tunnel Construction 194
- Victor Pashynskiy, Stanislav Dzhyrma, Mykola Pashynskiy*
Thermal Characteristics of Window Junctions to Brick and Reinforced
Concrete Walls of Civil Buildings in the Kirovograd Region 200
- Oleksandr Semko, Anton Hasenko, Aleksey Fenko,
J Godwin Emmanuel B. Arch., Victor Dariienko*
Architectural and Constructive Decisions of a Triangular Reinforced Concrete
Arch With a Self-stressed Steel Brace 209
- Oleh Kyslun, Yuriy Parhomenko, Ivan Skrynnik, Viktor Dariienko*
IT in the Processes of Creation and Operation of Construction objects 218

Agricultural engineering

- Valentyna Krutiakova, Volodymyr Belchenko, Borys Sheikin,
Volodymyr Bulgakov, Ivan Golovach, Mykola Sviren*
Ways of industrial development for the production of biological plant
protection products in Ukraine 226
- Anatoliy Limont, Zlata Limont*
The Mass and Volume Parameters and the Linear Dimensions of the Platform
of Tractor Trailers 241

Road transport

- Viktor Aulin, Sergey Lysenko, Andriy Grinkiv, Andriy Chernai,
Viktor Slon, Andriy Lukashuk*
Influence of the Processes Occurring in the Movable Interfaces of the Parts
of Transport Machines Under the Action of the Components of the Geomodifier
on the Efficiency of Tribotechnologies of Running-in and Recovery 250
- Volodumur Suvolapov, Andriy Novitskiy, Vasul Khmelevski, Oleksandr Bustruy*
Investigation of the Heat Transfer Process in Internal Combustion Engine
Cylinders 266
- Yevhen Solovykh, Viktor Dubovyk, Viktor Pukalov, Yurii Nevdakha, Andrii Sereda*
Improving the Quality of Running-in of Car Engine Parts During Running-in Using
a Complex Action Additive 274
- Yevhen Solovykh, Viktor Dubovyk, Andrii Solovykh, Stanislav Katerynych,
Maksym Ishov*

Investigation of the Braking Process of Suspended Wheels of a Car With a Hydraulic Brake Drive	282
--	-----

Transport technologies (by types)

<i>Vktor Aulin, Dmytro Holub, Sergiy Lisenko, Andriy Grinkiv, Viktoria Dyachenko, Artem Zamurenko</i> Theoretical approach to estimating the probabilities of trouble-free operation of transport and production systems and supply chains based on their logical structural schemes of reliability	290
<i>Oleksandr Dubytskyi, Vladimir Bodak, Nadiya Kuts, Yuri Bulik</i> Problems and Prospects of Development of the International Market of Transport Services.....	305
<i>Victor Bokov, Oleh Sisa, Vasyl Yuryev</i> Improving Electrical Discharge Machining Process for Bodies of Rotation.....	313
<i>Ihor Khitrov, Mykhailo Krystopchuk</i> Regularities of Formation and Distribution of Transport and Passenger Flows.....	324
<i>Viktor Aulin, Andrey Grinkiv, Artem Holovatyi</i> Cyberphysical Approach to the Creation, Operation and Improvement of Transport and Production Systems	331
<i>Yevheniia Shapenko</i> Psychophysiological Features of Bus Drivers in Cities	344
<i>Olena Daki</i> Automation of Processes of Maintenance and Repair of River Vessels Using Methods of Production Logistics	351
<i>Olexander Subochev, Vyacheslav Martynyuk, Olexander Sichko</i> Efficiency Upgrading of Service Enterprises at the Price of Interest of Auto Services' Clients.....	358
<i>Vladyslav Ershov, Serhiy Nedilko, Oleksiy Izvalov, Vitaliy Nedilko</i> Safety Of Drones Flows In Conditions Of Their Mass Use In The City	369

In memory of Paton BE - an outstanding scientist and man

Borys Yevhenovych Paton's contribution to the development of welding (Valeriy Chigarev, Nataliia Makarenko)	377
--	-----

Матеріали подаються у друкованому вигляді та на електронному носії. Обсяг статті – 5-12 сторінок. Основний текст рукопису друкується 12 кеглем; шрифт – Times New Roman; міжрядковий інтервал – 1,0; відступ – 1,25 см; поля: верх – 2 см, низ – 3см, право, ліво – 2 см. Текст повинен бути вирівняний по ширині аркуша.

Підписи до рисунків і набирати шрифтом Times New Roman 10 (по центру), таблиць 14 (з абзацу). Після рисунка, таблиці схеми – вказується джерело
Рисунки й таблиці розміщуються в тексті статті з вирівнюванням по центру сторінки, без обтікання текстом у рамках поля набору. Рисунки й таблиці подаються в статті безпосередньо після тексту, де їх згадано вперше. На кожен формулу, таблицю, рисунок, графік у тексті мають бути обов'язкові посилання.

Анотація українською (російською) мовами – до 10 рядків тексту (до 500 знаків), обов'язково 3-7 ключових слів;

Анотація англійською мовою повинна бути не менше ніж 1800 знаків:

Структура анотацій:

- мета статті;
- короткий опис виконаної роботи;
- висновки по роботі;
- перелік ключових слів;

Структура основного тексту статті:

1. **Постановка проблеми.**
2. **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**
3. **Постановка завдання (мета статті).**
4. **Виклад основного матеріалу.**
5. **Висновки і перспективи подальших досліджень.**

Схема організації матеріалу статті:

1. УДК
2. Ініціали, прізвище, вчене звання, науковий ступінь
3. Місце роботи, місто, країна. e-mail
4. Назва статті.
5. Анотація і ключові слова мовою статті.
6. Ідентично з 2-5 російською (українською) мовою.
7. Основний текст статті.
8. Список літератури. *
9. References
10. Розширена анотація і ключові слова англійською мовою.

Редакційна колегія Центральноукраїнського наукового вісника повідомляє, що всі статті які надходять перевіряються на плагіат системою Unicheck (<https://corp.unicheck.com>)

Адреса для надсилання: stat_kntu@ukr.net, aulinvv@gmail.com

ДОВІДКА ПРО АВТОРА
українською, російською та англійською мовами

	Українською	Російською	Англійською
Прізвище, ім'я, по-батькові:			
Місце роботи (повна назва, без аббревіатур), місто, країна:			
Посада (повна назва, без аббревіатур):			
Наукова ступінь:			
Вчене звання:			
Назва статті:			
*Спеціальність:			
Адреса для надсилання збірнику:			
Контактні телефони (бажано мобільний):			
E-mail:			
ORCID ID (XXXX-XXXX-XXXX-XXXX)			

* – 122 Комп'ютерні науки; 123 Комп'ютерна інженерія; 125 Кібербезпека; 131 Прикладна механіка; 132 Матеріалознавство; 133 Галузеве машинобудування; 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології; 192 Будівництво та цивільна інженерія; 208 Агроінженерія; 274 Автомобільний транспорт; 275 Транспортні технології (за видами)

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВИЙ ВІСНИК.
ТЕХНІЧНІ НАУКИ

В и п у с к 3(34)

Відповідальний за випуск І.М. Березюк, О.М. Кузик

Комп'ютерна верстка І.М. Каліч

Тиражування О. Г. Каліч

*Приватне підприємство «Ексклюзив-Систем»
Свідоцтво № ДК 4470 від 17.01.2013р.
25006, м. Кіровоград, вул. Шевченка, 25
тел./факс 24-35-53*

Підписано до друку 19.10.2020р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Офсетний друк. Умов. друк. арк. 48,75
Тираж 300 прим. Зам. № 0518