

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

УДК 004 + 331.4

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.3-12](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.3-12)

К.М. Марченко, доц., канд. техн. наук, **О.В. Оришака**, доц., канд. техн. наук,
С.О. Брагінець, **Д.О. Берестенко**
Центральноукраїнський національний технічний університет, м Кропивницький, Україна
e-mail: k_marchenko@i.ua

Вплив якості програмного забезпечення на продуктивність праці та стомлюваність працівників

У статті розглянуті аспекти наукової організації праці та охорони праці в галузі інформаційних технологій. Проаналізовано чинники продуктивності праці на комп'ютеризованих робочих місцях та стомлюваності працівників, визначено їх пріоритетність. Показано, що продуктивність праці є інтегральним критерієм оптимальності організації праці та програмного забезпечення на комп'ютеризованому робочому місці. Приділено увагу питанням ефективності та ергономічності програмного забезпечення, зокрема, програмних інтерфейсів, як важливої складової в підвищенні продуктивності праці та охорони праці.

охорона праці, наукова організація праці, комп'ютер, робоче місце, програмне забезпечення, програмний інтерфейс, продуктивність праці, стомлюваність

Постановка проблеми. В інформаційному суспільстві безперервно зростає номенклатура галузей та професій, пов'язаних з використанням комп'ютерної техніки та програмного забезпечення. Статистика [1] показує, що майже половина з 1600 опитаних працівників заявили, що використовують програмне забезпечення більше шести годин на день. Це приводить до необхідності перегляду класичних засад організації та охорони праці на робочих місцях.

Наукова організація праці, пов'язаної з використанням комп'ютерної техніки, повинна враховувати психофізіологічні особливості роботи з інформацією, відповідними технічними засобами та програмним забезпеченням, що сприяє як безпечним та здоровим умовам праці, виконанню вимог стандартів з охорони праці, так і її високій ефективності, зокрема, продуктивності. Отже, наукова організація праці та охорона праці є органічно пов'язаними галузями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Таким чином, дослідження з оптимальної організації праці при роботі з комп'ютером та програмного забезпечення є **актуальною задачею**.

Питанням наукової організації праці присвячені дослідження [2, 3]. Зокрема, в цих роботах розглядаються вплив наукової організації праці на підвищення продуктивності праці.

Наукова організація праці програмістів та інших працівників, робота яких пов'язана з комп'ютерною обробкою інформації, знаходиться на стадії зародження та не охоплює всіх аспектів таких галузей праці. Дослідження та рекомендації стосовно роботи на комп'ютеризованих робочих місцях спрямовані переважно на ергономічні параметри робочого місця, взаємодію зорового апарату працівників з відеомоніторами та режимами праці й відпочинку.

Організація робочого місця користувача комп'ютера регламентується ДНАОП 0.00-1.31-99.

Безпека використання персональних комп'ютерів обумовлена вимогами СанПіН 2.2.2 / 2.4.1340-03 "Гігієнічні вимоги до персональних електронно-обчислювальних машин і організації роботи", які визначають санітарно-епідеміологічні вимоги до проектування, виготовлення та експлуатації персональних електронно-обчислювальних машин, проектування приміщень, призначених для їх експлуатації а також до організації робочих місць, обладнаних комп'ютерами та виробничим обладнанням на базі комп'ютерної техніки.

Ергономічні вимоги до організації робочих місць користувачів комп'ютерів включають геометричні параметри стільця та столу, розміщення комп'ютерного монітора та інших пристроїв [4, 5].

Разом з тим дослідження показують суттєвий вплив інтенсивності інформаційного потоку на робочому місці на стан працівників [6]. Тому актуальними є питання охорони праці в галузі інформаційних технологій з урахуванням специфіки професійної діяльності у цій сфері.

Аналіз наукових робіт з організації та охорони праці в галузі інформаційних технологій показав недостатність досліджень впливу організації та якості комп'ютерного програмного забезпечення на продуктивність праці та стомлюваність працівників.

Постановка завдання. Метою досліджень є вивчення можливостей підвищення продуктивності праці та зниження стомлюваності працівників на комп'ютеризованих робочих місцях. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі досліджень:

1. Проаналізувати особливості праці та організації праці на комп'ютеризованих робочих місцях.
2. Обґрунтувати чинники продуктивності праці та стомлюваності працівників у сфері інформаційних технологій.
3. Визначити степінь впливу окремих чинників на продуктивність праці та стомлюваність працівників.
4. Дослідити шляхи підвищення продуктивності праці та зниження стомлюваності працівників за рахунок удосконалення програмного забезпечення на комп'ютеризованих робочих місцях.

Виклад основного матеріалу. Аналіз умов праці на комп'ютеризованих робочих місцях показав такі особливості, як багатогодинна праця в сталому напруженому положенні, мала рухова активність при значних локальних динамічних навантаженнях, зокрема, суглобів та м'язів кистей рук, шиї та спини. Праця в інформаційній діяльності пов'язана з обробкою великих обсягів інформації, із застосуванням комп'ютерної техніки, із частим прийняттям відповідальних рішень в умовах обмеженого часу. Тривала робота на комп'ютеризованому робочому місці призводить до значного навантаження на елементи зорового апарату. Ці фактори зумовлюють високий рівень нервово-психічного перевантаження, зниження функціональної активності центральної нервової системи, призводить до розвитку втоми, виникнення стресу.

Проаналізуємо чинники, від яких залежить продуктивність праці на комп'ютеризованому робочому місці.

Організація робочого місця утворює як фізичний, так і психологічний вплив на ефективність праці. Крім нормативних параметрів, таких як освітлення, розміри столу та стільця, положення відеомонітору та клавіатури слід враховувати також оптимальне розміщення інших периферійних пристроїв та організаційної техніки, їх доступність, укладення кабелів тощо.

Режим праці включає степінь навантаження на працівника, як кількість завдань, запланованих на певний період часу, інтенсивність інформаційного потоку,

обґрунтоване чергування періодів роботи та відпочинку працівників. Надмірно інтенсивне навантаження на працівників, відсутність своєчасних перерв на відпочинок приводить до швидкої втоми та значного зниження змінної продуктивності праці.

Степінь уніфікації завдань, які виконуються на даному робочому місці, впливає на терміни їх виконання. При надходженні на робоче місце типових завдань їх виконання працівником доводиться до рівня автоматизму, в той час як унікальні завдання вимагають розгляду, детального вивчення, пошуку алгоритмів та засобів їх вирішення. З одного боку, уніфікація завдань пришвидшує їх вирішення, з іншого боку, може спричинити монотонність праці, яка сприяє втомі. При надходженні завдань декількох характерних типів, ці завдання доцільно поділити на групи. Якщо потік завдань щільний, слід розподілити ці групи завдань за окремими робочими місцями та доручити їх виконання декільком працівникам, кваліфікація та спеціалізація яких відповідає типу завдань.

Складність завдань, що вирішуються на робочому місці, суттєво впливає на трудомісткість та напруженість праці, на час виконання завдань, отже, продуктивність праці стає відносною та мало визначеною.

Аналогічним чином впливає на продуктивність праці степінь відповідальності працівника за правильність прийняття рішень, особливо в умовах обмеженого часу. Кожне рішення в такому випадку необхідно вивіряти та перепроверити. Окремі випадки потребують колегіального рішення, що спричиняє затримки при виконанні завдань.

Рівномірність вхідного потоку завдань бажано підтримувати постійною та оптимальною, бо як простої, так і форсування в виконанні завдань негативно впливають як на продуктивність праці, так і на психічний стан працівників.

Продуктивність комп'ютерного обладнання, швидкодія програмного забезпечення, швидкість мережевого обміну даними напряму впливає на продуктивність праці при обробці інформації. "Зависання" інформаційних процесів, збої в роботі програм та обладнання, неоднозначність або незрозумілість даних не тільки уповільнюють та призупиняють роботу, а й викликають підвищене психічне напруження, дратування, втому оператора.

Продуктивність обробки інформації також залежить від відповідності комп'ютерного та мережевого обладнання, встановленого програмного забезпечення до завдань, що виконуються на даному робочому місці.

Якість встановленого на комп'ютері програмного забезпечення впливає не тільки на швидкість, коректність виконання завдань з обробки інформації та на точність отриманих результатів, а й на стан працюючих із цим програмним забезпеченням, отже, опосередковано на продуктивність їх праці. За результатами опитування [1] 62% працівників відчували, що не досягають свого професійного потенціалу через програмне забезпечення, яке вони використовують на роботі. Близько 95% працівників згодні з тим, що якісне програмне забезпечення може підвищити продуктивність їх праці (рис. 1).

Майже 52% всіх співробітників у якийсь момент стали незадоволені роботою через якість програмного забезпечення, яке вони використовують у своїй роботі. Роботодавців занепокоює, зокрема, те, що програмне забезпечення, яке працівники повинні використовувати на роботі, змусило 24% з опитаних залишити роботу. 95% респондентів сказали, що вони були б «дуже задоволені» або «задоволені», якби на роботі мали кращі програмні інструменти.

Продуктивність праці напряму залежить від стомлюваності працівників, у тому числі на комп'ютеризованих робочих місцях. Важливими чинниками стомлюваності працівників є не тільки режим роботи та організація робочого місця, а й організація та

якість програмного забезпечення.

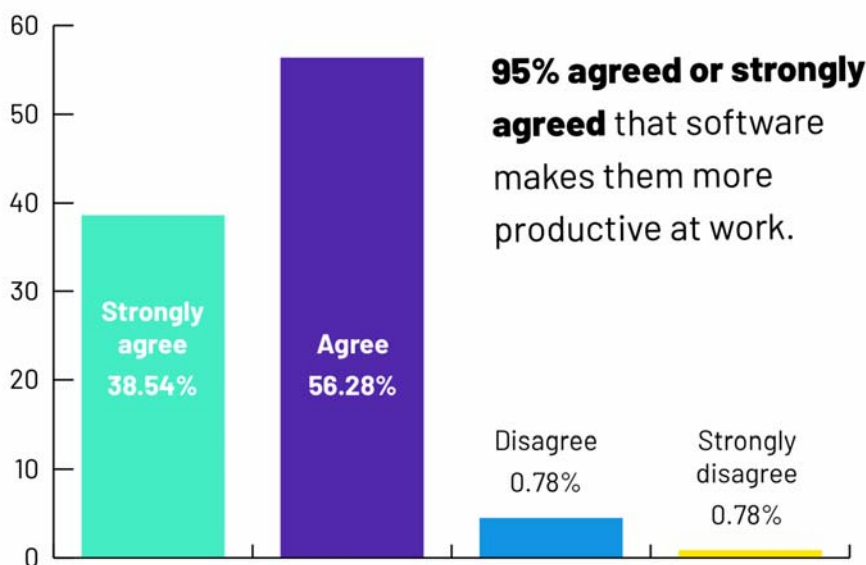


Рисунок 1 – Результати опитування працівників щодо впливу якості програмного забезпечення на продуктивність праці

Джерело: на підставі [1]

Якщо завдання на комп'ютеризованому робочому місці можуть бути виконані за допомогою двох або більше комп'ютерних програм, доцільним є вибір оптимального програмного забезпечення за критеріями продуктивності праці та стомлюваності працівників, наприклад, шляхом тестування програмного забезпечення та замірюванням продуктивності виконання завдань з обробки інформації одним і тим же працівником протягом заданого інтервалу часу. Стомлюваність працівника певної кваліфікації може бути виміряна зниженням продуктивності праці при виконанні однотипних завдань як зменшення кількості виконаних завдань за подальші рівні відрізки часу. При тестуванні альтернативного програмного забезпечення слід зупинити вибір на тих комп'ютерних програмах, які викликають меншу стомлюваність оператора, отже, сприяють більшій продуктивності праці.

Таким чином, продуктивність праці може виступати інтегральним критерієм оптимальності в організації праці, робочого місця та програмного забезпечення на комп'ютеризованих робочих місцях.

Степінь впливу розглянутих чинників продуктивності праці на комп'ютеризованому робочому місці визначимо за допомогою методу експертних оцінок [7] з використанням процедури простого ранжирування. Для ранжирування чинників продуктивності використовувалась узагальнена думка / оцінка групи експертів, що складалася з працівників сфери інформаційних технологій, які є практичними користувачами комп'ютерного обладнання та програмного забезпечення у повсякденній професійній діяльності. Експертам пропонується оцінити вплив чинників продуктивності праці за 10-бальною шкалою.

Множину чинників продуктивності праці позначимо як

$$Q = \{q_i\}, i = 1 \dots m,$$

множина експертних оцінок чинників продуктивності праці, де оцінка дається кожному з m чинників кожним з j -експертів

$$E = \{e_{ij}\}, j = 1 \dots n.$$

Матриця експертних оцінок має вигляд, представлений у таблиці 1.

Таблиця 1 - Матриця експертних оцінок

Чинники	Результати експертного оцінювання			Значення складових продуктивності
	E_1	...	E_n	
q_1	e_{11}	...	e_{1n}	r_1
...
q_m	e_{m1}	...	e_{mn}	r_m
	\bar{e}_1	...	\bar{e}_n	R

Джерело: на підставі [7]

Задача полягає у розташуванні чинників за зниженням сумарної зваженої експертної оцінки, забезпечуючи виконання нерівності

$$e_{i1} \geq e_{i2} \geq \dots \geq e_{in}, i = 1 \dots m,$$

$$e_{i1} = \max_j(e_{ij}), e_{in} = \min_j(e_{ij}).$$

Середні значення оцінок альтернативних варіантів організації праці

$$\bar{e}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m e_{ij}, j = 1 \dots n. \quad (1)$$

Таким чином,

$$\bar{e}_1 \geq \bar{e}_2 \geq \dots \geq \bar{e}_n.$$

Середній результат для всіх експертних оцінок

$$\bar{e} = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m e_{ij}. \quad (2)$$

Для урахування потенційного впливу кожного чинника застосуємо вагові коефіцієнти до чинників, що задовольняють умовам

$$\sum_{j=1}^m v_j = 1; v_j \geq 0$$

Розрахуємо вагові коефіцієнти за формулою

$$v_j = \frac{\sum_{i=1}^m e_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m e_{ij}} \quad (3)$$

Зважені значення кожного з чинників продуктивності праці

$$r_i = \sum_{j=1}^m v_j e_{ij}. \quad (3)$$

Результати ранжирування чинників продуктивності праці на комп'ютеризо-

ваному робочому місці представлені в таблиці 1.

Таблиця 2 - Результати ранжирування чинників продуктивності праці на комп'ютеризованому робочому місці

Ранг чинника	Найменування чинника	Ваговий коефіцієнт	Узагальнена середня оцінка
1	Режим праці, втома працівника	0,21	9,23
2	Складність завдань	0,18	8,46
3	Якість програмного забезпечення	0,14	7,9
4	Організація програмного забезпечення	0,13	7,7
5	Степінь уніфікації завдань	0,11	6,65
6	Рівномірність вхідного потоку завдань	0,1	5,14
7	Продуктивність комп'ютерного обладнання	0,08	4,88
8	Організація робочого місця	0,05	3,27

Джерело: розроблено авторами

Аналогічну процедуру було проведено для ранжирування чинників стомлюваності працівників на комп'ютеризованих робочих місцях (таблиця 2).

Таблиця 3 - Результати ранжирування чинників стомлюваності працівників на комп'ютеризованих робочих місцях

Ранг чинника	Найменування чинника	Ваговий коефіцієнт	Узагальнена середня оцінка
1	Режим праці	0,25	9,35
2	Складність завдань, нервові напруження	0,21	8,15
3	Організація робочого місця, робоче положення	0,15	6,46
4	Якість програмного забезпечення	0,12	6,23
5	Організація програмного забезпечення	0,12	5,3
6	Якість комп'ютерного обладнання	0,1	4,58
7	Монотонність праці	0,05	3,12

Джерело: розроблено авторами

Отримані результати показують суттєвий вплив якості програмного забезпечення на продуктивність праці (третій ранг серед чинників) та стомлюваність (четвертий ранг серед чинників).

Розглянемо шляхи удосконалення програмного забезпечення з метою підвищення продуктивності праці на комп'ютеризованих робочих місцях та зниження стомлюваності працівників.

Організація програмного забезпечення включає відповідність установленого на робочому місці програмного забезпечення завданням, що вирішуються на даному робочому місці, відповідність технічним параметрам комп'ютера та установленого на ньому системного програмного забезпечення, сумісність програм, за допомогою яких вирішуються комплексні завдання, ефективну підтримку периферійних пристроїв тощо. Якщо завдання можуть бути вирішені за допомогою альтернативного програмного забезпечення, слід протестувати всі варіанти та здійснити вибір оптимального, зважаючи на функціональність, ефективність роботи та зручність використання, від якої залежить стомлюваність працівників.

Якість програмного забезпечення передбачає, зокрема, функціональність, надійність, зручність використання, ефективність та зручність супроводу [8].

Організація та якість програмного забезпечення включають також якість, зручну організацію та зрозумілість програмних інтерфейсів [9 - 14].

Переважає більшість працівників сфери інформаційних технологій є кінцевими користувачами програмного забезпечення. Такі користувачі можуть ефективно вирішувати на комп'ютерах свої завдання лише в умовах наявності активної допомоги з боку програмного забезпечення на всіх етапах роботи і спрощення методів взаємодії з обчислювальною системою. Програмне забезпечення є зручним для користувача, якщо інтелектуальні зусилля користувача, необхідні для розуміння дій системи і реакції на них мінімальні. Поведінка програмного забезпечення повинна бути зрозумілою користувачеві.

Для підвищення продуктивності праці програми повинні забезпечувати користувача зручними формами представлення результатів в залежності від типу запиту або від характеру отриманого рішення. При цьому коректність програмного інтерфейсу передбачає, що допустимі запити користувача повинні бути чіткими і однозначними, а реакція програми на всі типи запитів повинна бути однозначною, зрозумілою і простою.

Програмні інтерфейси повинні бути максимально простими та однозначними у використанні. Простота інтерфейсу передбачає також, що інтерфейс не повинен бути перевантажений деталями щодо представлення розв'язку та результатів завдань, що виконуються, не повинен містити зайвих декоративних деталей, які відволікають від головної задачі, орієнтований на використання відомих, загальноприйнятих методів і засобів представлення інформації. При розробці сучасних програмних інтерфейсів слід також забезпечувати їх адаптивність як до користувачів, які з ними працюють, так і до завдань, що за допомогою них вирішуються. При розробці адаптивних інтерфейсів враховуються принципи мінімізації витрат ресурсів користувача; максимального взаєморозуміння та відсутності протиріч; запобігання надлишковості інформації, яка вводиться до системи; максимальної концентрації користувача на задачі, що розв'язується; легкості використання для працівників різної кваліфікації і простоти навчання.

При проектуванні програмних інтерфейсів слід також враховувати так званий людський фактор. Необхідно передбачити нюанси, які можуть виникнути при спілкуванні користувача з програмою, а саме, користувач повинен завжди знати, що робити далі; що програма чекає від нього; що дані введено коректно або що дані не були введені коректно; що має місце затримка з обчисленнями; що програма завершила або не завершила виконання завдання. Повідомлення, команди або інформація щодо результатів роботи програми повинні утримуватись на екрані достатньо довго, для того щоб користувач міг прочитати і сприйняти їх. Необхідно передбачити помилки, які можуть бути припущені з боку користувача програмного забезпечення.

Принцип передбачуваності в проектуванні програмних інтерфейсів полягає, зокрема, у форматуванні екрану комп'ютерного монітору. Форматування екрану монітора необхідно робити таким чином, щоб різні типи інформації, команди, повідомлення завжди з'являлись в одній і тій же звичній для користувача області. При такому підході до форматування екрану користувач завжди буде знати, де шукати потрібну інформацію.

Суттєвий вплив програмного забезпечення на продуктивність праці та стомлюваність працівників обумовлюється також привабливістю, естетикою інтерфейсу, ясністю, чіткістю, виразністю, сприятливою та доцільною гамою кольорів.

Користувачі віддають перевагу не лише функціональним програмним продуктам, а й програмам, які мають доброзичливий, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Якісний програмний інтерфейс може бути пояснений інтуїтивно сам собою, без будь-яких додаткових зусиль та складного тривалого навчання.

Висновки.

1. В результаті вивчення умов праці на комп'ютеризованих робочих місцях було встановлено, що працівники на цих місцях зазнають підвищених нервових навантажень сумісно з гіподинамією тіла, постійним напруженням окремих груп м'язів та зорового апарату.

2. Аналіз умов праці показав, що серед головних чинників продуктивності праці та стомлюваності працівників на комп'ютеризованих робочих місцях є режим праці, організація робочого місця, якість програмного забезпечення та темпи надходження завдань.

3. Результати опитування працівників галузі інформаційних технологій вказують на значний вплив якості програмного забезпечення на продуктивність праці (третій ранг серед чинників) та стомлюваність (четвертий ранг серед чинників).

4. Ефективне та якісне програмне забезпечення для кожного робочого місця повинне підбиратися шляхом порівняльного тестування альтернативних програмних засобів.

Важливою задачею подальших досліджень є вивчення причин стресів на комп'ютеризованих робочих місцях та способів запобігання таким явищам.

Список літератури

1. Lauren Decker. State of Software Happiness Report 2019. URL: <https://learn.g2.com/state-of-software-happiness-report-2019>
2. Аведян Л. Й. Управління людськими ресурсами на підприємстві: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к. е. н. : Харків, 2000. 19 с.
3. Мітрюшина О.О. Наукова організація праці та її вплив на підвищення продуктивності праці. *Проблеми матеріальної культури – ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ*. 2009. №172 с. 79-82.
4. Алієва М. Гігієна праці офісних працівників. *Охорона праці*. 2017. № 12. С. 41–42.
5. Болознева С. В. Вплив комп'ютера на зір людини та гімнастика для очей. *Інформатика в школі*. 2015. № 6. С. 57–95.
6. Марченко К.М., Шматько С.І. Вплив інформаційного потоку на стан людини. *Наукові записки*. 2013. Вип. 13. С. 18-20.
7. Удосконалення оцінки професійного ризику на основі експертних методів / Кружилко О. Є. та ін. *Проблеми Охорони Праці в Україні*. 2021. Вип. 37(2). С. 3-8.
8. ISO/IEC 25002:2024. Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Quality model overview and usage.
9. ISO 14915-1:2002. Software ergonomics for multimedia user interfaces — Part 1: Design principles and framework
10. ISO 14915-2:2003. Software ergonomics for multimedia user interfaces — Part 2: Multimedia navigation and control
11. D V Yatsenyak, V P Oleksiuk and N R Balyk. Study of ergonomic criteria for evaluating the software user interface. XIV International Conference on Mathematics, Science and Technology Education. *Journal of Physics: Conference Series*. 2288 (2022) 012005.
12. Yamaoka T. Evaluating user interface design using hierarchical requirements extraction method (rem). *Universal Access in Human-Computer Interaction. Design Methods, Tools, and Interaction Techniques for eInclusion ed Stephanidis C A M (Berlin, Heidelberg)*. 2013. pp 137–142.
13. L. Meertens, S. Pemberton. The Ergonomics of Computer Interfaces: Designing a System for Human Use. L.G.L.T. Meertens, S. Pemberton *Computer Science/Department of Algorithmics and Architectur* URL: https://www.researchgate.net/publication/2372508_The_Ergonomics_of_Computer_Interfaces_Designing_a_System_for_Human_Use
14. Бідюк П. І., Коршевнюк Л. О. Проектування комп'ютерних інформаційних систем прийняття рішень. Київ: ННК "ІПСА" НТУУ "КПІ", 2010. 340 с.

References

1. Lauren Decker (2019). State of Software Happiness Report. URL: <https://learn.g2.com/state-of-software-happiness-report-2019>
2. Avedian, L. Y. (2000). Upravlinnia liuds'kymy resursamy na pidpriemstvi [Management of human resources at the enterprise]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kharkiv [in Ukrainian].
3. Mitriushyna, O.O. (2009). Naukova orhanizatsiia pratsi ta ii vplyv na pidvyschennia produktyvnosti pratsi [Scientific organization of work and its influence on increasing labor productivity]. *Problemy material'noi kultury – EKONOMICHNI NAUKY - Problems of material culture - ECONOMIC SCIENCES*, 172, 79-82 [in Ukrainian].
4. Aliieva, M. (2017). Hihiena pratsi ofisnykh pratsivnykiv [Occupational hygiene of office workers]. *Okhorona pratsi– Occupational Health*, 12, 41–42 [in Ukrainian].
5. Boloznieva, S. V. (2015). Vplyv komp'utera na zir liudyny ta himnastyka dlia ochej [The influence of the computer on human vision and gymnastics for the eyes]. *Informatyka v shkoli - Informatics at school*, 6, 57–95 [in Ukrainian].
6. Marchenko, K.M. & Shmat'ko S.I. (2013). Vplyv informatsijnoho potoku na stan liudyny [The influence of information flow on the human condition]. *Naukovi zapysky - Proceedings*, 13, 18-20 [in Ukrainian].
7. Kruzhylko, O. Ye. et al (2021). Udoskonalennia otsinky profesijnoho ryzyku na osnovi ekspertnykh metodiv [Improvement of professional risk assessment based on expert methods]. *Problemy Okhorony Pratsi v Ukraini - Problems of Labor Protection in Ukraine*, 37(2), 3-8 [in Ukrainian].
8. ISO/IEC 25002:2024. Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Quality model overview and usage.
9. ISO 14915-1:2002. Software ergonomics for multimedia user interfaces — Part 1: Design principles and framework
10. ISO 14915-2:2003. Software ergonomics for multimedia user interfaces — Part 2: Multimedia navigation and control
11. Yatsenyak, D. V., Oleksiuk, V. P. & Balyk, N. R. (2022). Study of ergonomic criteria for evaluating the software user interface. XIV International Conference on Mathematics, Science and Technology Education. Journal of Physics: Conference Series. 2288. 012005.
12. Yamaoka, T. (2013). Evaluating user interface design using hierarchical requirements extraction method (rem). Universal Access in Human-Computer Interaction. Design Methods, Tools, and Interaction Techniques for eInclusion ed Stephanidis C A M (Berlin, Heidelberg), pp 137–142
13. Meertens, L. & Pemberton, S. The Ergonomics of Computer Interfaces: Designing a System for Human Use. L.G.L.T. Meertens, S. Pemberton Computer Science/Department of Algorithmics and Architectur. URL: https://www.researchgate.net/publication/2372508_The_Ergonomics_of_Computer_Interfaces_Designing_a_System_for_Human_Use
14. Bidiuk, P. I. & Korshevniuk, L. O. (2010). *Proektuvannia komp'uternykh informatsijnykh system pryjniattia rishen'* [Design of computer decision-making information systems]. Kyiv: NNK "IPSA" NTUU "KPI" [in Ukrainian].

Konstantyn Marchenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleh Oryshaka**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Stanislav Brahinets**, **Danyil Berestenko**

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

The impact of software quality on work efficiency and employee fatigue

In the information society, the nomenclature of industries and professions related to the use of computer equipment and software is continuously growing. This leads to the need to revise the classic principles of labor organization at workplaces. The scientific organization of work related to the use of computer technology must take into account the psychophysiological features of working with information, appropriate technical means and software, which contributes to both safe and healthy working conditions, the fulfillment of the requirements of occupational health and safety standards, and its high efficiency, in particular, productivity. Therefore, the scientific organization of work and labor protection are organically related fields. Research on the optimal organization of work when working with a computer and software is an urgent task.

Among the factors that depend on labor productivity at a computerized workplace, an important place is occupied by the organization of the workplace, work mode, speed of software, speed of network data exchange, compliance of computer and network equipment, installed software with the tasks performed on a given workplace, the uniformity of the incoming flow of tasks and the degree of their unification and complexity.

Labor productivity directly depends on the fatigue of workers, including at computerized workplaces. Important factors of employee fatigue are not only the work mode and organization of the workplace, but also the organization and quality of the software. Employee fatigue can be measured by a decrease in labor productivity when performing the same type of tasks as a decrease in the number of completed tasks for further equal time intervals.

As a result of the study of working conditions at computerized workplaces, it was established that workers at these places experience increased nervous stress combined with physical inactivity of the body, constant tension of certain groups of muscles and the visual apparatus. The analysis of working conditions showed that among the main factors of labor productivity and fatigue of workers at computerized workplaces are work mode, organization of the workplace, software quality and pace of tasks. The results of a survey of information technology workers indicate a significant impact of software quality on labor productivity (third rank among factors) and fatigue (fourth rank among factors). Effective and high-quality software for each workplace should be selected through comparative testing of alternative software tools.

labor protection, scientific organization of work, computer, workplace, software, software interface, labor productivity, fatigue

Одержано (Received) 18.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 23.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

УДК 621.91

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.13-22](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.13-22)

Б.А. Ляшенко, проф., д-р техн. наук, **Л.А. Лопата**, доц., канд. техн. наук
Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренко НАН України, м. Київ, Україна

В.Н. Лопата, канд. техн. наук, наук. співр.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України, м. Київ, Україна

Н.П. Забойкіна, викл.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: beryuza@ukr.net; gazoterm@ukr.net; nataliazaboykina@gmail.com

Альтернативна технологія поверхневого зміцнення внутрішніх поверхонь довгомірних деталей

Розглянуто проблему підвищення живучості стволів танкових гармат шляхом нанесення захисних покриттів. Дана їх коротка характеристика та межі застосування. Однак вирішення проблеми забезпеченні зміцнення, відновлення та підвищення строку служби довгомірних деталей (стволів вітчизняних танкових гармат) існуючими технологіями пов'язано зі складністю підготовки й обробки внутрішньої поверхні (каналу ствола) по всій довжині та виключення можливих залишкових деформацій. Запропоновано альтернативну технологію поверхневого зміцнення електроконтактним припіканням порошкових матеріалів. Ця технологія дозволяє наносити покриття товщиною до 3 мм, з міцністю зчеплення до 200 МПа та щільності, що наближається до щільності компактного матеріалу.

електроконтактне припікання, зміцнюючі захисні покриття, термін служби, фізико-механічні властивості

Постановка проблеми. Живучість стволів є основним показником танкових гармат. З метою забезпечення конкурентоспроможності української бронетехніки на зовнішньому ринку озброєнь виникла потреба у забезпеченні живучості стволів вітчизняних танкових гармат на рівні найкращих світових зразків [1-3]. Вирішення проблеми забезпеченні зміцнення, відновлення та підвищення строку служби довгомірних деталей (стволів вітчизняних танкових гармат) пов'язано зі складністю підготовки й обробки внутрішньої поверхні (каналу ствола) по всій довжині та виключення можливих залишкових деформацій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для забезпечення живучості стволів з метою захисту поверхні каналу ствола від порохової ерозії та механічного стирання використовуються зміцнюючі захисні покриття (ЗЗП) [4-9]. До них відносяться електрохімічне осадження [4, 6-8, 10, 11], газотермічне напилення (ГТН) [4, 6-9, 12-14], осадження захисних покриттів у вакуумі [15-17], а також способи, що дозволяють зміцнити поверхневі шари деталей, що обробляються шляхом лазерної обробки (ЛО) [6-8, 18], електроіскрового легування (ЕІЛ) [19, 20] та ін. [4-9, 21, 22]. Збільшення терміну служби виробів, що працюють в умовах ударних механічних та теплових навантажень, може бути досягнуто при нанесенні гальванічних металевих покриттів [10, 11]. Найбільшого поширення в промисловості набули хромові покриття та сплави на основі хрому, що наносяться електрохімічним способом [6-8]. Завдяки хрому підвищується стійкість каналу ствола проти впливу порохових газів, його жароміцність та зносостійкість [4]. Однак хромове покриття руйнується при стрільбі, що зумовлено

невисокою міцністю адгезії та когезії хромових покриттів, а також їх крихкістю [4]. Тому найперспективнішим є електроіскровий метод обробки (ЕІО). Електроіскрове легування (ЕІЛ) [19, 20] дозволяє переносити на оброблювану поверхню будь-які струмопровідні метали, у тому числі і тугоплавкі метали, та їх з'єднання. Крім того, виключаються зміна фізико-механічних властивостей оброблюваної деталі та її теплова деформація (процес холодний), спрощується весь технологічний процес та обладнання. Недоліком електроіскрового методу обробки є те, що цей спосіб використовується для зміцнення поверхонь каналів стволів невеликих калібрів і довжин, а також низька продуктивність процесу і необхідність фінішної механічної обробки.

Розроблено спосіб аргонно-дугового гарту внутрішньої поверхні стволів, який є придатним для зміцнення стволів з'являється будь-якого калібру [4]. Однак, пропонується технологія не дозволяє наносити зміцнювальні покриття необхідних товщин, а високі температури процесу негативно впливають на властивості робочих поверхонь деталей.

В даний час для нанесення зміцнюючого захисного покриття на всю довжину напрямної частини каналу ствола використовується метод іонно-плазмового осадження хрому та технологія плакування зварюванням вибухом [4]. Метод іонно-плазмового осадження хрому вимагає проектування та будівництва установки, що дозволяє проводити обробку поверхні каналу ствола по всій довжині, а також тщательную підготовку поверхні та обробку процесу нанесення покриття з метою забезпечення надійної адгезії матеріалу покриття з матеріалом ствола [4]. В даний час технологія плакування зварювання вибухом забезпечує плакування внутрішніх поверхонь труб на довжині 10-12 калібрів (у випадку 125-мм ствола – 1250 ... 1500 мм) [4]. Додатково складністю довгомірного плакування є виключення можливих залишкових деформацій після проведення вибухових робіт [4].

Тому актуальним напрямом при зміцненні стволів є розробка та дослідження зміцнювальних технологій на внутрішні поверхні труб довжиною до 5 ... 6 м та відновлення стволів танкових гармат досягли граничного зносу [4].

Постановка завдання. Запропонувати альтернативну технологію зміцнення та відновлення внутрішніх поверхонь труб довжиною до 5 ... 6 м та стволів танкових гармат.

Виклад основного матеріалу. До альтернативних технологій можна віднести технологію електроконтактного припікання покриттів (ЕКПП) [23-25], яка дозволяє наносити покриття товщиною до 3 мм, щільністю до щільності компактного матеріалу і міцності зчеплення до 220 МПа. Електроконтактне припікання гарантує збереження в покритті вихідних властивостей його матеріалу. Процес здійснюється під тиском при прямому пропусканні електричного струму (рис. 1) [23-25].

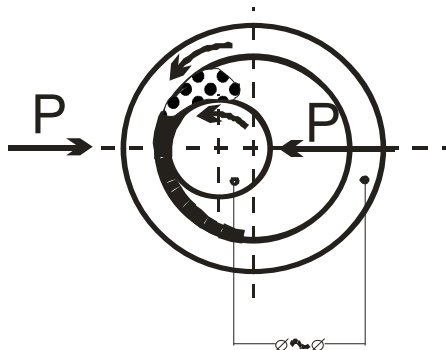


Рисунок 1 - Технологічна схема електроконтактного припікання на внутрішні поверхні циліндричних деталей

Джерело: розроблено авторами на підставі [23, 25]

Електроконтактний спосіб є найбільш перспективним способом зміцнення відновлення, так як він відноситься до способів з мінімально необхідним нагріванням, тим самим, виключаючи термічне деформування деталей, що зміцнюються (ця технологія дозволить усунути такий найбільш характерний дефект каналу ствола, як його роздуття і викривлення). Зона термічного впливу (ЗТВ) на зміцнюєму поверхню становить 0,02...0,3 мм. Відсутність рідкої фази при нанесенні покриттів значно розширює можливості застосування процесу зміцнення поверхонь деталей методом електроконтактного припікання, що дозволяє збільшити товщину формуємого зносостійкого шару в 3 ... 6 разів [23-25]. При відновленні та зміцненні робочих поверхонь деталей електроконтактним припіканням доцільно застосовувати режим процесу, що характеризується силою струму 15 ... 30 кА; тиском припікання до 100 МПа, часом імпульсу 0,04 ... 0,2 с; часом паузи 0,04 ... 0,2 с. Швидкості нагріву при електроконтактному припікання можуть досягати 10^3 ... 10^4 К/с [23-25]. Слід зазначити, що наявність оксидних плівок на зміцнюємих поверхнях практично не знижує міцність зчеплення покриття, так як плівка має високий електроопір і найбільш інтенсивно нагрівається імпульсом струму з подальшим її видаленням із зони опору [23-25].

Нанесення покриття електроконтактним методом може проводитися з попереднім формуванням порошкового шару або в вільно насипанному стані. Попереднє формування шару здійснюється введенням у шихту пластифікатора, з використанням мідної або латунної фольги товщиною 0,1 ... 0,2 мм, попереднім спіканням порошкових брикетів, напиленням [23-25].

Для припікання використовувався спеціально розроблений електрод-інструмент (рис. 2) виготовлений з мідного сплаву, дисперсно-армованого твердими частинками, який дозволяє поєднувати в одній операції нанесення покриттів та фінішну обробку методом пластичного поверхневого деформування (ППД) до граничного розміру, чистоти поверхні та щільності [26].



Рисунок 2 - Електрод-інструмент для нанесення покриття

Джерело: розроблено авторами

Нанесення покриття на внутрішні циліндричні поверхні показано на рис. 3.



Рисунок 3 - Нанесення покриття на внутрішні циліндричні поверхні

Джерело: розроблено авторами

Висока міцність зчеплення та щільність покриттів пов'язані з такими особливостями технології, як режимами прип'якання (температура процесу становить (0,8 ... 0,9)Тпл основного компонента матеріалу покриття), малою зоною термічного впливу (рис.4, а) струму на деталь, відсутністю перемішування матеріалів покриття та основи (рис. 4, б), збереженням у покритті легуючих елементів (рис. 5) та їх вихідних властивостей. При дослідженні використовували композиційний порошок КХН-3 (70%Cr₃C₂ та 30% ніхрому (Ni-Cr 80/20)), Електроконтактне прип'якання відноситься до імпульсних технологій і може виключити подальшу механічну обробку покриттів [23-25].

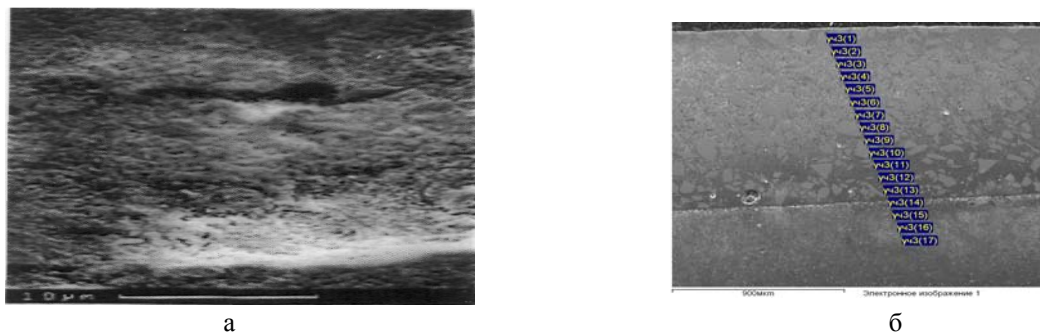
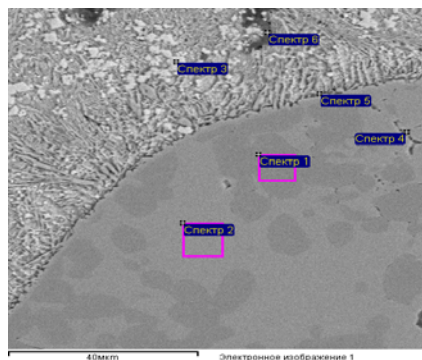


Рисунок 4 - Зона термічного впливу x1000 (а) та характер перехідної зони (б)
Матеріал покриття – композиційний порошок КХН-30: Cr₃C₂ (80%) + Ni (20%)

Джерело: розроблено авторами

Висока адгезійна міцність забезпечується перехідною зоною (рис. 4, б та 5, а), яка утворюється під впливом прискореної дифузії при імпульсному впливі електричного струму та явища електроміграції [27, 28].

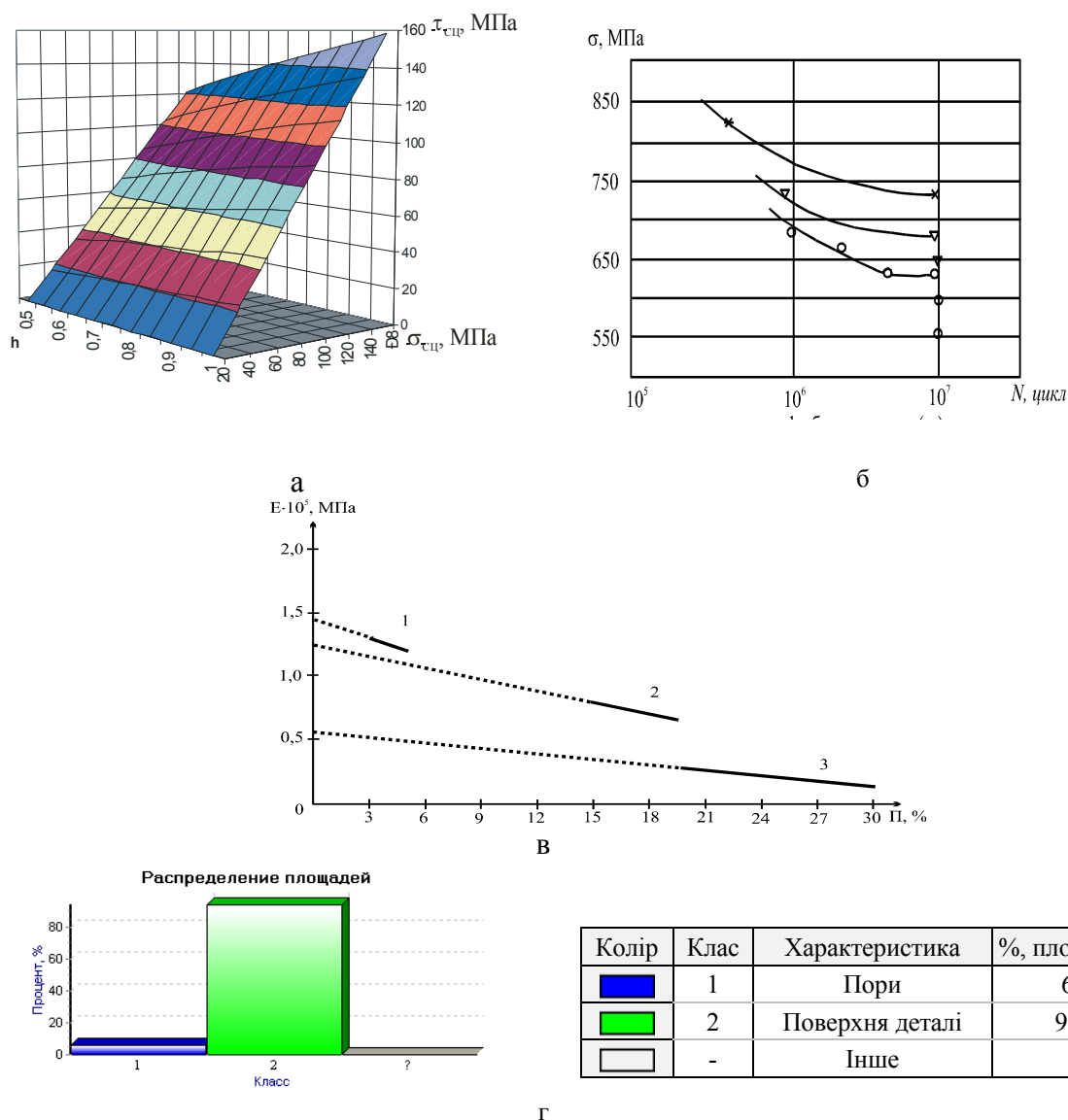


Спектр	C	O	Cr	Fe	Ni
Спектр 1	14.18		84.16	1.66	
Спектр 2	10.53		75.11	14.36	
Спектр 3	35.79	1.94	3.16		1.31
Спектр 4	18.68	13.13	45.63	2.05	5.65
Спектр 5	12.37		37.77	11.74	36.18
Спектр 6	19.97	15.86	16.53	4.37	13.12

Рисунок 5 - Розподіл легуючих елементів у покритті та зміцнюємій поверхні деталі.
Матеріал покриття – композиційний порошок КХН-30: Cr₃C₂ (80%) + Ni (20%)

Джерело: розроблено авторами

Проведені дослідження властивостей покриттів показали, що їх когезійна та адгезійна міцність знаходяться в межах 160 ... 220 МПа (рис. 6, а) [28]. Межа витривалості підвищується в 5 ... 10 разів (рис.6, б), а щільність покриттів наблизилася до щільності компактного матеріалу (рис. 6, в) [28, 29].



○ - без покриття; △ - із напильним покриттям; ☆ - з покриттям, отриманим ЕКП;
 1 – покриття, отримане електроконтактним припиканням; 2 – покриття, отримане електродуговим напильням; 3 – покриття, отримане газополумєневим напильням
 а) когезійна та адгезійна міцність; б) межа витривалості; в, г) щільність покриттів та результати кількісного стереологічного аналізу щільності покриттів, отриманих електроконтактним методом при тиску 40 МПа

Рисунок 6 - Властивості покриттів, отримані електроконтактним припиканням

Джерело: розроблено авторами на підставі [28, 29]

При мінімумі керованих технологічних параметрів процесу електроконтактного припикання (силі та тривалості імпульсів струму, тиску електрода) здійснюється гнучке управління властивостями покриттів.

Висновки. Вирішення проблеми забезпеченні зміцнення, відновлення та підвищення строку служби довгомірних деталей (стволів вітчизняних танкових гармат) пов'язано зі складністю підготовки й обробки внутрішньої поверхні (каналу ствола) по всій довжині та виключення можливих залишкових деформацій.

Для забезпечення живучості стволів з метою захисту поверхні каналу ствола від порохової ерозії та механічного стирання використовуються зміцнюючі захисні покриття: електрохімічне осадження, газотермічне напилення, осадження у вакуумі, лазерну обробку, електроіскрового легування, аргонно-дугове гартування, іонно-плазмове осадження хрому, плакування зварюванням вибухом та ін. Однак вирішення проблеми забезпеченні зміцнення, відновлення та підвищення строку служби довгомірних деталей (стволів вітчизняних танкових гармат) існуючими технологіями пов'язано зі складністю підготовки й обробки внутрішньої поверхні (каналу ствола) по всій довжині та виключення можливих залишкових деформацій.

Запропонувати альтернативну технологію зміцнення та відновлення внутрішніх поверхонь труб довжиною до 5 ... 6 м (стволів танкових гармат) електроконтактного припикання покриттів. Електроконтактний спосіб є найбільш перспективним способом зміцнення та відновлення, так як він відноситься до способів з мінімально необхідним нагріванням, тим самим, виключаючи термічне деформування деталей, що зміцнюються (ця технологія дозволить усунути такий найбільш характерний дефект каналу ствола, як його роздуття і викривлення). Пропонуєма технологія дозволяє наносити покриття товщиною до 3 мм, щільністю до щільності компактного матеріалу і міцності зчеплення до 220 МПа.

Список літератури

1. Бондаренко Л.І. Порівняльний аналіз тактико-технічних характеристик артилерійських систем провідних країн світу та Зброєних сил України. *Збірник узагальнених довідково-аналітичних матеріалів*. 1999. С. 45.
2. Foss C.F. *Jane's tank and combat vehicle recognition guide*. Glasgow: Harper Collins Publishers. 1996. 510 p.
3. Терещенко В.І. Деякі проблеми визначення оперативно-тактичних вимог до перспективних зразків артилерійського озброєння. *Артилерійське та стрілецьке озброєння*. 2000. Вип. 2. №5. С. 12-15.
4. Богуслаєв О.В. Підвищення життєвого циклу оснащення на основі захисних технологій: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.07.04 / Нац. аерокосм. ун-т ім. Н.Е. Жуковського "Харків. авіац. ін-т." Харків, 2002. 25 с.
5. Мірненко В.І. Захисні покриття на лопатках компресора силових установок військового ризначення. *Труди Академії*. 2004. №49. С. 222-227.
6. Інженерія поверхні / Ющенко К.А. та ін. Київ, Наукова думка. 2007. 559 с.
7. Пашенко В.М., Кузнєцов В.Д., Солодкий С.П. Проблеми ефективності захисних покриттів у інженерії поверхні машин і обладнання. *Вісник Національного технічного університету України «КПІ»*. 2006. № 49. С. 178-187.
8. Фесенко А.Г., Бечке К.В., Манжеліївський С.В. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин: навч. посіб. Д.: РВВ ДНУ. 2015. 104 с.
9. Значення методів обробки відновлених поверхонь в забезпеченні їх якості і ресурсу відремонтованих деталей / Ковальов М.Ф. та ін. *Інженерія поверхні та реновація виробів: матеріали 20-ї Міжнародної науково-технічної конференції (01–05 червня 2020 р., м. Київ)*. Київ: АТМ України, 2020. С. 40-43.
10. Духота О.І. Науково-технічні основи підвищення довговічності деталей авіаційних трибомеханічних систем за умов їх фретинг-контактної взаємодії: дис. на здобуття наукового ступеня д-ра техн. наук: 05.02.04 / Національний авіаційний університет. Київ, 2019.
11. Вплив технологічних параметрів процесу електрохімічного хромування на експлуатаційні властивості покриттів / Роп'як Л.Я. та ін. *Вісник Сумського національного аграрного*

- університету Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». 2021. Вип. 3 (45). С. 48-56.
12. Lopata O., Smirnov I., Vihilianska N. Use of steel gas thermal coatings to increase wear resistance of parts. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*. 2022. Vol. 105. No. 1. 108–117. DOI: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2022.01.
 13. Espallargas, N. Future Development of Thermal Spray Coatings. 2015, Elsevier Ltd. 286 p. https://www.asminternational.org/edfas/uncategorized/journal_content/56/10192/26188941/PUBLICATION/.
 14. Edward J. Gildersleeve, Robert Vaßen. Thermally Sprayed Functional Coatings and Multilayers: A Selection of Historical Applications and Potential Pathways for Future Innovation *Journal of Thermal Spray Technology*. Pub. Date: 2023-04-27. <https://www.x-mol.net/paper/article/1651623814354448384>. DOI:10.1007/s11666-023-01587-1
 15. Вплив вакуум плазмових покриттів на газообразивну стійкість конструкційних елементів силових установок літальних апаратів військового призначення з титанових сплавів / Колесник В.І. та ін. *Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України*. 2004. №1 (26). С. 199 -207.
 16. Мірненко В.І. Вакуум-плазмовий метод нанесення багатофункціональних покриттів на лопатки компресора силових установок літальних апаратів військового призначення. *Зб. наук. пр. "Труди академії"*. 2004. №50. С. 276-282.
 17. Рутковський А.В. Конструктивна міцність матеріалів з вакуум-плазмовими покриттями: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. Київ, 2000. 17 с.
 18. Shuja S.Z., Yilbas B.S. Laser melting of alumina-coated steel. *AIChE Journal*. 2011. 57. №9. P. 2547-2554.
 19. Soma Raju K., Faisal N.H., Srinivasa Rao D., Joshi S.V., Sundararajan G. Electro-spark coatings for enhanced performance of twist drills. *Surface and Coatings Technology*. 2008. Vol. 202. №9. P. 1636-1644.
 20. Аналіз міцностних характеристик електроіскрових покриттів / Токарук В.В. та ін. *Проблеми тертя та зношування*. 2021. №3 (92). С. 47-53.
 21. Захист поверхонь тертя дискретними поверхнями / Марчук В. Є. та ін. *Проблеми тертя та зношування*. 2013. №2 (61). С. 80 – 87.
 22. Варваров В.В. Підвищення ресурсу трибосистем в агрегатобудуванні переведенням їх в режим аномально низького тертя та зношування: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.02.04 / Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Харків, 2021. 192с.
 23. Lopata L., Lyashenko B. The technology of electrocontact sintering as an alternative to welding. *Materials science of refractory compounds: materials 4th international samsonov memorial conference* (May 21-23, 2014, Frantsevych Institute for Problems of Materials Science of NASU Kyiv, Ukraine). Kyiv, 2014. P. 95-96.
 24. L. A. Lopata, V. M. Kulyzhskiy, O.V. Lopata, I.V. Smirnov Computational and experimental determination of the density and adhesion strength of powder coatings applied by the electrocontact method. Message 1. Sealing of coatings. *Strength of materials*. 2023. Vol. 55. No4. <https://www.springer.com/journal/11223>
 25. Канарчук В.Є. та ін. Електроконтактне зміцнення як метод інженерії поверхні деталей транспортних засобів при їх виготовленні і відновленні. *Вісник / Збірник наукових праць транспортного університету та транспортної академії України*. 2001. Вип. №5. С. 3-6.
 26. Патент України № 37465А. Електрод для електроконтактного припікання порошків. Лопата Л.А. Опубл. 15.05.2001. Бюл. №4.
 27. Смирнов І.В., Лопата О.В., В.Ф. Мазанко Вплив електропластичного ефекту на дифузійні процеси при електроконтактному припіканні. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2021)*: матеріали тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції (26 - 27 травня 2021 р. м. Чернігів). Чернігів: Національний університет "Очернігівська політехніка". Том 2, С. 19-30. URL: <https://conference-Chernihiv-polytechnic.com/materiali-konferentsiyi/kzyatps-2021/Tezy-2021-Part-2.pdf>
 28. Смирнов І.В., Лопата О.В., Зіньковський А.П. Кобзарь В.Л. Адгезійна міцність та залишкові напруження в покриттях, отриманих електроконтактним методом» *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем*: матеріали XII Міжнар. наук.-практ. конф. (25 - 26 травня 2022 р., м. Чернігів). Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка». 2022. Т. 2. С. 52-55. URL: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://conference-chernihiv-polytechnic.com/wp-content/uploads/2023/03/Tezy-2022-Part-5-52.pdf>

29. O. Lopata, I. Smirnov, A. Zinkovskii Dependence of the elastic modulus of powder coatings on their porosity in electrical contact hardening *International Scientific Journal Problems of Tribology*. Vol 26 No4/102 (2021) C. 28-33. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-102-4>.

Referenses

1. Bondarenko, L.I. (1999). Porivnial'nyj analiz taktyko-tekhnichnykh kharakterystyk artylerijs'kykh system providnykh krain svitu ta Zbroienykh syl Ukrainy [Comparative analysis of the tactical and technical characteristics of the artillery systems of the leading countries of the world and the Armed Forces of Ukraine]. *Zbirnyk uzahal'nenykh dovidkovo-analitychnykh materialiv - A collection of generalized reference and analytical materials*, 45 [in Ukrainian].
2. Foss, C.F. (1996). *Jane's tank and combat vehicle recognition guide*. Glasgow: Harper Collins Publishers. 510 p.
3. Tereschenko, V.I. (2000). Deiaki problemy vyznachennia operatyvno-taktychnykh vymoh do perspektyvnykh zrazkiv artylerijs'koho ozbroiennia [Some problems of determining the operational and tactical requirements for perspective samples of artillery weapons]. *Artylerijs'ke ta strilets'ke ozbroiennia - Artillery and small arms*, 2, 5, 12-15 [in Ukrainian].
4. Bohuslaiev, O.V. (2002). Pidvyschennia zhyttievoho tsykladu osnaschennia na osnovi zakhysnykh tekhnolohij [Increasing the life cycle of equipment based on protective technologies]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kharkiv [in Ukrainian].
5. Mirnenko, V.I. (2004). Zakhysni pokryttia na lopatkakh kompresora sylovykh ustanovok vijs'kovoho ryznachennia [Protective coatings on compressor blades of military-grade power plants]. *Trudy Akademii - Proceedings of the Academy*, 49, 222-227 [in Ukrainian].
6. Yuschenko, K.A. et al. (2007). *Inzheneriia poverkhni [Surface engineering]*. Kyiv, Naukova dumka [in Ukrainian].
7. Paschenko, V.M., Kuznietsov, V.D. & Solodkyj, S.P. (2006). Problemy efektyvnosti zakhysnykh pokryttiv u inzhenerii poverkhni mashyn i obladnannia [Problems of the effectiveness of protective coatings in surface engineering of machines and equipment]. *Vestnyk Natsional'noho tekhnicheskoho unyversyteta Ukrainy «KPY» - Bulletin of the National Technical University of Ukraine "KPI"*, 49, 178-187 [in Ukrainian].
8. Fesenko, A.H., Bechke, K.V. & Manzheliivs'kyj, S.V. (2015). *Metody poverkhnevoho zmitsnennia u protsesi vyhotovlennia detalej mashyn [Methods of surface hardening in the process of manufacturing machine parts]*. D.: RVV DNU [in Ukrainian].
9. Koval'ov M.F. et al. (2020). Znachennia metodiv obrobky vidnovlenykh poverkhon' v zabezpechenni ikh iakosti i resursu vidremontovanykh detalej [The importance of methods of processing restored surfaces in ensuring their quality and service life of repaired parts]. *Surface engineering and product renovation: 20-a Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia (01–05 chervnia 2020 r.) - Proceedings of the 20th International Scientific and Technical Conference (40-43)*. Kyiv: ATM Ukrainy [in Ukrainian].
10. Dukhota, O.I. (2019). Naukovo-tekhnichni osnovy pidvyschennia dovhovichnosti detalej aviatsijnykh trybomekhanichnykh system za umov ikh fretynh-kontaktnoi vzaiemodii [Scientific and technical bases of increasing the durability of parts of aviation tribomechanical systems under the conditions of their fretting-contact interaction]. *Doctor's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
11. Rop'iak, L.Ya. et al. (2021). Vplyv tekhnolohichnykh parametriv protsesu elektrokhimichnogo khromuvannia na ekspluatatsijni vlastyvoli pokryttiv [The influence of technological parameters of the electrochemical chromium plating process on the operational properties of coatings]. *Visnyk Sums'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu Seriia «Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychykh protsesiv» - Bulletin of the Sumy National Agrarian University Series "Mechanization and automation of production processes"*, 3 (45), 48-56 [in Ukrainian].
12. Lopata, O., Smirnov, I. & Vihilianska N. (2022). Use of steel gas thermal coatings to increase wear resistance of parts. *Scientific Journal of TNTU (Tern)*, 105, 1, 108–117. DOI: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2022.01.
13. Espallargas, N. (2015). *Future Development of Thermal Spray Coatings*, Elsevier Ltd. 286 p. https://www.asminternational.org/edfas/uncategorized/journal_content/56/10192/26188941/PUBLICATION/.
14. Edward J. Gildersleeve & Robert Vaßen. Thermally Sprayed Functional Coatings and Multilayers: A Selection of Historical Applications and Potential Pathways for Future Innovation *Journal of Thermal Spray Technology*. Pub. Date: 2023-04-27. DOI:10.1007/s11666-023-01587-1. <https://www.xmol.net/paper/article/1651623814354448384>

15. Kolesnyk, V.I. et al. (2004). Vplyv vakuum plazmovykh pokryttiv na hazoabrazyvnu stijkost' konstruktsiynykh elementiv sylovykh ustanovok lital'nykh aparativ vijs'kovoho pryznachennia z tytanovykh splaviv [The influence of vacuum plasma coatings on the gas abrasion resistance of structural elements of power plants of military aircraft made of titanium alloys]. *Zb. nauk. pr. TsNDI ZS Ukrainy - Coll. of science Ave. TsNDI of the Armed Forces of Ukraine, 1 (26)*, 199 -207 [in Ukrainian].
16. Mirnenko, V.I. (2004). Vakuum-plazmovyj metod nanesennia bahatofunktsional'nykh pokryttiv na lopatky kompresora sylovykh ustanovok lital'nykh aparativ vijs'kovoho pryznachennia [Vacuum-plasma method of applying multifunctional coatings on compressor blades of power plants of military aircraft]. *Zb. nauk. pr. "Trudy akademii" - Coll. of science Ave. "Works of the Academy", 50*, 276-282 [in Ukrainian].
17. Rutkovs'kyj, A.V. (2000). Konstruktyvna mitsnist' materialiv z vakuum-plazmovymy pokryttiamy [Structural strength of materials with vacuum-plasma coatings]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
18. Shuja, S.Z. & Yilbas, B.S. (2011). Laser melting of alumina-coated steel. *AIChE Journal, 57, 9*, 2547-2554.
19. Soma Raju K., Faisal, N.H., Srinivasa Rao D., Joshi S.V. & Sundararajan G. (2008). Electro-spark coatings for enhanced performance of twist drills. *Surface and Coatings Technology, 202, 9*, 1636-1644.
20. Tokaruk, V.V. et al. (2021). Analiz mitsnostnykh kharakterystyk elektroiskrovykh pokryttiv [Analysis of strength characteristics of electrospark coatings]. *Problemy tertia ta znoshuvannia - Friction and wear problems, 3 (92)*, 47-53 [in Ukrainian].
21. Marchuk, V. Ye. et al. (2013). Zakhyst poverkhon' tertia dyskretnymi poverkhniamy [Protection of friction surfaces with discrete surfaces]. *Problemy tertia ta znoshuvannia - Friction and wear problems, 2 (61)*, 80 – 87 [in Ukrainian].
22. Varvarov, V.V. (2021). Pidvyschennia resursu trybosystem v ahrehatobuduvanni perevedenniam ikh v rezhym anomal'no nyz'koho tertia ta znoshuvannia [Increasing the resource of tribosystems in aggregate construction by transferring them to the mode of abnormally low friction and wear]. *Candidate's thesis*. Kharkiv [in Ukrainian].
23. Lopata, L. & Lyashenko, B. (2014). The technology of electrocontact sintering as an alternative to welding. *Materials science of refractory compounds: materials 4th international samsonov memorial conference (May 21-23, 2014, Frantsevych Institute for Problems of Materials Science of NASU Kyiv, Ukraine)*. Kyiv. 2014. P. 95-96.
24. Lopata, L. A., Kulyzhskiy, V. M., Lopata, O.V. & Smirnov I.V. (2023) Computational and experimental determination of the density and adhesion strength of powder coatings applied by the electrocontact method. Message 1. Sealing of coatings. *Strength of materials, 55, 4* <https://www.springer.com/journal/11223>
25. Kanarchuk, V.Ye. et al. (2001). Elektrokontaktne zmitsnennia iak metod inzhenerii poverkhni detalej transportnykh zasobiv pry ikh vyhotovlenni i vidnovlenni [Electrocontact hardening as a method of surface engineering of vehicle parts during their manufacture and restoration]. *Zbirnyk naukovykh prats' transportnoho universytetu ta transportnoi akademii Ukrainy - Bulletin / Collection of Scientific Works of the Transport University and Transport Academy of Ukraine, 5*, 3-6 [in Ukrainian].
26. Patent Ukrayini № 37465A. Elektrod dlya elektrokontaktного pripikannya poroshkiv. Lopata L.A. Opubl. 15.05.2001. Byul. №4.
27. Smyrnov, I.V., Lopata, O.V. & Mazanko V.F. (2021). Vplyv elektroplastychnoho efektu na dyfuzijni protsesy pry elektrokontaktnomu prypikanni [Influence of the electroplastic effect on diffusion processes during electrocontact cauterization]. *Comprehensive quality assurance of technological processes and systems (KZYATPS - 2021): XI Mizhnarodna nauково-praktychna konferentsiia (26 - 27 travnia 2021 r.) – XI International Scientific and Practical Conference materials of abstracts of reports of (pp. 19-30)*. Chernihiv. Retrieved from: <https://conference-Chernihiv-polytechnic.com/materiali-konferentsiyi/kzyatps-2021/Tezy-2021-Part-2.pdf> [in Ukrainian].
28. Smyrnov, I.V., Lopata, O.V., Zin'kovs'kyj, A.P. & Kobzar', V.L. (2022). Adhezijna mitsnist' ta zalyshkovi napruzhenia v pokryttiakh, otrymanykh elektrokontaktnym metodom [Adhesion strength and residual stresses in coatings obtained by the electrocontact method]. *Comprehensive quality assurance of technological processes and systems: XII Mizhnar. nauk.-prakt. konf. (25 - 26 travnia 2022 r.) - XII International science and practice conf (pp.52-55)*. Chernihiv. Retrieved from: [chrome-extension//efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj /https://conference-chernihiv-polytechnic.com/wp-content/uploads/2023/03/Tezy-2022-Part-5-52.pdf](https://conference-chernihiv-polytechnic.com/wp-content/uploads/2023/03/Tezy-2022-Part-5-52.pdf) [in Ukrainian].

29. O. Lopata, I. Smirnov & A. Zinkovskii (2021). Dependence of the elastic modulus of powder coatings on their porosity in electrical contact hardening *International Scientific Journal Problems of Tribology*, 26, 4/102, 28-33 DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-102-4>.

Boris Lyashenko, Prof., DSc., **Larysa Lopata**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Senior Researcher
Institute of Strength Problems named after H.S. Pisarenko of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyev, Ukraine

Vitalii Lopata, PhD tech. sci., Senior Researcher
Institute of electric welding named after E.O. Paton of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyev, Ukraine

Natalia Zaboykina, Lecture
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Alternative technology of surface strengthening of internal surfaces of durable parts

Barrel survivability is the main indicator of tank guns. In order to ensure the competitiveness of Ukrainian armored vehicles on the foreign arms market, there was a need to ensure the survivability of the barrels of domestic tank guns at the level of the best world samples. Solving the problem of strengthening, restoring and increasing the service life of long-dimension parts is associated with the complexity of preparing and processing the inner surface (bore) along its entire length and eliminating possible residual deformations. The problem of increasing the survivability of tank gun barrels by applying protective coatings is considered. Their brief characteristics and limits of application are given. An alternative technology for surface hardening by electrical contact sintering of powder materials is proposed. This technology makes it possible to apply coatings up to 3 mm thick, with a density approaching that of a compact material and an adhesive strength of up to 220 MPa. Electrocontact sintering refers to impulse technologies and can exclude further mechanical processing of coatings

The electrical contact method is the most promising method of strengthening and restoration, as it refers to the methods with the minimum necessary heating, thereby excluding thermal deformation of the parts being strengthened (this technology will allow to eliminate the most characteristic defect of the barrel, such as its swelling and distortion).

For cauterization, a specially developed electrode-tool made of a copper alloy, dispersed-reinforced with solid particles, was used, which allows combining in one operation the application of coatings and the finishing treatment by the method of plastic surface deformation to the limit size, surface cleanliness and density. **electric contact cauterization, strengthening protective coatings, service life, physical and mechanical properties**

Одержано (Received) 22.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 03.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 629.3.021

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.23-31](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.23-31)

А.Р. Апаракін, канд. техн. наук, **П.М. Єрємін**, канд. техн. наук, **В.А. Мажара**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: anton.aparakin@gmail.com*

Синтез схем навантаження силових елементів кульково-гвинтового гідропідсилювача з аксіальною структурою приводу

Метою роботи є визначення компоновки кульково-гвинтового гідропідсилювача із рульовою сошкою, за якої можливо забезпечити максимальний корисний ефект від використання системи активного розвантаження опор кочення вала-сектора, тим самим підвищити несучу спроможність та забезпечити кращу герметичність, усунувши вплив пульсуючого зазору на ущільнення цапф вихідного валу. Для досягнення поставленої мети проведено аналіз системи взаємодії силових елементів агрегату у визначених варіантах компоновки кульково-гвинтового гідропідсилювача та рульової сошки. Визначено та описано за допомогою рівнянь умови рівноваги системи та реакції опор. Розроблено ряд припущень, за допомогою яких здійснено чисельне оцінювання відношення реакцій опор в залежності від навантаження та із врахуванням реальних розмірів деталей. Визначено, що використання компоновки, за якої повздовжня вісь сошки розташовується співвісно відносно впадини зубчастого вінця, створює передумови для розробки та впровадження активної системи розвантаження опор кочення вала-сектора, яка забезпечить підвищення несучої спроможності та зменшить вплив навантаження на герметичність агрегату.

кермо, гідропідсилювач, навантаження, автотранспорт

Постановка проблеми. Кульково-гвинтові гідропідсилювачі (КГП) застосовуються у системах рульового управління автотранспортних засобів. Встановлюються, здебільшого, на тролейбусах, пасажирських автобусах, будівельно-дорожньому, комерційному та вантажному транспорті із навантаженням на керувану вісь від 2000 Н до 8000 Н. Відома та усталена конструкція КГП [1, 2] не позбавлена недоліків – підшипникові опори вихідного валу являються найбільш навантаженими елементами конструкції агрегату, так як вони сприймають сили, які виникають у рейковому зачепленні. Цапфи вихідного валу, до того ж, взаємодіють із системою ущільнень, для забезпечення герметичності вузла, отже пружна деформація опор при експлуатації може стати причиною розгерметизації елементів ущільнення.

З приведених причин, розробка раціональних конструкцій опор кочення та ущільнення цапф, з метою покращення їх функційних показників, є важливою практичною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз модельного ряду провідних виробників КГП показав, що конструкції гідравлічних агрегатів у різних фірм схожі, відпрацьовані та знаходяться на межі своїх технічних можливостей. По цій причині, розвиток та вдосконалення рульових систем продовжується у поєднанні гідравлічної (силової) та електромеханічної (керуючої) частин. До таких систем відносяться Bosch Servotwin [3], Volvo Dynamic Steering [4] Knorr-Bremse Advanced Hybrid Power Steering

[5]. Таке поєднання дозволяє втілювати різноманітні підсистеми допомоги водієві під час рульового управління, на кшталт компенсації бічного вітру, підтримки автомобіля у смузі проїзної частини дороги, круїз-контроль, та навіть – дистанційне керування (переважно, для паркування та маневрування). Закономірно, що напрямку досліджень систем керування електрогідравлічного приводу підсилювача керма присвячено переважну частину сучасних досліджень, які стосуються рульового управління [6-10].

Одним із варіантів вирішення піднятої у роботі проблеми є вдосконалення конструкції гідравлічної частини КГГП та створення гідростатичних підшипникових опор цапф вала-сектора, які забезпечать розвантаження опор кочення [11]. Ефект досягається завдяки виконанню вала-сектора з додатковими цапфами, які розміщені протилежно зубцям рейкової передачі, та які взаємодіють обумовленими цапфами з активними гідростатичними опорами, що розміщені в опорній для вала-сектора частині картера. Самі ж активні гідростатичні опори з'єднані каналами між собою і з напірною лінією гідророзподільника.

Постановка завдання. Метою роботи є визначення компоновки КГГП із рульовою сошкою, за якої можливо забезпечити максимальний корисний ефект від використання системи активного розвантаження опор кочення вал-сектора, тим самим підвищити несучу спроможність та забезпечити кращу герметичність, усунувши вплив пульсуючого зазору на ущільнення цапф вихідного валу.

Дослідження ґрунтується на положеннях теорії опору матеріалів. Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

- здійснити аналіз системи взаємодії вихідного валу КГГП із опорами кочення, рульовою сошкою, рейковою передачею;
- визначити варіанти компоновки КГГП та рульової сошки;
- описати рівняння рівноваги, визначити рівняння реакції опор;
- здійснити чисельне оцінювання відношення реакцій опор, в залежності від навантаження, із врахуванням реальних розмірів.

Виклад основного матеріалу. Аналіз внутрішніх сил, які діють у рейковому зачепленні КГГП показав, що зубчастий вінець вала-сектора навантажується:

- тангенціальною складовою F_t яка утворює крутний момент M_1 ;
- нормальною складовою F_N яка утворює згинальний момент M_2 .

Одночасно з цим, на вихідний вал діє зовнішня сила F_C , від реакції рульової сошки. При цьому виникають реакції опор R_1 та R_2 , які розташовані на опорних цапфах.

Умови функціонування вихідного валу, при його навантаженні, описуються системою рівнянь, які наведені далі.

У роботі розглядаються та порівнюються два варіанти розташування повздовжньої вісі сошки відносно впадини зубчастого вінця:

- співвісне розташування;
- перпендикулярне розташування.

Варіант розташування повздовжньої вісі сошки співвісно [12] відносно вісі впадини зубчастого вінця вала-сектора розглядається на рис. 1.

Рівняння рівноваги системи в площині ZOХ:

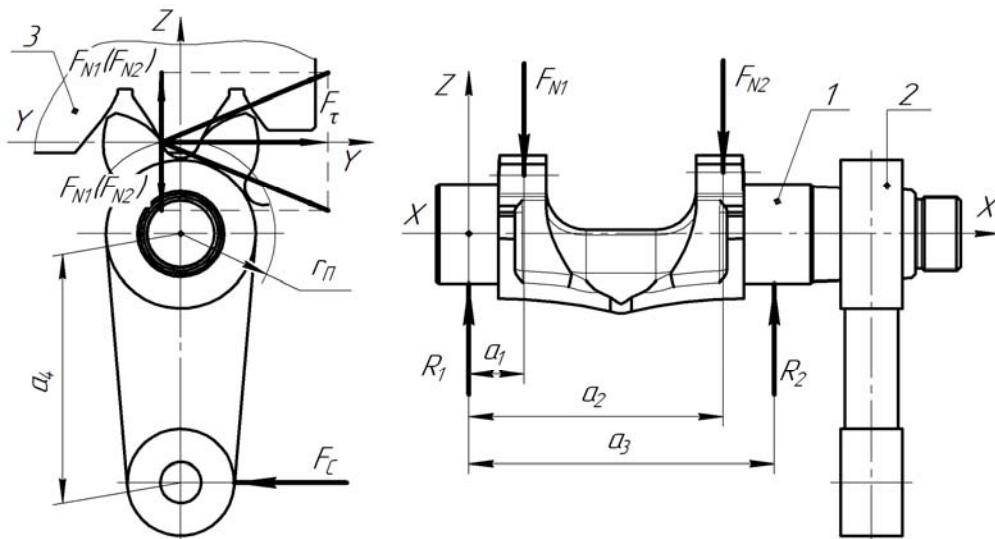
$$\begin{cases} \sum Z = 0 \\ \sum M_1 = 0 \end{cases} \begin{cases} R_1 + R_2 - F_{N1} - F_{N2} = 0 \\ F_{N1} \times a_1 + F_{N2} \times a_2 - R_2 \times a_3 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Рівняння рівноваги системи в площині ZOУ:

$$\sum M_2 = 0 \quad F_\tau \times r_n - F_c \times a_4 = 0. \quad (2)$$

Для визначення двох невідомих реакцій опор R_1 та R_2 , розглянемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \sum Z = 0 & R_1 + R_2 - F_{N1} - F_{N2} = 0 \\ \sum M_1 = 0 & F_{N1} \times a_1 + F_{N2} \times a_2 - R_2 \times a_3 = 0. \\ \sum M_2 = 0 & F_\tau \times r_n - F_c \times a_4 = 0 \end{cases} \quad (3)$$



1 – вихідний вал; 2 – рульова сошка; 3 – рейка;

X, Y, Z – вісі системи координат; F_{N1}, F_{N2} – нормальна складова сили, що діє у рейковій передачі; F_τ – тангенціальна складова сили, що діє у рейковій передачі; F_c – зовнішня сила, що діє на рульову сошку;

a_1, a_2, a_3, a_4 – плече прикладення сил; r_n – радіус початкового кола зубчатого вінця вихідного валу; R_1, R_2 – реакції опор, які розташовані на опорних цапфах.

Рисунок – 1 Схема навантаження силових елементів КГТ при співвісному розташуванні повздовжніх вісей сошки та впадини зубчастого вінця.

Джерело: розроблено автором

З рівняння (3) $\sum Z = 0$ отримаємо:

$$R_2 = F_{N1} + F_{N2} - R_1. \quad (4)$$

Підставляємо значення R_2 (4) в рівняння $\sum M_1 = 0$ (3), отримаємо:

$$\begin{aligned} F_{N1} \times a_1 + F_{N2} \times a_2 - (F_{N1} + F_{N2} - R_1) \times a_3 &= 0, \\ F_{N1} \times a_1 + F_{N2} \times a_2 - F_{N1} \times a_3 - F_{N2} \times a_3 + R_1 \times a_3 &= 0, \end{aligned}$$

а так як $F_{N1} = F_{N2}$, то отримаємо:

$$F_N \times a_1 + F_N \times a_2 - F_N \times a_3 - F_N \times a_3 + R_1 \times a_3 = 0,$$

$$F_N(a_1 + a_2 - 2a_3) + R_1 \times a_3 = 0,$$

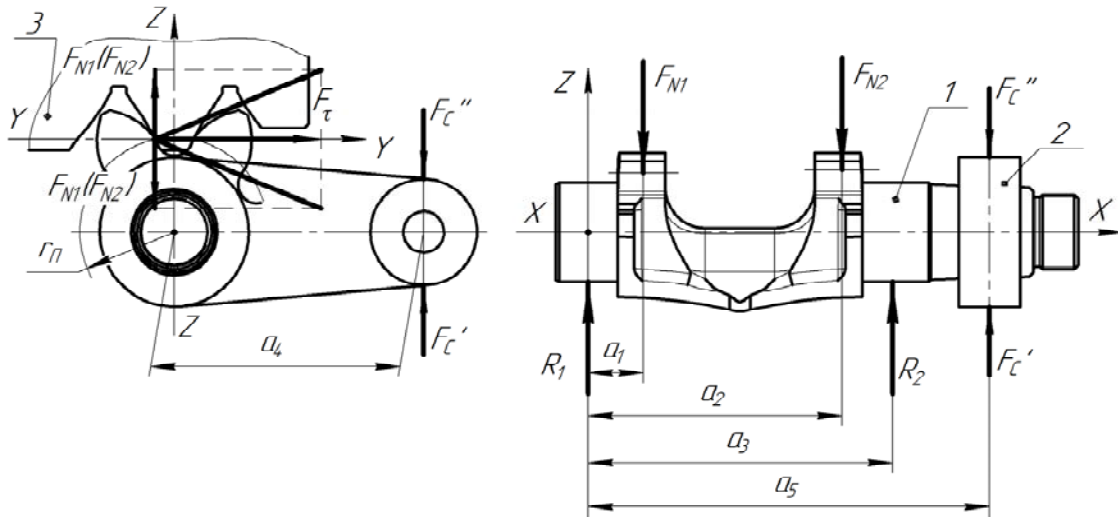
звідки визначаємо R_1 :

$$R_1 = -\frac{F_N(a_1 + a_2 - 2a_3)}{a_3}. \quad (5)$$

Після підстановки рівняння R_2 (4) у рівняння (5) та перетворень, отримаємо:

$$R_2 = 2F_N + \frac{F_N(a_1 + a_2 - 2a_3)}{a_3}. \quad (6)$$

Варіант розташування повздовжньої вісі сошки перпендикулярно вісі впадини зубчастого вінця вала-сектора розглядається на рис. 2.



1 – вихідний вал; 2 – рульова сошка; 3 – рейка;

X, Y, Z – вісі системи координат; F_{N1}, F_{N2} – нормальна складова сили, що діє у рейковій передачі; F_t – тангенціальна складова сили, що діє у рейковій передачі; F_C', F_C'' – зовнішні сили, що діють на сошку;

a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 – плече прикладення сил; r_n – радіус початкового кола зубчастого вінця вихідного валу; R_1, R_2 – реакції опор, які розташовані на опорних цапфах.

Рисунок – 2 Схема навантаження силових елементів КГП при перпендикулярному розташуванні повздовжніх вісей сошки та впадини зубчастого вінця.

Джерело: розроблено автором

Рівняння рівноваги системи в площині ZOХ:

$$\begin{cases} \sum Z = 0 & R_1 + R_2 - F_{N1} - F_{N2} + F_C' = 0 \\ \sum Z = 0 & R_1 + R_2 - F_{N1} - F_{N2} - F_C'' = 0 \\ \sum M_1 = 0 & F_{N1} \times a_1 + F_{N2} \times a_2 - R_2 \times a_3 - F_C' \times a_5 = 0 \\ \sum M_1 = 0 & F_{N1} \times a_1 + F_{N2} \times a_2 - R_2 \times a_3 + F_C'' \times a_5 = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Рівняння рівноваги системи в площині ZOУ:

$$\sum M_2 = 0 \quad F_\tau \times r_n - F_c \times a_4 = 0. \quad (8)$$

Визначаємо дві невідомі реакції, R_1 та R_2 , для чого розглянемо систему рівнянь у двох напрямках переміщення сошки:

– рух проти годинникової стрілки F_c' , перша система рівнянь:

$$\sum Z = 0 \quad \begin{cases} R_1 + R_2 - F_{N1} - F_{N2} + F_c' = 0 \\ F_{N1} \times a_1 + F_{N2} \times a_2 - R_2 \times a_3 - F_c' \times a_5 = 0; \\ \sum M_2 = 0 \quad \begin{cases} F_\tau \times r_n - F_c \times a_4 = 0 \end{cases} \end{cases} \quad (9)$$

– рух по годинниковій стрілці F_c'' , друга система рівнянь:

$$\sum Z = 0 \quad \begin{cases} R_1 + R_2 - F_{N1} - F_{N2} - F_c'' = 0 \\ F_{N1} \times a_1 + F_{N2} \times a_2 - R_2 \times a_3 + F_c'' \times a_5 = 0. \\ \sum M_2 = 0 \quad \begin{cases} F_\tau \times r_n - F_c \times a_4 = 0 \end{cases} \end{cases} \quad (10)$$

Знаходимо R_2 у першій системі рівнянь (9), $\sum M_1 = 0$:

$$\begin{aligned} -R_2 \times a_3 &= -F_{N1} \times a_1 - F_{N2} \times a_2 + F_c' \times a_5, \\ R_2 &= \frac{F_{N1} \times a_1 + F_{N2} \times a_2 - F_c' \times a_5}{a_3}, \end{aligned}$$

а так як $F_{N1} = F_{N2}$, то отримаємо:

$$R_2 = \frac{F_N(a_1 + a_2) - F_c' \times a_5}{a_3}. \quad (11)$$

Знаходимо R_1 у першій системі рівнянь (9), $\sum Z = 0$:

$$R_1 = F_{N1} + F_{N2} - F_c' - R_2. \quad (12)$$

Після підстановки рівняння R_2 (11) у рівняння (12) та перетворень, отримаємо:

$$R_1 = 2F_N - F_c' - \frac{F_N(a_1 + a_2) - F_c' \times a_5}{a_3}. \quad (13)$$

Знаходимо R_2 у другій системі рівнянь (10), $\sum M_1 = 0$:

$$\begin{aligned} -R_2 \times a_3 &= -F_{N1} \times a_1 - F_{N2} \times a_2 - F_c'' \times a_5, \\ R_2 &= \frac{F_{N1} \times a_1 + F_{N2} \times a_2 + F_c'' \times a_5}{a_3}, \end{aligned}$$

а так як $F_{N1} = F_{N2}$, то отримаємо:

$$R_2 = \frac{F_N(a_1 + a_2) + F_C \cdot a_5}{a_3}. \quad (14)$$

Знаходимо R_1 у другій системі рівнянь (10), $\Sigma Z = 0$:

$$R_1 = F_{N1} + F_{N2} + F_C - R_2. \quad (15)$$

Після підстановки рівняння R_2 (14) у рівняння (15) та перетворень, отримаємо:

$$R_1 = 2F_N + F_C - \frac{F_N(a_1 + a_2) + F_C \cdot a_5}{a_3}. \quad (16)$$

З метою чисельного оцінювання відношення реакцій опор, в залежності від навантаження, прийmemo ряд припущень, які врахують реальні розміри та навантаження:

- умовні силові одиниці (УСО), із розрахунку дії максимальної сили $F_c = 1,0$ УСО: $F_r = 0,37$ УСЕ; $2F_N = 0,17$ УСЕ.
- умовні лінійні одиниці (УЛО), із розрахунку максимальної довжини сошки
 $a_4 = 1,0$ УЛО; $r = 0,17$ УЛО; $a_1 = 0,07$ УЛО; $a_2 = 0,34$ УЛО; $a_3 = 0,4$ УЛО; $a_5 = 1,5$ УЛО.

Визначаємо відносні значення реакції опор R_1 та R_2 , для схеми рис. 1, із врахуванням прийнятих припущень, підставивши значення у формули (5) та (6):

$$R_1 = -\frac{F_N(a_1 + a_2 - 2a_3)}{a_3} = -\frac{0,085(0,07 + 0,34 - 2 \times 0,4)}{0,4} = 0,083 \text{ УЛО}; \quad (17)$$

$$R_2 = 2F_N + \frac{F_N(a_1 + a_2 - 2a_3)}{a_3} = 0,17 + \frac{0,085(0,07 + 0,34 - 2 \times 0,4)}{0,4} = 0,087 \text{ УЛО}. \quad (18)$$

З урахуванням прийнятих припущень, визначаємо відносні значення реакцій R_1 та R_2 для схеми рис. 2:

- при русі сошки проти годинникової стрілки, під дією сили F_c' , підставивши значення у формули (11) та (13):

$$R_1 = 2F_N - F_C' - \frac{F_N(a_1 + a_2) - F_C' \cdot a_5}{a_3} = 0,17 - 1 - \frac{0,085(0,07 + 0,034) - 1 \times 1,5}{0,4} = 2,833; \quad (19)$$

$$R_2 = \frac{F_N(a_1 + a_2) - F_C' \cdot a_5}{a_3} = \frac{0,085(0,07 + 0,034) - 1 \times 1,5}{0,4} = -3,663. \quad (20)$$

- при русі сошки по годинникової стрілки, під дією сили F_c'' , підставивши значення у формули (14) та (16):

$$R_1 = 2F_N + F_C'' - \frac{F_N(a_1 + a_2) + F_C'' \cdot a_5}{a_3} = 0,17 + 1 - \frac{0,085(0,07 + 0,034) + 1 \times 1,5}{0,4} = -2,667; \quad (21)$$

$$R_2 = \frac{F_N(a_1 + a_2) + F_C \cdot a_5}{a_3} = \frac{0,085(0,07 + 0,034) + 1 \times 1,5}{0,4} = 3,837. \quad (22)$$

Висновки. До важливих результатів дослідження слід віднести наступне. При схемі монтажу рульової сошки, за якої повздожня вісь сошки розташовується співвісно відносно впадини зубчастого вінця (рис. 1), реакції опор визначаються з виразів (5) та (6) та майже рівні по величині та значенню, як видно з виразів (17) та (18). Використання розглянутої схеми монтажу створює передумови для розробки, в подальшому, активної системи розвантаження опор кочення в точках реакцій опор R_1 та R_2 . Така система може бути реалізована, наприклад, за рахунок використання елементів гідравліки, таким чином забезпечивши підвищення несучої спроможності, зменшивши навантаження на елементи опор кочення вихідного валу та зменшити вплив цього навантаження на герметичність агрегату.

При схемі монтажу рульової сошки, за якої її повздожня вісь розташовується перпендикулярно відносно впадини зубчастого вінця (рис. 2), реакції опор визначаються з виразів (11, 13, 14, 16) в залежності від напрямку повороту. Значення реакцій опор різні по величині та змінюються в залежності від зміни вектору дії сили F_c .

При даній схемі монтажу, в експлуатаційних умовах, використання активної системи розвантаження опор кочення вала-сектора в точках R_1 та R_2 за рахунок елементів гідростатики являється недоцільним з огляду на співвідношення величин і напрямків векторів реакцій опор як при обертанні проти годинникової стрілки (19, 20), так і по годинниковій стрілці (21, 22).

Список літератури

1. Рульовий механізм транспортного засобу з вмонтованим підсилювачем : пат. 68413 Україна : МПК В62D 5/06. № 2001085715 ; заявл. 13.08.2001 ; опубл. 16.08.2004, Бюл. №8.
2. Армійські автомобілі. Основи руху, будова, характеристики: навч. посіб. / Білоус Б.Д. та ін. Львів : Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2007. 536 с.
3. Bosch Servotwin electro-hydraulic steering system : веб сайт. URL: <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/steering/servotwin/> (дата звернення 10.04.2024).
4. Динамічне управління від VOLVO : веб сайт. URL: <https://www.volvotrucks.com.ua/uk-ua/trucks/features/volvo-dynamic-steering.html> (дата звернення 10.04.2024).
5. Knorr Bremse. Steering systems for commercial vehicles – Precision and safety : веб сайт. URL: https://www.knorr-bremsecvs.com/en/products_1/steering/standard_page_broad_6.jsp (дата звернення 10.04.2024).
6. Xia L, Jiang H. An electronically controlled hydraulic power steering system for heavy vehicles. *Advances in Mechanical Engineering*. 2016. № 8(11). DOI: 10.1177/1687814016679566 (дата звернення 10.04.2024).
7. Du H, Zhang Q, Chen S, Fang J. Modeling, simulation, and experimental validation of electro-hydraulic power steering system in multi-axle vehicles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2019. Vol. 233(2) P. 317-332. DOI: 10.1177/0954407017743346 (дата звернення 10.04.2024).
8. Guo Z, Wu H, Zhao W, Wang C. Coordinated control strategy for vehicle electro-hydraulic compound steering system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2021. Vol. 235(2-3) P. 732-743. DOI: 10.1177/0954407020949480 (дата звернення 10.04.2024).
9. Liu C, Wang C, Zhao W, Guo Z. Displacement characteristics hierarchical control of electro-hydraulic compound steering for commercial vehicle. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 2022. Vol. 236(12) P. 6395-6409. DOI: 10.1177/09544062211069293 (дата звернення 10.04.2024).

10. Cui T, Wang S, Qu Y, Chen X. Parameters optimization of electro-hydraulic power steering system based on multi-objective collaborative method. *Complex Engineering Systems*. 2023. Vol. 3(1). DOI: <http://dx.doi.org/10.20517/ces.2022.57>.
11. Апаракін А.Р. Реалізація гідростатичних підшипникових опор цапф вала-сектора кульково-гвинтового гідропідсилювача руля. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: зб. матеріалів XIII міжнар. наук.-практ. конф., 25-26 травн. 2023 р. Чернігів: НУ "Чернігівська політехніка", 2023. Т. 1. С. 290.
12. Апаракін А.Р. Схема навантаження силових елементів з аксіальною структурою приводу кульково-гвинтового гідропідсилювача. Науковий простір: актуальні питання, досягнення та інновації: зб. матеріалів V міжнар. наук.-практ. конф., 26 травн. 2023 р. Черкаси: Вінниця - «Європейська наукова платформа», 2023. С. 143-145. DOI: <https://doi.org/10.36074/mcnd-26.05.2023>.

References

1. Pidhayetskyu, M.M., Povyetkin, S.M., Bilyakovskyy, R.P. (2004). *Rulovyy mekhanizm transportnoho zasobu z vmontovanyim pidsylyuvachem [The steering mechanism of a vehicle with a built-in power amplifier]* (Patent of Ukraine №68413). State intellectual property department of Ukraine.
2. Bilous B. D., Tkachuk P. P., Andrusyk Ya. F., Bilous A. B., Burkovskyy A. S., Bilous N. B., et al. (2007). *Armivski avtomobili. Osnovy rukhu, budova, kharakterystyky: navch. posib. [Army cars. Basics of movement, structure, characteristics: study guide]*. Lviv: NU «Lvivska politekhnika» [in Ukrainian].
3. Bosch Servotwin electro-hydraulic steering system. Retrieved from <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/steering/servotwin/>.
4. Dynamichne upravlinnya vid VOLVO [Dynamic steering from VOLVO]. Retrieved from <https://www.volvotrucks.com.ua/uk-ua/trucks/features/volvo-dynamic-steering.html> [in Ukrainian].
5. Knorr Bremse. Steering systems for commercial vehicles – Precision and safety. Retrieved from https://www.knorr-bremsecvs.com/en/products_1/steering/standard_page_broad_6.jsp.
6. Xia L, Jiang H. (2016) An electronically controlled hydraulic power steering system for heavy vehicles. *Advances in Mechanical Engineering*, 8(11). DOI: 10.1177/1687814016679566.
7. Du H, Zhang Q, Chen S, Fang J. (2019) Modeling, simulation, and experimental validation of electro-hydraulic power steering system in multi-axle vehicles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 233(2), P. 317-332. DOI: 10.1177/0954407017743346.
8. Guo Z, Wu H, Zhao W, Wang C. (2021) Coordinated control strategy for vehicle electro-hydraulic compound steering system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 235(2-3), P. 732-743. DOI: 10.1177/0954407020949480.
9. Liu C, Wang C, Zhao W, Guo Z. (2022) Displacement characteristics hierarchical control of electro-hydraulic compound steering for commercial vehicle. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 236(12), P. 6395-6409. DOI: 10.1177/09544062211069293.
10. Cui T, Wang S, Qu Y, Chen X. (2023) Parameters optimization of electro-hydraulic power steering system based on multi-objective collaborative method. *Complex Engineering Systems*, 3(1). DOI: <http://dx.doi.org/10.20517/ces.2022.57>.
11. Апаракін, А. Р. (2023). Реалізація гідростатичних підшипникових опор цапф вала-сектора кульково-гвинтового гідропідсилювача руля [Implementation of hydrostatic bearing supports of the shaft-sector trunnions of the ball-screw power steering]. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: зб. матеріалів XIII міжнар. наук.-практ. конф. – Proceedings of the 13th International Conference Comprehensive assurance of the quality of technological processes and systems, 1*, 290 [in Ukrainian].
12. Апаракін, А. Р. (2023). Схема навантаження силових елементів з аксіальною структурою приводу кульково-гвинтового гідропідсилювача руля [Load diagram of power elements with an axial drive structure of the ball-screw hydraulic power steering]. *Науковий простір: актуальні питання, досягнення та інновації: зб. матеріалів V міжнар. наук.-практ. конф. – Proceedings of the 5th International Conference Scientific space: current issues, achievements and innovations*, 143-145. DOI: <https://doi.org/10.36074/mcnd-26.05.2023> [in Ukrainian].

Anton Aparakin, PhD tech. sci., Senior Lecturer, **Pavlo Yeromin**, PhD tech. sci.,
Vitaliy Mazhara, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Synthesis of load schemes of power elements of a ball-screw hydraulic power steering with an axial drive structure

The well-known design of ball-screw hydraulic power steering is not without flaws - the bearing supports of the output shaft are the most loaded elements of the unit structure, and the elastic deformation of these supports, during operation, is the reason for the depressurization of the sealing system in this area. The purpose of the work is to determine the layout of ball-screw hydraulic power steering with a steering arm, using which it is possible to ensure the maximum beneficial effect from the use of a system of active unloading of the rolling bearings of the shaft sector, increasing the load-bearing capacity and ensuring better tightness.

The study is based on the provisions of the theory of resistance of materials. The paper examines and compares the two most common configurations for the location of the steering arm's longitudinal axis relative to the cavity of the gear shaft: coaxial and perpendicular location. To achieve the goal, an analysis of the interaction system of the output shaft of the ball-screw hydraulic power steering with rolling bearings, steering arm, and rack and pinion transmission was carried out for the given two configurations. The operating conditions of the output shaft, under its load, and the reactions of the supports are described by systems of equations. For the purpose of comparative evaluation of the ratio of the reactions of the supports depending on the load and taking into account the real linear dimensions of the parts, a methodology and a number of assumptions have been developed in the work. With the help of the developed methodology, a relative comparison of the layout configurations studied in the work was carried out, taking into account the direction of rotation of the output shaft of the ball-screw hydraulic power steering with the steering arm installed.

As a result of the study, the composition of the ball-screw hydraulic power steering with steering arm was determined, which allows to ensure the maximum beneficial effect of the use of the system of active unloading of the rolling bearings of the shaft sector. The use of the steering arm installation scheme, in which the longitudinal axis of the arm is located coaxially relative to the cavity of the gear shaft, creates prerequisites for the development, in the future, of an active system for unloading the rolling bearings at the points of the bearing reactions. Such a system can be implemented, for example, due to the use of hydraulics elements, thereby ensuring an increase in bearing capacity, reducing the load on the output shaft rolling support elements and reducing the impact of this load on the tightness of the unit.

steering wheel, power steering, load, motor vehicle

Одержано (Received) 11.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 23.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 631.362.3

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.31-40](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.31-40)

О.В. Нестеренко, доц., канд. техн. наук, **О.М. Васильковський**, проф., канд. техн. наук, **Р.В. Кісільов**, доц., канд. техн. наук, **В.М. Сало**, проф., д-р техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: nov_78@ukr.net

Аналіз одношарового руху зернового матеріалу у вертикальному пневмосепараційному каналі

Однією з важливих передумов якісного процесу пневмосепарації зернового матеріалу є створення рівнозначних умов розділення для всіх часток зернової суміші. Підвищення питомого навантаження призводить до погіршення розподілу зернового матеріалу та збільшення кількості зіштовхувань часток в зоні сепарації, що суттєво погіршує якість розділення.

Враховуючи аналіз аналітичних досліджень способів та умов введення зерна в робочу зону пневмосепарації на ефективність фракційного розділення є необхідність визначення закономірності взаємодії частинок фракції зернового матеріалу з повітряним потоком при умові його тонкошарової подачі.

© О.В. Нестеренко, О.М. Васильковський, Р.В. Кісільов, В.М. Сало 2024

В статті проаналізовано рух різних фракцій зернової суміші в вертикальному пневмосепараційному каналі при їх одношаровому введенні з урахуванням засміченості повітряного потоку. В результаті аналізу отримані теоретичні залежності, що дозволяють встановити раціональні конструктивні параметри живильників пневмосепараційного каналу та визначити час перебування зернової частки в зоні дії повітряного потоку.

пневмосепарація, зерновий матеріал, пневмосепараційний канал, умови введення зернового матеріалу, робоча зона сепарації

Постановка проблеми. Розділення зерна та легких домішок в вертикальному пневмосепараційному каналі при збільшенні його продуктивності відбувається за досить складних умов, оскільки збільшується товщина зернового струменя, що призводить до перерозподілу часток зернового матеріалу та зменшує ймовірність виділення легких домішок в осадову камеру [1-3]. Це призводить до перерозподілу швидкостей повітряного потоку, збільшує кількість зіткнень зернових часток та підвищує опір пневмосепараційного каналу й енергоємність процесу розділення [4-6].

Однією з причин такого перерозподілу є конструктивне виконання більшості вертикальних пневмосепараційних каналів, які як правило komponуються з плоскими коливальними решетами та мають досить обмежену продуктивність при дотриманні вимог по якості очищення [1, 2, 5].

Для підвищення продуктивності вертикальних пневмосепараційних каналів є необхідним створення умов одношарового розміщення зернового матеріалу в зоні сепарації на відстані, яка виключає взаємодію інших шарів введення зерна. Це дасть можливість більшості зернових часток перебувати в однакових умовах та збільшити відсоток вірогідності виділення в осадову камеру до максимального значення.

Тому досить важливою задачею є теоретичний аналіз руху спрямований на дослідження взаємодії частинок зернової суміші з повітряним потоком з урахуванням одношарового розміщення декількох зернових шарів з урахуванням засміченості повітряного потоку легкими домішками в зоні сепарації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика дослідження закономірностей взаємодії зернового матеріалу з повітряним потоком залишається не повністю вивченою, оскільки швидкоплинність зміни процесів руху частинок зернової суміші є взаємозалежним від великої кількості факторів, що виникають в процесі пневмосепарації [3, 4, 7].

Аналітичними дослідженнями процесу взаємодії зерна з повітряним потоком займались багато вчених [5-11], але при цьому суттєвий вплив має саме початкові умови потрапляння зернової суміші в робочу зону сепарації, які значно змінюють розташування та взаємодію всіх частинок зернових фракцій в повітряному потоці.

За результатами досліджень визначено [3, 4, 6], що в значній частині робочої зони пневмосепараційного каналу розділення зерна відбувається неефективно. Причиною цього є нерівномірне завантаження зернового матеріалу, в результаті якого спостерігається перерозподіл швидкостей повітряного потоку, збільшення значної кількості застійних зон, що призводить до суттєвого зменшення ефективності сепарації [4, 7, 13].

В роботі [10] автором визначено ефективність пневмоканалу в залежності від зміни ширини пневмосепаратора та аеродинамічних властивостей зернового матеріалу, на основі чого отримані математичні моделі динаміки компонентів сумішей для овочевих культур.

Питання розподілу компонентів зернової суміші у нижній зоні вертикального кільцевого пневмосепараційного каналу розглянуто в роботі [11] та доведено можливість фракціонування з нижнім сходом зернових часток.

Аналітичні залежності зміни швидкості частинок суміші рушанки рицини в повітряному потоці в робочій зоні сепаратора із пиловловлюючим пристроєм визначено в роботі [12]. Автором отримані закономірності руху компонентів суміші рушанки рицини в залежності від їх переміщення в робочій зоні сепарації та ефективності очищення повітряного потоку.

За результатами теоретичного аналізу авторами [13] обґрунтовано найбільш раціональну щільність зернових часток при завантаженні зернового матеріалу в зону сепарації та отримано умови за яких застосовується максимально можливе питоме навантаження без зменшення ефективності пневмосепарації.

Необхідність зменшення щільності зернового матеріалу в повітряному потоці та доведення цього значення до відповідних меж з метою покращення взаємодії та збільшенні площі контакту з повітрям доводиться авторами в роботах [14, 15], що має вагомим значення при підвищенні зернового навантаження на пневмосепараційний канал.

Незважаючи на значну кількість наукових праць в напрямку забезпечення сприятливих умов (аналогічних для кожної частки) при розділенні зернової суміші на фракції, можливості подальшого вдосконалення пневмосепараційних систем зерноочисних машин повністю не вичерпані. Тому теоретичні дослідження, спрямовані на підвищення ефективності роботи вертикальних пневмосепараційних каналів з метою обґрунтування раціональних конструктивно-режимних параметрів є важливою і актуальною задачею.

Постановка завдання. Враховуючи необхідність обґрунтування конструктивно-режимних параметрів вертикальних пневмосепараційних каналів та їх живильних пристроїв які здатні формувати багаторівневе одношарове введення зернового матеріалу необхідно провести теоретичний аналіз взаємодії зернової суміші з повітряним потоком в зоні сепарації з урахуванням засміченості.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо одношаровий рух зернового матеріалу в вертикальному пневмосепараційному каналі.

При аналізі об'єкта досліджень визначаємо наступні умови:

- окремо взяті шари зернової суміші в робочій зоні каналу не перемішуються;
- зернова частка та легка домішка мають форму кулі і є близькими за розмірами;
- маса окремої зернини більша в багато разів маси легкої домішки;
- зерно та легкі домішки рівномірно розташовані в кожному шарі.

Застосуємо Декартову систему координат OXY (рис. 1), у якій вісь OY буде направлена в напрямку руху повітряного потоку, а вісь OX таким чином, що система координат OXY буде розташована праворуч.

Швидкість повітря V_n вибираємо таким чином, щоб при проходженні через вертикальний пневмосепараційний канал (рис. 1, а):

– основний зерновий матеріал практично не відхилявся від основної траєкторії, що має місце при відсутності повітряного потоку, тобто швидкість повітря V_n менша за швидкість витання зерна $V_{в.з.}$;

– легкі домішки суттєво відхиляються від траєкторії, яка має місце при відсутності повітряного потоку, відповідно, швидкість повітря є більшою за швидкість витання домішок $V_{в.д.}$.

При цьому, швидкість повітряного потоку повинна задовольняти умову:

$$V_{в.д.} < V_n < V_{в.з.} \quad (1)$$

За умови прийнятих припущеннях буде спостерігатись чітке розділення зернової суміші, зерно та легкі домішки будуть рухатись в протилежному напрямку, при цьому

їх взаємодія майже виключена. При завантаженні в пневмосепараційний канал зерно практично не буде відхилятися від своєї траєкторії, а легкі домішки підніматимуться вгору.

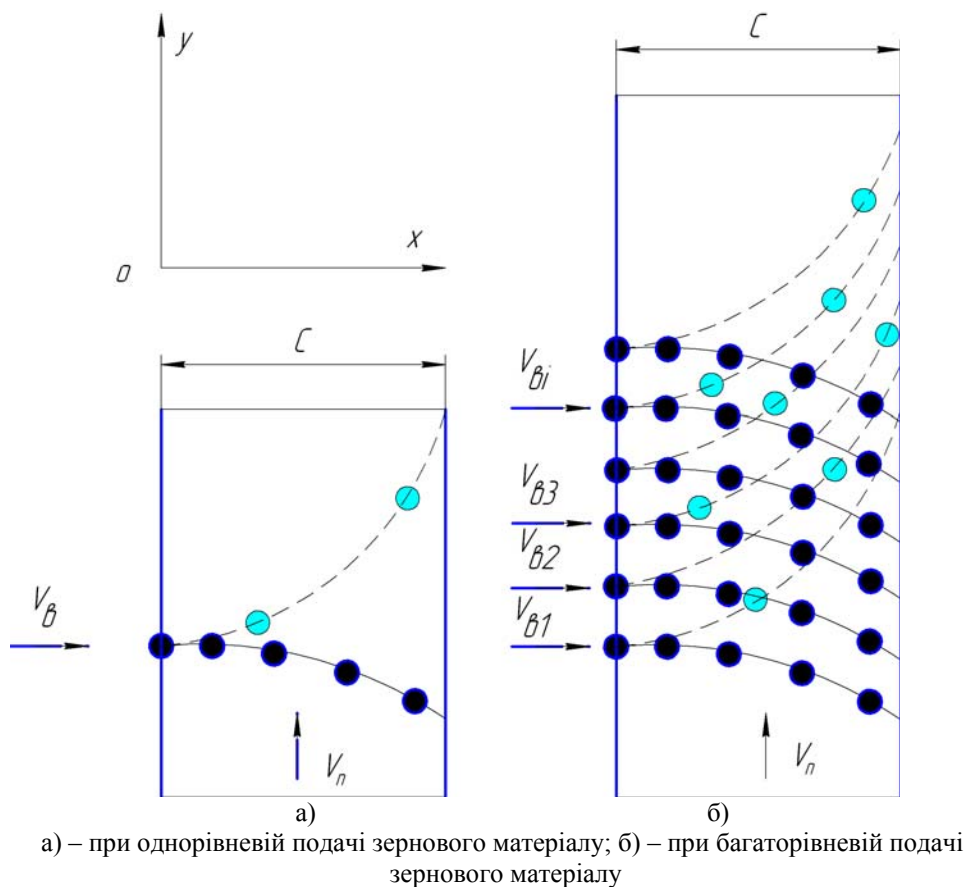


Рисунок 1 – Схема руху основного зерна та легких домішок

Джерело: розроблено авторами

Опишемо рух основного зерна та легких домішок при їх розділенні в пневмосепараційному каналі з одношаровим введенням зернового матеріалу.

При завантаженні зернової частки в повітряний потік на неї будуть діяти: сила ваги $P = m_3 g$ (m_3 – маса усередненої частки, g – прискорення земного тяжіння), сила інерції $m_3 a$ (a – прискорення усередненої зернової частки) та сила опору повітря $F_{on.3}$:

$$m_3 a + P + F_{on.3} = 0, \quad (2)$$

Швидкість повітряного потоку V_n має досить великі значення ($V_n = 8 > 2$ м/с), тому сила опору повітряного потоку $F_{on.3}$ пропорційна квадрату відносної швидкості частки [3] та направлена протилежно її швидкості руху:

$$F_{on.3} = -|V|V m_3 k_3, \quad (3)$$

де $V = (\dot{x}, \dot{y} - V_n)$ – вектор швидкості руху зерна відносно повітряного потоку; k_3 – коефіцієнт парусності зерна з урахуванням засміченості потоку.

$$k_3 = k_3' \cdot k_{e.d.}, \quad (4)$$

де k'_3 – коефіцієнт парусності зерна;

$k_{e.o.}$ – коефіцієнт, який враховує вплив домішок на опір переміщення в засміченому потоці, $k_{e.o.} = 1,03 \dots 1,05$.

В проекціях на осі системи OXY рівняння (3) набуває вигляду:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -\sqrt{\dot{x}^2 + (\dot{y} - V_n)^2} \dot{x} k_3; \\ \ddot{y} = -g + \sqrt{\dot{x}^2 + (\dot{y} - V_n)^2} (\dot{y} - V_n) k_3. \end{cases} \quad (5)$$

Горизонтальна та вертикальна складові швидкості зернової частки змінюються в межах, відповідно, $0,5 \dots 0,7$ м/с і $0,1 \dots 0,2$ м/с. Вони є набагато менші за швидкість повітряного потоку, тому:

$$|V| = \sqrt{\dot{x}^2 + (\dot{y} - V_n)^2} \approx |V_n - \dot{y}| \approx V_n, \quad (6)$$

і з урахуванням цього рівняння (5) приймуть вигляд:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -V_n \dot{x} k_3; \\ \ddot{y} = k_3 (V_n^2 - V_{e.3.}^2). \end{cases} \quad (7)$$

де $V_{e.3.} = \sqrt{\frac{g}{k_3}}$ – швидкість витання зернової частки.

Рівняння системи (7) є незалежними. Понижуємо порядок рівнянь та замінюємо $\dot{x} = u$, $\dot{y} = v$:

$$\begin{cases} \dot{u} = -V_n u k_3; \\ \dot{v} = k_3 (V_n^2 - V_{e.3.}^2). \end{cases}$$

розділюємо змінні:

$$\begin{cases} \frac{du}{u} = -V_n k_3 dt; \\ dv = k_3 (V_n^2 - V_{e.3.}^2) dt, \end{cases}$$

проінтегруємо

$$\begin{cases} \ln|u| = -V_n k_3 t + \ln C_1; \\ v = k_3 (V_n^2 - V_{e.3.}^2) t + C_2, \end{cases}$$

де C_1, C_2 – постійні інтегрування.

Виконуємо зворотні заміни

$$\begin{cases} \dot{x} = C_1 e^{-V_n k_3 t}; \\ \dot{y} = k_3 (V_n^2 - V_{e.3.}^2) t + C_2. \end{cases} \quad (8)$$

Проінтегрувавши систему рівнянь (8), отримаємо

$$\begin{cases} x = \frac{C_1}{-V_n k_3} e^{-V_n k_3 t} + C_3; \\ y = k_3 (V_n^2 - V_{e.з.}^2) \frac{t}{2} + C_2 t + C_4, \end{cases} \quad (9)$$

де C_3, C_4 - постійні інтегрування.

Постійні інтегрування C_1, C_2, C_3, C_4 знаходимо з граничних умов

$$x(0) = 0, \dot{x}(0) = \dot{x}_0, y(0) = 0, \dot{y}(0) = \dot{y}_0. \quad (10)$$

З рівнянь(8)–(10) отримаємо:

$$C_1 = \dot{x}_0, C_2 = \dot{y}_0, C_3 = \frac{\dot{x}_0}{V_n k_3}, C_4 = 0. \quad (11)$$

Підставивши рівняння (11) в (9), отримаємо:

$$\begin{cases} x = \frac{\dot{x}_0}{V_n k_3} (1 - e^{-V_n k_3 t}), \\ y = k_3 (V_n^2 - V_{e.з.}^2) \frac{t}{2} + \dot{y}_0 t. \end{cases} \quad (12)$$

Перше рівняння дозволяє визначити час t , за який зернова частка проходить відстань від передньої стінки пневмосепаруючого каналу до задньої стінки, тобто час, який частка знаходиться в каналі. При цьому, якщо глибина каналу L , то час t буде розв'язком цього рівняння

$$C = \frac{\dot{x}_0}{V_n k_3} (1 - e^{-V_n k_3 t}). \quad (13)$$

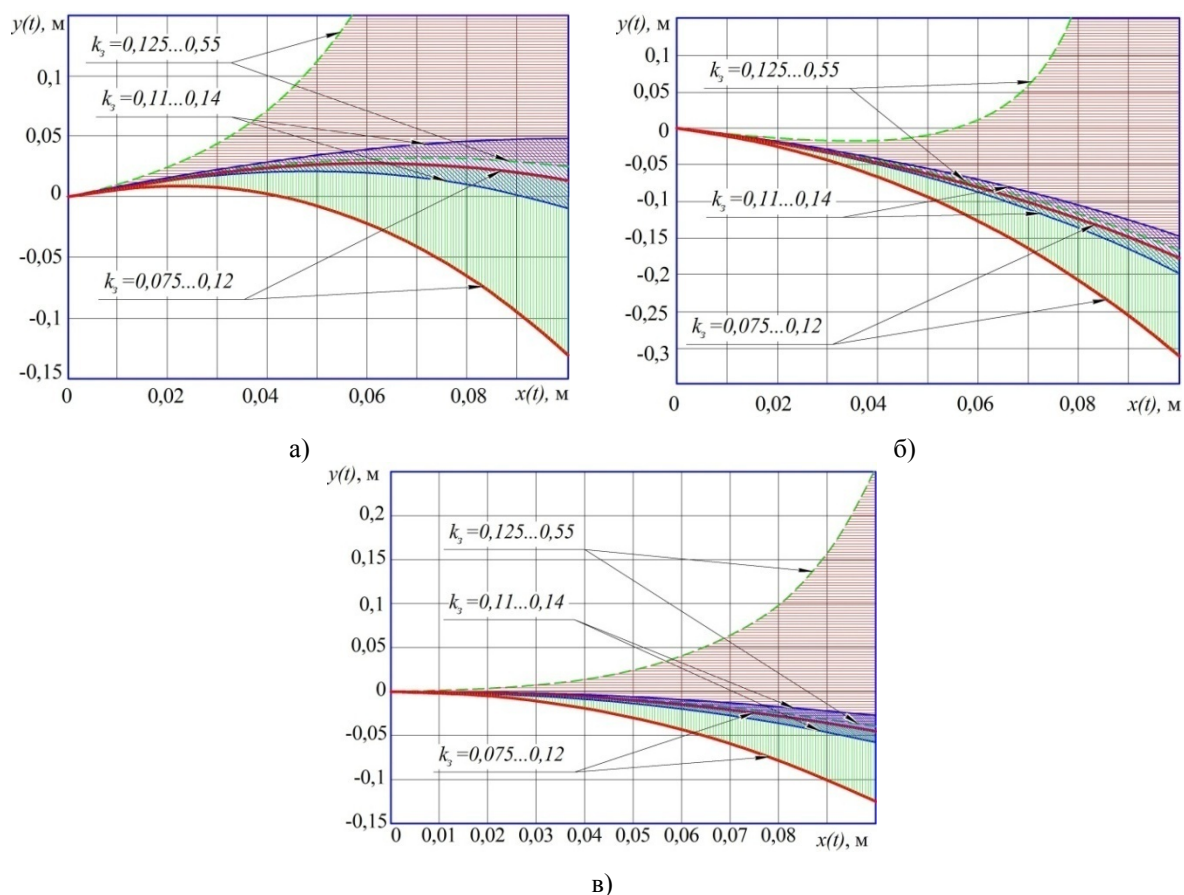
З рівняння (13) визначаємо час перебування частки в пневмосепаруючому каналі:

$$t = -\frac{1}{V_n k_3} \ln \left(1 - \frac{C V_n k_3}{\dot{x}_0} \right). \quad (14)$$

Графічна інтерпретація (рис. 2) отриманих залежностей (12) – (14) дозволяє визначити можливість і умови розділення зернової суміші на фракції.

На основі графічних залежностей (рис. 2) можна зробити наступні висновки.

Для зернового матеріалу, що характеризується показниками коефіцієнта парусності $k_3 = 0,075 \dots 0,12$ – для повноцінного зерна, $k_3 = 0,11 \dots 0,14$ – для некондиційного зерна та $k_3 = 0,125 \dots 0,55$ для легких домішок, спостерігається можливість чіткого розділення зернової суміші на фракції, при відповідних параметрах та режимах роботи пневмосепаруючого каналу за умови одношарового введення.



- а) – кут подачі зерна в канал 40° в напрямку дії вектора швидкості повітряного потоку;
 б) – кут подачі в канал 40° в протилежну сторону напрямку дії вектора швидкості повітряного потоку;
 в) – кут подачі в канал 0° в сторону дії вектора швидкості повітряного потоку

Рисунок 2 – Траєкторії польоту та розподіл по фракціях зернового матеріалу за умов: швидкість введення в канал $\dot{x}_0=0,5$ м/с, швидкість повітряного потоку $V_n=7,5$ м/с

Джерело: розроблено авторами

Встановлено, що при подачі зернового матеріалу під кутом 40° в сторону напрямку дії вектора швидкості повітряного потоку (рис. 1, а), на глибині каналу $L=40$ мм спостерігається повне розділення на фракції легких домішок та повноцінного зерна. При цьому, встановивши в пневмосепараційному каналі швидкість повітряного потоку $V_n=7,5$ м/с, на глибині $L=100$ мм маємо можливість виділення до 96% легких домішок в осадову камеру. Але при цьому будуть втрати повноцінного зерна у відходи.

При введенні зернового матеріалу під кутом 40° в протилежну сторону напрямку дії вектора швидкості повітряного потоку або горизонтально (рис. 2, б, в) втрат повноцінного зерна практично не спостерігається (для $V_n=7,5$ м/с), але при цьому кількість легких домішок, що виділені в осадову камеру не перевищує 30% – 60%. При цьому, для покращення якості сепарації необхідно збільшення енерговитрат на створення повітряного потоку та габаритів пневмосепаруючого каналу.

Висновки. З метою покращення ефективності використання пневмосепараційних каналів зерноочисних машин проведений теоретичний аналіз взаємодії зернового матеріалу з повітряним потоком при одношаровому розташуванні зернового матеріалу в зоні сепарації з урахуванням засміченості повітряного потоку.

За результатами досліджень встановлено, що на процес переміщення зернових часток в повітряному каналі значний вплив здійснюють умови введення в зону сепарації.

Відповідно, при обґрунтуванні раціональних параметрів живильників пневмосепараційних каналів для одношарового введення матеріалу в зону сепарації й встановлення відповідних аеродинамічних режимів повітряного потоку можливо виділити з зернового матеріалу до 96% легких домішок з мінімальними втратами повноцінного зерна.

Список літератури

1. Перспективний напрямок інтенсифікації повітряної сепарації зерна / Нестеренко О.В. та ін. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2012. Вип. 25, ч.1. С.49–53.
2. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів / Котов Б.І. та ін. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2003. Вип. 33. С. 53-59.
3. Stepanenko S., Rogovskii I., Titova L., Trokhaniak V., Trokhaniak O. Experimental study in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, 2019. Vol. 12 (61), No. 1 . pp. 117-128.
4. Аналітичні дослідження контактного руху легких домішок у пневмосепаруючому каналі / Нестеренко О.В. та ін. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2017. Вип. 47(2). С. 185-191.
5. Panasiewicz M., Zawiślak K., Kusińska E., Sobczak P. Purification and separation of loose material in pneumatic system with vertical air stream. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.* 2008. Vol. 8. Pp.171-176.
6. Дослідження роботи пневмосепаруючого каналу на фізичній моделі / Васильковський М.І. та ін. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2006. Вип.17. С. 44–48.
7. Котов Б.І., Степаненко С. П. Теоретичні дослідження руху компонентів зернового матеріалу із штучно сформованим розподілом швидкості повітря в поперечному перетині каналу. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2021. Вип. 51. С. 20-35.
8. Lukaszuk J., Molenda M., Horabik J., Szot B., Montross M.D. Air flow resistance of wheat bedding as influenced by the filling method. *Research in Agricultural Engineering*. 2008 Vol.54. Pp. 50-57.
9. Panasiewicz M. Analysis of the pneumatic separation process of agricultural material. *International Agrophysis*. 1999. Vol.13. No. 2. Pp. 233-239.
10. Крекот М. М. Обґрунтування параметрів процесу і розробка пневматичного сепаратора насіння овочевих культур: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Харків, 2015. 20 с.
11. Колодій О. С. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Мелітополь, 2015. 24 с.
12. Чебанов А. Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневмосепаратора рушанки рицини з пиловловлюючим пристроєм : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Мелітополь, 2013. 21 с.
13. Котов Б.І., Степаненко С.П., Швидя В.О. Аналітичні дослідження раціональної подачі зернової суміші в аспіраційний канал пневмовідцентрових сепараторів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П.Василенка*. 2010 р. Вип. 103. С. 54-61.
14. Обґрунтування алгоритму функціонування інерційно-прямоточних зерноочисних машин / Лещенко С.М. та ін. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2011. Вип.24, ч.1. С. 176-181.
15. Nesterenko, A.V., Leshchenko, S.M., Vasylovskiy, O.M., Petrenko, D.I. Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding, *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2017. No.53(3). Pp. 65-70.

References

1. Nesterenko, O.V. et al. (2012). Perspektyvnyj napriamok intensyfikatsii povitrianoi separatsii zerna [Perspective direction of intensification of air separation of grain]. *Zbirnyk naukovykh prats' Kirovohrads'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v sil's'kohospodars'komu*

- vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia - Collection of scientific papers of the Kirovohrad National Technical University. Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation, 25, 1, 49-53 [in Ukrainian].*
2. Kotov, B.I. et al. (2003). Tendentsii rozvytku konstruksij mashyn ta obladnannia dlia ochyschennia i sortuvannia zerno materialiv [Tendencies of development of designs of machines and equipment for cleaning and sorting of grain materials]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia sil's'kohospodars'kykh mashyn - Design, production and operation of agricultural machinery, 33, 53-59 [in Ukrainian].*
 3. Stepanenko, S., Rogovskii, I., Titova, L., Trokhaniak, V. & Trokhaniak, O. (2019). Experimental study in a pneumatic microbioculture separator with apparatus camera. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Vol. 12 (61), No. 1. Pp. 117-128.*
 4. Nesterenko, O.V. et al. (2017). Analitichni doslidzhennia kontaktnoho rukhu lehkikh domishok u pnevmoseparuiiuchomu kanali [Analytical studies of the contact motion of light impurities in the pneumatic separation channel]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia sil's'kohospodars'kykh mashyn - Design, production and operation of agricultural machine, 47(2), 185-191 [in Ukrainian].*
 5. Panasiewicz, M., Zawiślak, K., Kusińska, E. & Sobczak, P. (2008), Purification and separation of loose material in pneumatic system with vertical air stream. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln., Vol.8. Pp.171-176.*
 6. Vasylykova, M.I. et al. (2006). Doslidzhennia roboty pnevmoseparuiiuchoho kanalu na fizychnij modeli [Study of the pneumatic separating channel operation on a physical model]. *Zbirnyk naukovykh prats' Kirovohrads'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia - Collection of scientific papers of the Kirovohrad National Technical University. Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation, 17, 44-48 [in Ukrainian].*
 7. Kotov, B.I. & Stepanenko, S.P. (2021). Teoretychni doslidzhennia rukhu komponentiv zernovoho materialu iz sztuchno sformovanim rozpodilom shvydkosti povitria v poperechnomu peretyni kanalu [Theoretical studies of the flow of grain material components with an artificially formed distribution of air velocity in the cross-section of the channel]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia sil's'kohospodars'kykh mashyn - Design, manufacture and operation of agricultural machinery, 51, 20-35 [in Ukrainian].*
 8. Lukaszuk, J., Molenda, M., Horabik, J., Szot, B. & Montross M.D. (2008). Air flow resistance of wheat bedding as influenced by the filling method. *Research in Agricultural Engineering, Vol.54. Pp.50-57.*
 9. Panasiewicz, M. (1999). Analysis of the pneumatic separation process of agricultural material. *International Agrophysis. Vol.13. No. 2. Pp. 233-239.*
 10. Krekot, M.M. (2015). Obgruntuvannia parametriv protsesu i rozrobka pnevmatichnoho separatora nasinnia ovochevykh kul'tur [Substantiation of process parameters and development of a pneumatic separator for vegetable seeds]. *Extended abstract of candidate's thesis. Kharkiv [in Ukrainian].*
 11. Kolodij, O.S. (2015). Obgruntuvannia konstruktyvno-tekhnolohichnykh parametriv pnevmohravitatsijnogo separatora nasinnia soniashnyka [Substantiation of structural and technological parameters of the pneumatic gravity separator of sunflower seeds]. *Extended abstract of candidate's thesis. Melitopol' [in Ukrainian].*
 12. Chebanov, A.B. (2013). Obgruntuvannia konstruktyvno-tekhnolohichnykh parametriv pnevmoseparatora rushanky rytsyny z pylovlovliuiuchym prystroiem [Substantiation of constructive and technological parameters of the pneumatic separator of castor oilseed rape with a dust collecting device]. *Extended abstract of candidate's thesis. Melitopol' [in Ukrainian].*
 13. Kotov, B.I., Stepanenko, S.P. & Shvydia, V.O. (2010). Analitichni doslidzhennia ratsional'noi podachi zernovoi sumishi v aspiratsijnyj kanal pnevmovidtsentrovnykh separatoriv [Analytical studies of the rational supply of grain mixture to the aspiration channel of pneumatic centrifugal separators]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil's'koho hospodarstva im. P.Vasylenka - Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after P. Vasilenko, 103, 54-61 [in Ukrainian].*
 14. Leschenko, S.M. et al. (2011). Obgruntuvannia alhorytmu funktsionuvannia inertsiino-priamotochnykh zernoochysnykh mashyn [Substantiation of the algorithm of functioning of inertial-straight grain cleaning machines]. *Zbirnyk naukovykh prats' Kirovohrads'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia - Collection of scientific papers of the Kirovohrad National Technical University. Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation, 24,1, 176-181 [in Ukrainian].*
 15. Nesterenko, A.V., Leshchenko, S.M., Vasylykovskiy, O.M. & Petrenko, D.I. (2017). Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding, *INMATEH - Agricultural Engineering. No.53(3). Pp. 65-70.*

Oleksandr Nesterenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksii Vasylykovskiy**, Prof., PhD tech. sci.,
Ruslan Kisilov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vasyl Salo**, Prof., DSc.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Analysis of single-layer movement of grain material in a vertical pneumatic separation channel

The separation of grain and light impurities in a vertical pneumatic separation channel with an increase in its capacity occurs under rather difficult conditions, since the thickness of the grain flow increases, which leads to a redistribution of particles of grain material and reduces the probability of passing light impurities through the grain layers and their release into the sedimentation chamber.

To increase the productivity of vertical pneumatic separation channels, it is necessary to create conditions for single-layer placement of grain material in the separation zone at a distance that excludes the interaction of other layers of grain input. This will allow the majority of grain particles to be in the same conditions and increase the percentage of probability of separation into the sedimentation chamber to the maximum value.

Therefore, a theoretical flow analysis aimed at studying the interaction of grain mixture particles with the air flow, taking into account the single-layer arrangement of several grain layers and the contamination of the air flow with light impurities in the separation zone, is a rather important task.

Theoretical dependences have been obtained that allow substantiating the main parameters of the pneumatic separation channel and determine the residence time of a grain particle in the separation zone, taking into account the clogging of the air flow. For a grain material of mass characterized by the values of the windage coefficient $k_s = 0.075...0.12$ for full grain, $k_s = 0.11...0.14$ for substandard grain, and $k_s = 0.125...0.55$ for light impurities, it is possible to clearly separate the grain mixture into fractions by setting the appropriate parameters and operating modes of the pneumatic separation channel under the condition of a single-layer multilevel input.

Due to the selection of rational parameters of the feeding devices for delivering the material into the separation zone and establishment of appropriate aerodynamic modes of air flow, it is possible to separate up to 96% of light impurities from the grain material, while ensuring minimal losses of full grain to waste.

pneumatic separation, grain material, pneumatic separation channel, grain input conditions, working zone of separation

Одержано (Received) 10.05.2024

Прорецензовано (Reviewed) 14.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

UDK 624.042.5

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.41-49](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.41-49)

Victor Pashynskiy, Prof., DSc., **Mykola Pashynskiy**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Victor Pashynskiy, PhD tech. sci.

e-mail: pva.kntu@gmail.com

Zoning of Thermal Actions on Load-Bearing Structures for the Territory of Ukraine

Based on the results of previously conducted research, an administrative-territorial zoning of the characteristic values of thermal changes during summer and winter structural welding of load-bearing elements was performed. The independence of temperature changes from the height above sea level has been revealed. Significant changes by the territory of Ukraine confirmed the need for territorial zoning of temperature on load-bearing structures.

thermal actions, meteorological data, territorial zoning

Formulation of the problem. Changes in outside air temperature can cause significant deformations and internal forces in the load-bearing structures. The current standard DBN B.1.2-2:2006 "Loads and impacts" establish uniform calculation parameters of outside air temperature for the entire territory of Ukraine, which are used to assess the stress-strain state of load-bearing structures. In the previously performed studies of the authors, significant variability of these parameters was revealed and their cartographic zoning across the territory of Ukraine was carried out. In addition, it is proposed to directly regulate outside temperature differences during cold and warm structural welding. There are also known works that indicate the advantages of administrative-territorial zoning of the design parameters of climate loads and impacts, in which the regional characteristic value of the load is established for each administrative region of Ukraine.

Analysis of recent research and publications. The state building regulations of Ukraine [1] establish four parameters of temperature, namely, the structural welding temperature in the warm and cold period of the year, as well as the temperature of the coldest and warmest day. Through them, the characteristic and design values of temperature drops are calculated, which are taken into account in the calculations of load-bearing structures. A similar approach is also implemented in the Eurocode [2]. The disadvantage of this approach is the need to standardize four calculation parameters, as well as their immutability for the entire territory of Ukraine in the standards [1].

Significant variability of design parameters of outside air temperature on the territory of Ukraine was revealed and maps of their territorial zoning were developed in works [3, 4]. Also, a simplified method of normalizing the influence of temperature by directly establishing temperature differences during winter and summer structural welding is proposed, and a corresponding map of the zoning of Ukraine is developed.

The methods of displaying the territorial variability of the estimated parameters of climate loads and impacts were developed and implemented in works [5...9]. The article [5] analyzes various methods of territorial zoning. Article [6] is devoted to the development of

methods of territorial zoning of climate parameters based on the use of multidimensional statistics methods. In work [7], cartographic and administrative-territorial zoning of the characteristic values of snow load, maximum wind pressure, weight of ice and wind pressure during icing was carried out. In the works [7...9], the method of administrative-territorial zoning of the design parameters of climate loads and impacts is justified and tested. In particular, the method of determining regional values of design parameters is proposed in article [8], and regional values of design parameters of outside air temperature for thermal calculations of exterior walls are established in work [9]. In general, studies [7...9] have shown that replacing several zoning maps with a single table of regional characteristic values simplifies the use of standards and ensures error-free determination of loads based on the belonging of the construction site to a certain administrative region.

The purpose of this work is to analyze the variability of the characteristic values of atmospheric temperature drops during the summer and winter structural welding and perform their administrative-territorial zoning based on the data of previously performed research.

Presentation of the main material. The initial data for the analysis were taken from works [3, 4]. The database includes 50 seaside (at a distance of up to 10 km from the coast of the Black and Azov seas), 28 mountain (at heights of more than 500 m above sea level), and 330 plain observation points of Ukraine. The characteristic values of outside air temperature changes during summer and winter structural welding for each of the observation points and recorded in a Microsoft Excel worksheet.

Specifics of the temperature regime of the coastal areas of Ukraine were studied in [10]. It has been established that coastal areas in a strip about 10 km wide are characterized by 3...5°C higher winter temperatures than in adjacent areas. Summer temperatures vary in a range of 1...2°C.

A comparison of the characteristic values of temperature differences was made for 50 coastal and 83 continental observation points in the territories of Odesa, Mykolaiv, Zaporizhzhya, and Donetsk regions, as well as the Autonomous Republic of Crimea. It was established that when the structures are closed in the warm period of the year, temperature drops Δ_{tc} on the coast can be 0.6...1.4°C lower in absolute value, and when closed in the cold period of the year, the temperature drops Δ_{tw} by 0.2...0.6 °C are lower than in the adjacent flat areas. Such differences lead to a change in stresses in rigidly fixed steel rods by only 3.4 MPa, or by 1.4% of the design resistance of low-carbon steel. Such a small difference allows to combine coastal and other flat observation points into one sample within each region.

It is common knowledge that air temperature decreases by approximately 6°C with each kilometer of altitude above sea level. In work [10], based on data from the Crimea and the Carpathians, it is shown that the minimum winter and maximum summer design values of air temperature decrease by 4...7°C per kilometer of height above sea level in mountainous areas.

The influence of height above sea level on design parameters of outside air temperature was analyzed by comparing the data of 26 mountain and 89 plain observation points from five regions of Ukraine: Zakarpattia, Lviv, Ivano-Frankivsk, Chernivtsi, as well as the Autonomous Republic of Crimea. The analysis showed that with the increase in geographic altitude, the average temperatures of the warm and cold half-year, the coldest and warmest days decrease with height and for mountain observation points can be 1.4...5.5°C lower than in the adjacent flat areas. As a result of the synchronous drop of these temperatures, the characteristic values of the temperature drop when closing in the warm Δ_{tc} and in the cold Δ_{tw} period of the year differ from the temperatures in the flat area by no more than 1.4°C. This makes it possible to carry out territorial zoning of temperature differences taking into account the data of all 408 observation points, including plain, coastal and mountain ones, as well as not to introduce corrections to the geographical height when

determining thermal actions. The revealed effect is an additional advantage of direct normalization of temperature differences during summer and winter structural welding.

As in a similar study [4], the regional characteristic values of negative Δ_{tc} (with summer structural welding) and positive Δ_{tw} (with winter structural welding) outside air temperature differences are determined by the formulae:

$$\Delta_{0c} = M_{tc} - t_p \cdot S_{tc}, \quad \Delta_{0w} = M_{tw} + t_p \cdot S_{tw}, \quad (1)$$

where t_p – argument of the normal distribution function, which corresponds to the given confidence level P of the regional characteristic value of the temperature drop;

M_{tc} and M_{tw} – average values of air temperature differences within each region during summer and winter structural welding;

S_{tc} and S_{tw} – standard deviations of regional samples of outside air temperature differences during summer and winter structural welding.

The results of calculations according to formulae (1) showed that for confidence levels from 0.8 to 0.95, the regional characteristic values of temperature differences differ by no more than 1°C. This is due to the slight variability of temperature differences within each region of Ukraine. Taking into account the reliability of territorial zoning maps in DBN [1] revealed in [11], table 1 shows the regional characteristic values of temperature differences for the confidence level $P = 0.9$. This means that for approximately 90% of the territory, the values of Δ_{0w} and Δ_{0c} given in Table 1 provide a margin of reliability compared to the actual data. In addition to the regional characteristic values, table 1 shows the number of observation points in the region and the average values and standard deviations of the regional samples of the characteristic values of temperature changes indicated above.

From the last lines of Table 1, it can be seen that within the territory of Ukraine, the regional characteristic values of air temperature differences during summer structural welding are measured within $\Delta_{0c} = -39...-47^\circ\text{C}$, and during winter structural welding – within $\Delta_{0w} = 30...34^\circ\text{C}$. A simple calculation shows that changes in temperature differences of 8°C and 4°C result in stress changes in a rigid steel structure of 20 MPa and 10 MPa, respectively. This is 10...20% of the design resistance of low-carbon steel.

In the current DBN [1], the values of the structural welding temperatures, as well as the temperatures of the warmest and coldest days, are established for the entire territory of Ukraine. Taking these values into account gives the following temperature differences:

- temperature changes in the cold period of the year (with structural welding in the summer): $\Delta_{tc} = t_{ec} - t_{0w} = -20 - 15 = -35^\circ\text{C}$;
- temperature changes in the warm period of the year (with structural welding in the winter): $\Delta_{tw} = t_{ew} - t_{0c} = 28 - 0 = 28^\circ\text{C}$.

A comparison with the real changes of the regional characteristic values of outside air temperature differences given in Table 1 shows that the DBN [1] underestimate possible temperature differences by 2...12°C. The performed analysis confirms the need for territorial zoning of climate and thermal actions on load-bearing structures.

The correlation between the regional characteristic values of temperature differences and their actual distributions for individual observation points is shown in the histograms from Figure 1. Light rectangles highlight the intervals with the values of temperature differences that go beyond the change in the regional values from Table 1. From the histograms, it can be seen that regional characteristic values set in the table 1 underestimate negative temperature drops for one observation point, and positive drops - for five observation points. Negative temperature drops at 77 observation points exceed the lower limit of regional values, and positive temperature drops at 69 observation points, which creates significant reserves of territorial zoning.

Table 1 – Statistical characteristics and regional characteristic values of outside air temperature differences during summer and winter structural welding

Regions of Ukraine	N	During structural welding in the summer			During structural welding in the winter		
		M _{tc}	S _{tc}	Δ _{0c}	M _{tw}	S _{tw}	Δ _{0w}
Vinnysia Oblast	16	-41,2	0,96	-42	30,9	0,55	32
Volyn Oblast	6	-38,3	0,24	-39	29,3	0,15	30
Dnipropetrovsk Oblast	13	-42,5	1,00	-44	32,1	0,55	33
Donetsk Oblast	17	-44,1	0,96	-45	33,0	0,50	34
Zhytomyr Oblast	11	-40,9	0,98	-42	30,8	0,62	32
Zakarpattia Oblast	20	-38,7	0,97	-40	28,9	0,50	30
Zaporizhzhia Oblast	12	-41,9	0,95	-43	32,1	0,48	33
Ivano-Frankivsk Oblast	26	-39,1	1,05	-40	29,4	0,47	30
Kyiv Oblast	16	-41,6	1,11	-43	31,2	0,55	32
Kirovohrad Oblast	13	-42,4	0,99	-44	31,8	0,57	33
Autonomous Republic of Crimea	59	-35,7	2,33	-39	28,7	1,27	30
Luhansk Oblast	10	-45,6	0,96	-47	33,7	0,56	34
Lviv Oblast	34	-38,2	0,74	-39	29,1	0,44	30
Mykolaiv Oblast	10	-40,5	1,14	-42	31,0	0,60	32
Odesa Oblast	22	-39,7	1,38	-42	30,4	0,75	31
Poltava Oblast	13	-43,6	0,66	-44	32,4	0,42	33
Rivne Oblast	4	-39,2	0,47	-40	29,7	0,31	30
Sumy Oblast	14	-44,0	1,24	-46	32,7	0,70	34
Ternopil Oblast	7	-39,7	0,93	-41	29,9	0,54	31
Kharkiv Oblast	17	-44,8	0,78	-46	33,2	0,46	34
Kherson Oblast	19	-40,5	0,84	-42	31,2	0,50	32
Khmelnyskyi Oblast	9	-40,4	0,74	-41	30,4	0,41	31
Cherkasy Oblast	20	-42,3	0,89	-43	31,6	0,57	32
Chernivtsi Oblast	4	-38,5	1,46	-40	29,4	0,59	30
Chernihiv Oblast	16	-43,3	0,81	-44	32,2	0,51	33
Min	4	-45,6	0,24	-47	28,7	0,15	30
Max	59	-35,7	2,33	-39	33,7	1,27	34

Source: developed by the authors

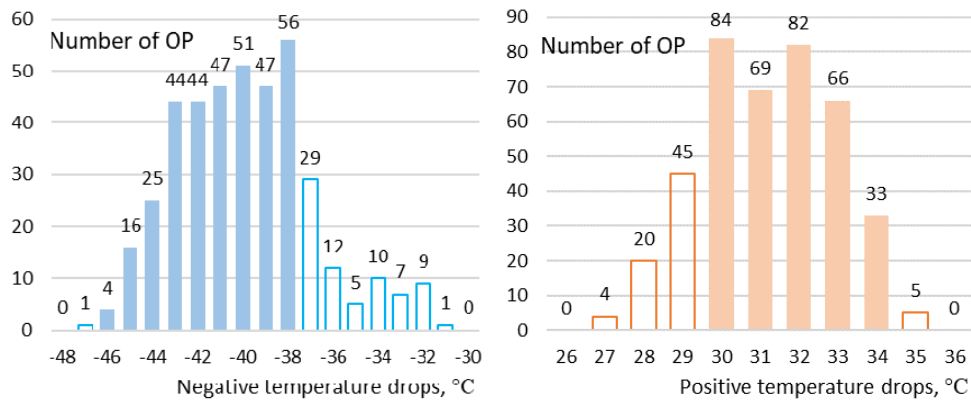


Figure 1 – Histograms of air temperature drops distribution

Source: developed by the authors

Changes in the regional characteristic values of atmospheric temperature drops across the territory of Ukraine are shown on the schematic maps from Figures 2 and 3. On these maps, according to the data in Table 1, for each region, the regional characteristic values of temperature drops during summer and winter structural welding for the confidence level of 0,9. The growth of differences is also shown in a darker color on both maps.

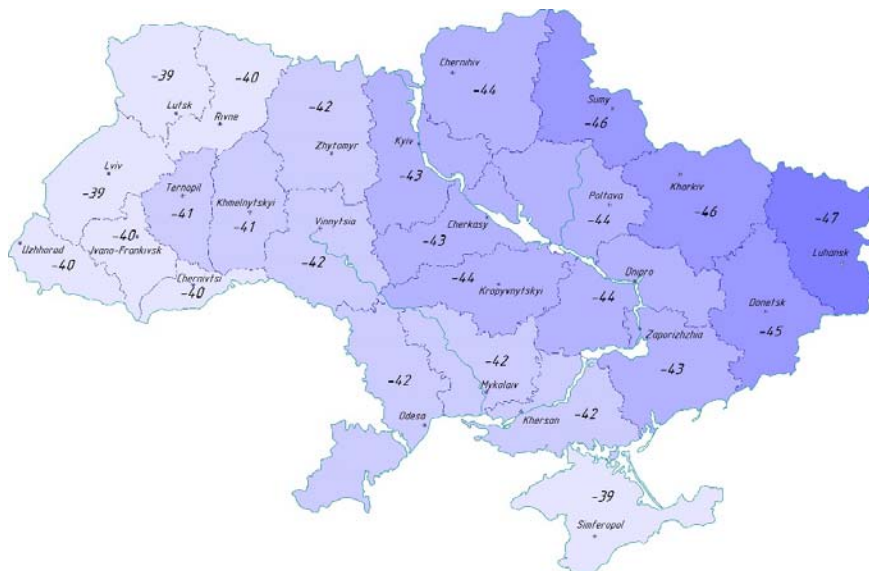


Figure 2 – Territorial variability of regional characteristic values of negative temperature drops during summer structural welding

Source: developed by the authors



Figure 3 – Territorial variability of regional characteristic values of positive temperature drops during winter structural welding

Source: developed by the authors

It can be seen from the maps that both positive and negative temperature differences increase quite systematically in absolute value in the direction from the southwest to the northeast of Ukraine, that is, to the regions with a continental climate. The territory of Crimea is characterized by slightly smaller differences, the sea environment of which significantly softens the climate.

The results of the performed territorial zoning of air temperature differences during the summer and winter structural welding determine the following changes to the scheme for determining the temperature and climate effects on the load-bearing structures adopted in the norms [1]. In particular, the maximum design values of temperature differences averaged over the cross-section of the structural element should be determined in the following order:

1. The characteristic value of the positive temperature drop in the warm period of the year during the winter structural welding is determined by the formula

$$\Delta_{tw} = \Delta_{0w} + \Theta_1 + \Theta_4, \quad (2)$$

where Δ_{0w} – the characteristic value of the positive temperature drop from Table 1;

Θ_1 – the increase in the temperature difference of the structure from the daily fluctuations of the outside air temperature according to table 11.2 DBN [1];

Θ_4 – increase in the temperature difference of the structure due to solar radiation according to clause 11.6 DBN [1].

2. The characteristic value of the negative temperature drops in the cold period of the year when the structures are closed in the summer is determined by the formula

$$\Delta_c = \Delta_{0c} - 0,5 \cdot \Theta_1, \quad (3)$$

where Δ_{0c} – the characteristic value of the negative temperature drops from Table 1.

3. The design limit values of temperature drop during winter and summer structural welding are determined by multiplying the characteristic values (2) and (3) by the reliability coefficient, which depends on the estimated service life of the structure T:

$$\gamma_{fm} = 0,839 + 0,095 \cdot \lg(T). \quad (4)$$

Formula (4) is borrowed from work [4] and for ease of use can be presented in the form of a table:

T=	10	20	30	40	50	60	80	100	120	150	200
γ_{fm} =	0,93	0,96	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06

The presented procedure for normalization and determination of outside air temperature effects on load-bearing structures is simpler and more accurate compared to the current DBN methodology [1] and with the proposal [3, 4] regarding cartographic zoning due to the following factors:

- fewer design parameters;
- replacement of zoning maps with one table;
- independence of temperature changes from altitude above sea level, which excludes the need to take into account the factor of geographical altitude;
- absence of errors due to inaccurate determination of the location of the construction object near the borders of the territorial districts on the maps [1];
- guaranteed simplicity and accuracy of determining temperature differences depending on whether the construction site belongs to a certain administrative region.

The listed advantages make it possible to recommend the described method of normalization of outside air temperature effects for implementation in load standards and for use in calculations of load-bearing structures.

Conclusions:

1. The method of administrative-territorial zoning was used to standardize the characteristic values of outside air temperature differences, the essence of which is to establish a value that will be used throughout the region for each administrative region. Based

on the recommendations of the literature, the procedure for determining the regional characteristic values of outside air temperature differences during summer and winter structural welding has been specified.

2. According to the refined methodology, the regional characteristic values of temperature differences during summer and winter structural welding were determined for all regions of Ukraine at three levels of confidence $P = 0,8, 0,9$ і $0,95$.

3. A change in the confidence level within the range of $0,8...0,95$ has little effect on the regional characteristic values of outside air temperature differences, therefore, it is recommended to use characteristic values with a level of confidence which is equal to $0,9$ for construction calculations.

4. The regional characteristic values of outside air temperature differences on the territory of Ukraine during summer structural welding are measured within $-39^{\circ}\text{C}...-47^{\circ}\text{C}$, and during winter structural welding – within $30^{\circ}\text{C}...34^{\circ}\text{C}$.

5. Both positive temperature changes during winter structural welding and negative temperature differences during summer structural welding systematically increase in absolute value in the direction from the southwest to the northeast of Ukraine, i.e., to regions with a pronounced continental climate. The territory of Crimea is characterized by somewhat smaller differences, the sea environment of which significantly softens the climate.

6. Taking into account the results of the study, amendments were developed to the standard DBN V.1.2-2:2006 "Loads and impacts" in the procedure for determining temperature and climate effects on load-bearing structures.

7. The proposed method of normalization provides simplicity and error-free determination of outside air temperature effects on load-bearing structures due to a smaller number of design parameters, independence of temperature differences from height above sea level, replacement of zoning maps with one table, as well as accurate determination of temperature differences according to the belonging of the construction site to certain administrative region.

List of references

1. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2007. 60 с.
2. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-5:2012 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-5. Загальні дії. Теплові дії (EN 1991-1-5:2003, IDT)
3. Пашинський В.А., Пушкар Н.В., Пашинський В.В. Спрощена методика нормування температурних впливів на несучі будівельні конструкції для території України. *Комунальне господарство міст. Серія : Технічні науки та архітектури*. 2015. Вип. 121. С. 45-50.
4. Пашинський В.В. Температурні кліматичні впливи на несучі конструкції будівель і споруд: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01. ОДАБА, Одеса, 2015. 235 с.
5. Пашинський В.А., Пашинський М.В., Пашинський В.В. Способи територіального районування кліматичних навантажень. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. Вип. № 64. С. 103-109.
6. Fatemeh Shahriar, Majid Montazeri, Mehdi Momeni, Alireza Freidooni. Regionalization of the climatic areas of Qazvin Province using multivariate statistical methods. 2015. Vol. 9, No 2, Available at: <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/mas/article/view/44144>
7. Пашинський В.А., Філімоніхін Г.Б., Пашинський М.В. Районування характеристикних значень кліматичних навантажень на території України. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського*. 2018. Вип. 19. С. 88-100.
8. Пашинський В.А. Методика адміністративно-територіального районування кліматичних навантажень на будівельні конструкції. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2016. Випуск 32. С. 387–393.

9. Pashynskiy V., Pashynskiy M., Pushkar N., Skrynnik I. Method of administrative-territorial zoning of the design parameters of air temperature. *Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS*. 2019. No 19. pp. 50-57, <https://doi.org/10.13167/2019.19.5>
10. Пашинський В.А., Карюк А.М. Особливості температурного режиму приморських територій України. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2013. Вип. № 49, ч. 1. С. 270-274.
11. Пашинський М. В. Запаси територіального районування кліматичних навантажень в ДБН В.1.2-2:2006. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2017. Вип. 8. С. 202–209.

References

1. DBN V.1.2-2:2006. Systema zabezpechennia nadijnosti ta bezpeky budivel'nykh ob'ektiv. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia [System for ensuring the reliability and safety of construction objects. Loads and influences. Design standards]. *DBN V.1.2-2:2006*. K.: Ministry of Construction of Ukraine [in Ukrainian].
2. Yevrokod 1. Dii na konstruksii. Chastyna 1-5. Zahal'ni dii. Teplovi dii [Eurocode 1. Actions on structures. Part 1-5. General actions. Thermal effects]. *DSTU-NB EN 1991-1-5:2012* (EN 1991-1-5:2003, IDT) [in Ukrainian].
3. Pashyns'kyj, V.A., Pushkar, N.V. & Pashyns'kyj, V.V. (2015). Sproschena metodyka normuvannia temperaturnykh vplyviv na nesuchi budivel'ni konstruksii dlia terytorii Ukrainy [A simplified method of normalizing temperature effects on load-bearing building structures for the territory of Ukraine]. *Komunal'ne hospodarstvo mist. Seriya : Tekhnichni nauky ta arkhitektury - Communal management of cities. Series: Technical sciences and architecture, 121*, 45-50 [in Ukrainian].
4. Pashyns'kyj, V.V. (2015). Temperature and climatic influences on the load-bearing structures of buildings and structures [Temperaturni klimatichni vplyvy na nesuchi konstruksii budivel' i sporud]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Odesa [in Ukrainian].
5. Pashyns'kyj, V.A., Pashyns'kyj, M.V. & Pashyns'kyj, V.V. Sposoby terytorial'noho rajonuvannia klimatychnykh navantazhen' [Methods of territorial zoning of climatic loads]. *Visnyk Odes'koi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury - Bulletin of the Odessa State Academy of Construction and Architecture, 64*, 103-109. [in Ukrainian].
6. Fatemeh Shahriar, Majid Montazeri, Mehdi Momeni & Alireza Freidooni. (2015). Regionalization of the climatic areas of Qazvin Province using multivariate statistical methods. Vol. 9, No 2. Available at: <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/mas/article/view/44144>
7. Pashyns'kyj, V.A., Filimonikhin, H.B. & Pashyns'kyj, M.V. (2018). Rajonuvannia kharakterystychnykh znachen' klimatychnykh navantazhen' na terytorii Ukrainy [Zoning of characteristic values of climatic loads on the territory of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats' Ukrain'skoho instytutu stalevykh konstruksij imeni V. M. Shymanov'skoho - Collection of scientific works of the Ukrainian Institute of Steel Structures named after V. M. Shymanovskiy, 19*, 88-100 [in Ukrainian].
8. Pashyns'kyj, V.A. (2016). Metodyka administratyvno-terytorial'noho rajonuvannia klimatychnykh navantazhen' na budivel'ni konstruksii [Methodology of administrative-territorial zoning of climatic loads on building structures]. *Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy -Resource-economic materials, structures, buildings and structures: Collection of scientific works, 32*, 387-393 [in Ukrainian].
9. Pashynskiy V., Pashynskiy M., Pushkar N. & Skrynnik I. (2019). Method of administrative-territorial zoning of the design parameters of air temperature. *Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS, 19*, 50-57, <https://doi.org/10.13167/2019.19.5>
10. Pashyns'kyj, V.A. & Kariuk, A.M. (2013). Osoblyvosti temperaturnoho rezhymu prymors'kykh terytorij Ukrainy [Peculiarities of the temperature regime of the seaside territories of Ukraine]. *Visnyk Odes'koi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury - Bulletin of the Odessa State Academy of Construction and Architecture, 49, 1*, 270-274 [in Ukrainian].
11. Pashyns'kyj, M. V. (2017). Zapasy terytorial'noho rajonuvannia klimatychnykh navantazhen' v DBN V.1.2-2:2006 [Reserves of territorial zoning of climatic loads in DBN B.1.2-2:2006]. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi - Modern technologies and calculation methods in construction. Collection of scientific works, 8*, 202–209 [in Ukrainian].

В.А. Пашинський, проф., д-р техн. наук, **М.В. Пашинський**, канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

В.В. Пашинський, канд. техн. наук

Районування температурних кліматичних впливів на несучі будівельні конструкції для території України

Мета роботи полягає в аналізі та адміністративно-територіальному районуванні перепадів кліматичної температури, як силового впливу на будівельні конструкції. Для території кожної з адміністративних областей України встановлені характеристичні значення перепадів температури при літньому та при зимовому замиканні конструкцій.

Сформована в середовищі Microsoft Excel база даних включає 50 приморських, 28 гірських (на висотах понад 500 м над рівнем моря), та 330 рівнинних пунктів спостереження України. Для кожного пункту спостереження наявні температури холодного й теплого півріччя, найхолоднішої та найтеплішої доби, перепади температури при літньому та зимовому замиканні конструкцій, запозичені з раніше виконаних досліджень. Встановлено, що параметри температури повітря на приморських пунктах спостереження мало відрізняються від даних для суміжних рівнинних територій. На гірських пунктах спостереження температури холодного й теплого півріччя, найхолоднішої та найтеплішої доби є істотно нижчими, ніж на суміжних рівнинних територіях, але перепади температур при літньому та при зимовому замиканні конструкцій практично не залежать від висоти над рівнем моря.

Обласні характеристичні значення перепадів температури повітря при літньому замиканні конструкцій змінюються в межах $-39^{\circ}\text{C} \dots -47^{\circ}\text{C}$, а при зимовому замиканні – в межах $+30^{\circ}\text{C} \dots +34^{\circ}\text{C}$. Загалом додатні та від'ємні перепади температури зростають за абсолютною величиною в напрямку з південного заходу на північний схід України.

Розроблені зміни до наведеного в ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» порядку визначення температурних кліматичних впливів на несучі будівельні конструкції забезпечують простоту визначення характеристичних значень перепадів температури за рахунок меншої кількості розрахункових параметрів, незалежності перепадів температури від висоти над рівнем моря, заміни карт районування однією таблицею, а також безпомилкове визначення перепадів температури за належністю будівельного майданчика до певної адміністративної області.

температурні впливи, метеорологічні дані, територіальне районування

Одержано (Received) 22.03.2024

Прорецензовано (Reviewed) 30.04.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 624.042

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.49-59](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.49-59)

В.М. Гордєєв, проф., д-р техн. наук, **О.І. Кордун**, інженер

ТОВ "Український інститут сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського",

м. Київ, Україна

e-mail: kordunoleksandr@gmail.com

В.А. Пашинський, проф., д-р техн. наук, **М.В. Пашинський**, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: pva.kntu@gmail.com

Аналіз тенденцій довготривалих змін кліматичних навантажень

За результатами метеорологічних спостережень протягом 1950...2020 років проаналізовані зміни в часі характеристичних значень вітрового тиску та ваги снігового покриву. Попри значні відмінності для різних метеостанцій та різних періодів спостереження, спостерігається загальна тенденція до зменшення навантажень протягом останніх 70 років. Враховуючи несистематичний характер та порівняно невелику інтенсивність виявлених змін, рекомендовано для нормування навантажень об'єднувати дані, отримані в усі періоди спостережень.

кліматичні навантаження, характеристичні значення, зміни в часі

© В.М. Гордєєв, О.І. Кордун, В.А. Пашинський, М.В. Пашинський, 2024

Постановка проблеми. В основу територіального районування України за кліматичними навантаженнями при розробленні ДБН "Навантаження і впливи" були покладені результати метеорологічних спостережень, які виконувалися у другій

половині 20-го століття. Результати більш пізніх спостережень дозволяють не лише збільшити обсяги метеорологічних даних та уточнити характеристичні значення кліматичних навантажень, але й проаналізувати їх зміни в часі, що можуть бути викликані глобальним потеплінням клімату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з вітчизняними та європейськими нормами [1, 2], характеристичними вважаються значення навантажень і впливів, які можуть перевищуватися в середньому один раз на 50 років. Методи обчислення цих значень за імовірнісними моделями квазістаціонарного випадкового процесу та послідовності максимальних значень навантаження детально викладені в [3]. Аналіз, виконаний в [4, 5], підтвердив близькість результатів, отриманих на основі цих моделей навантажень. Це дозволяє обирати імовірнісну модель навантаження з урахуванням структури та обсягу доступних метеорологічних даних.

Довгострокові зміни температури й вологості атмосферного повітря були проаналізовані в [6] на прикладі даних метеостанцій Кіровоградської області. Зростання температури атмосферного повітря в середньому на $0,02^{\circ}\text{C}/\text{рік}$ загалом узгоджується з відомою тенденцією глобального потепління. Окрім того, виявлене зменшення розмаху відносної вологості повітря при практично незмінному середньорічному значенні. У цій же роботі запропоновано прогнозувати майбутні зміни температури повітря за виявленими рівняннями часового тренду та враховувати їх при нормуванні температурних впливів.

Вплив глобального потепління на інші кліматичні й гідрографічні показники, водні ресурси, екологічну обстановку, здоров'я населення, сільське господарство, енергетику, промисловість та інфраструктуру досить детально проаналізовано в роботах [7, 8], але результати цих досліджень не можуть бути використані при нормуванні кліматичних навантажень.

У 2023 році виповнилося тридцять років з того дня, коли було представлено першу доповідь Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) стосовно стану клімату та занепокоєння щодо прогнозованих кліматичних змін. 2019, 2020, та 2021 роки було послідовно названо такими, що входять до п'яти, шести та семи найспекотніших років спостережень відповідно. 2023 рік став найспекотнішим роком за всю історію метеорологічних спостережень, що свідчить про подальшу глобальну зміну клімату. Для Європи 2023 рік виявився другим, поступаючись на $0,17^{\circ}\text{C}$ середній температурі 2020-го року, який був найтеплішим для Європи [9].

Згідно з попереднім звітом ВМО за 2021 рік [10] середня глобальна температура у 2021 році була приблизно на $1,11 (\pm 0,13)^{\circ}\text{C}$ вищою за доіндустріальний рівень (1850–1900 рр.). Відповідно до звіту Міжурядової групи експертів зі змін клімату (IPCC) [11], середня температура в світі протягом найближчих 20 років зросте більш ніж на $1,5$ градуса. В цей час в Україні середня річна температура з початку ХХ століття зросла більш ніж на 2°C , в тому числі, на $1,2^{\circ}\text{C}$ – за останні 30 років [7].

За даними спостережень, середня річна швидкість вітру в Україні зменшилася [12]. Проте для забезпечення надійності будівель і споруд будівельникам важливо знати максимальні швидкості вітрів, які спостерігалися на території будівництва.

Більш конкретні та практично корисні для будівельної галузі результати викладені в роботах [13, 14]. Зокрема, в статті [13] за даними 1945–2015 рр. для 34 метеорологічних станцій України показано, що протягом 70 років середньорічні швидкості вітру на території України зменшилися на 24%, а максимальні – на 34%.

Автор статті [14] на підставі аналізу опублікованих досліджень стверджує, що за останні 40 років на південному заході та північному сході США, а також у Центральній та Східній Європі спостерігається зменшення снігового покриву на 10...20% за десятиліття. Разом з тим, спостерігається збільшення снігового покриву в гірських регіонах Аляски, Канади та Центральної Азії.

Дослідження [7...14] вказують на загальні тенденції змін кліматичних показників, але конкретні дані, які можна використати при нормуванні навантажень на будівлі та споруди на території України, в доступних джерелах не виявлені.

Постановка завдання. За даними, отриманими у різні періоди метеорологічних спостережень, проаналізувати зміни в часі статистичних характеристик і характеристик значень навантажень від снігу та вітру, встановити необхідність та способи урахування цих змін при розробленні норм навантажень на будівлі та споруди.

Виклад основного матеріалу.

Вітрове навантаження досліджується й нормується за результатами строкових вимірювань швидкості вітру. Починаючи з 60-тих років ХХ століття, виконуються восьмистрокові вимірювання анеморумбометрами за методикою [15], які забезпечують автоматичне осереднення швидкості та напрямку вітру протягом 10 хвилин. Узагальнені результати таких вимірювань публікувалися в метеорологічних щомісячниках та інших спеціалізованих виданнях.

В роботах [3, 4, 5] показано, що для імовірнісного опису швидкості й тиску вітру слід використовувати одну з двох імовірнісних моделей: квазістаціонарний випадковий процес з розподілом ординати за законом Вейбулла та послідовність річних чи місячних максимумів з розподілом Гумбеля. В [4] встановлено, що розрахункові та характеристичні значення швидкості й тиску вітру досить точно визначаються за сумарними річними розподілами без урахування сезонної нестационарності.

Найбільш інформативними серед доступних даних є таблиці повторюваності швидкості вітру різних градацій для кожного з місяців року та за рік в цілому. Ці дані дозволяють обчислити статистичні характеристики та параметри розподілу Вейбулла для швидкості вітру чи вітрового тиску. Специфіка наявної метеорологічної інформації обумовила використання в подальшому дослідженні імовірнісної моделі випадкового процесу з розподілом ординати, отриманим за сумарними річними гістограмами розподілу швидкості вітру та ефективною частотою $\omega = 5,5$ 1/добу за даними [3, 4].

Для аналізу змін в часі характеристик використані результати метеорологічних спостережень за вітром, отримані на протязі трьох періодів:

- дані з кліматичного кадастру [16] за 1961–1990 роки для 100 метеостанцій;
- дані з метеорологічних щомісячників за 1970–1990 роки для 194 метеостанцій, які були використані при розробленні ДБН [1];
- дані вибіркової мережі метеостанцій за період спостереження з 1991 по 2020 роки.

Для кожної з метеостанцій до бази даних занесені сумарні річні повторюваності швидкості вітру за градаціями, тобто гістограми розподілу швидкості вітру. За ними для кожної з метеостанцій обчислені статистичні характеристики швидкості вітру (середнє значення, стандарт і коефіцієнт варіації), та характеристичні значення швидкості вітру v_0 , як корені нелінійного рівняння, наведеного в [3, 4]:

$$0,4 \omega S \alpha \beta v_0^{\alpha-1} \exp(-\beta v_0^\alpha) - 1/T = 0, \quad (1)$$

де α, β – параметри розподілу Вейбулла, визначені за формулами з [3];

S – стандарт сумарного річного розподілу швидкості вітру;

$\omega = 5,5$ 1/добу = 2008 1/рік – ефективна частота випадкового процесу швидкості вітру;

$T = 50$ років – період повторюваності характеристичного значення швидкості вітру.

Отримані за формулою (1) характеристичні значення швидкості вітру v_0 перетворені в характеристичні значення вітрового тиску за формулою

$$W_0 = 0,61 \times v_0^2. \quad (2)$$

Створена таким чином база узагальнених даних містить 13 метеостанцій, дані яких наявні для усіх трьох вказаних вище періодів спостереження. Ці дані наведені в таблиці 1 і використані нижче для аналізу змін у часі статистичних характеристик швидкості вітру та характеристичних значень вітрового тиску. Наведені в таблиці значення висоти над рівнем моря H дозволяють вважати всі метеостанції рівнинними.

Таблиця 1 – Характеристики швидкості та тиску вітру за даними трьох періодів метеорологічних спостережень

Метеостанції	H, м	1961-1990 роки			1970-1990 роки			1991-2020 роки			Річні прирости		
		M_1	S_1	W_{01}	M_2	S_2	W_{02}	M_3	S_3	W_{03}	Δ_M	Δ_S	Δ_W
Вінниця	296	3,66	2,59	488	3,40	2,52	457	3,88	2,11	350	0,01	-0,02	-4,50
Дніпро	141	4,79	2,89	642	4,68	2,74	581	4,33	2,38	450	-0,01	-0,02	-6,02
Запоріжжя	59	3,05	2,29	378	2,63	1,95	276	1,61	1,11	90	-0,05	-0,04	-8,88
Івано-Франк.	270	3,32	2,56	472	3,14	2,45	430	2,87	2,16	336	-0,01	-0,01	-4,28
Київ	166	2,77	1,80	243	2,47	1,72	219	2,58	1,38	153	0,00	-0,01	-2,90
Львів	319	3,95	2,42	459	3,78	2,30	414	3,08	2,08	329	-0,03	-0,01	-4,03
Маріуполь	68	5,82	4,35	1369	5,52	4,10	1218	4,82	2,75	593	-0,03	-0,05	-25,6
Одеса	42	4,05	2,32	380	3,64	2,21	339	2,95	1,89	242	-0,03	-0,01	-4,35
Полтава	160	3,99	3,07	676	3,52	2,87	583	2,93	1,88	266	-0,03	-0,04	-13,4
Суми	294	4,13	2,48	447	3,90	2,37	407	3,76	2,06	318	-0,01	-0,01	-4,05
Ужгород	115	2,86	2,01	238	2,58	1,85	202	2,44	1,73	177	-0,01	-0,01	-1,71
Харків	154	4,28	2,53	496	4,06	2,36	432	3,88	2,11	353	-0,01	-0,01	-4,25
Херсон	26	3,86	2,46	456	3,28	2,00	296	2,97	1,95	275	-0,02	-0,01	-4,35
Мінімум	26	2,77	1,80	238	2,47	1,72	202	1,61	1,11	90	-0,05	-0,05	-25,6
Максимум	319	5,82	4,35	1369	5,52	4,10	1218	4,82	2,75	593	0,01	-0,01	-1,71
Середнє	162	3,89	2,60	519	3,58	2,42	450	3,24	1,97	303	-0,02	-0,02	-6,79

Джерело: розроблено авторами

Зведена таблиця 1 дозволяє проаналізувати зміни в часі середніх значень M і стандартів S швидкості вітру, а також характеристичних значень вітрового тиску W_0 . Перегляд показує, що практично в усіх випадках параметри, наведені в таблиці, зменшуються з часом. Виняток становлять середні значення швидкості вітру на метеостанціях Вінниці та Києва. У якості прикладу на рисунку 1 показані зміни в часі характеристичних значень вітрового тиску на окремих метеостанціях. По осі абсцис відкладені значення, що відповідають середині періоду спостережень, тобто 1975, 1980 і 2005 календарні роки.

Залежності усіх проаналізованих параметрів від календарного часу для кожної метеостанції описані лінійними рівняннями, яке для характеристичних значень вітрового тиску має вигляд

$$W_0(t) = A_0 + t \cdot \Delta_W, \quad (3)$$

де t – календарний час в роках;

Δ_W – інтенсивність зміни (річний приріст) характеристичних значень вітрового тиску.

Залежності інших параметрів від часу описуються аналогічними рівняннями. Річні прирости статистичних характеристик швидкості вітру наведені в останніх стовпцях таблиці 1, а в трьох останніх рядках цієї таблиці вказані межі зміни та середні значення усіх розглянутих параметрів. Гістограма розподілу річних приростів характеристичних значень вітрового тиску показана на рисунку 2. З рисунка та останнього стовпця таблиці 1 видно, що для переважної більшості метеостанцій ці прирости змінюються в межах $-8,9 \dots -1,7$ Па/рік. Набагато інтенсивніші зміни, які виходять ці межі, спостерігаються на метеостанціях Маріуполь і Полтава. Середній по Україні приріст характеристичних значень вітрового тиску, обчислений без урахування аномальних значень для цих метеостанцій, становить $-4,5$ Па/рік. Це значення можна використати для наближеного прогнозування майбутніх змін у часі характеристичних значень вітрового тиску.

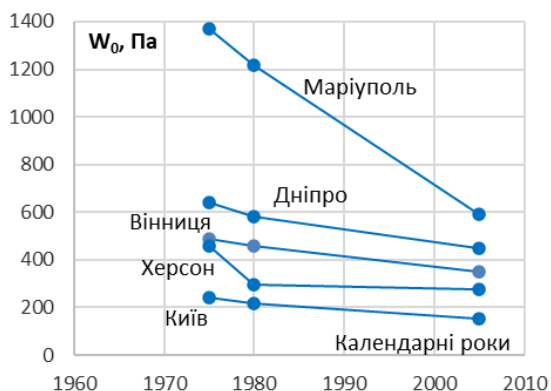


Рисунок 1 – Зміни характеристичних значень вітрового тиску в часі

Джерело: розроблено авторами

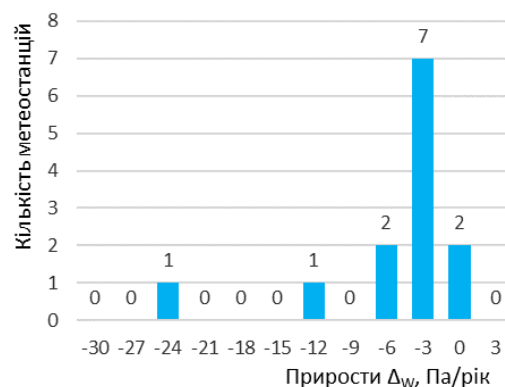


Рисунок 2 – Розподіл приростів характеристичних значень вітрового тиску

Джерело: розроблено авторами

Снігове навантаження досліджується й нормується за результатами снігомірних зйомок, які виконуються згідно з методикою [11]. Як правило, для опису величини ваги снігового покриву використовується імовірнісна модель послідовності річних максимумів, розподілених за законом Гумбеля [3, 5]. Тоді розрахункові та характеристичні значення ваги снігового покриву обчислюються за формулою:

$$Q_m(T) = \alpha - \beta \cdot \ln[-\ln(1 - 1/T)], \quad (4)$$

де T – період повторюваності розрахункового значення (для характеристичного значення ваги снігового покриву $T = 50$ років);

α, β – параметри розподілу Гумбеля, визначені за формулами з [3] через середнє значення, стандарт і обсяг вибірки річних максимумів.

Нижче аналізуються три групи результатів снігомірних зйомок, які для кожного пункту спостереження містять середні значення й стандарти розподілів річних максимумів ваги снігового покриву:

- результати снігомірних зйомок на 220 метеорологічних станціях і постах України протягом 1950...1990 років, отримані з метеорологічних щорічників і використані при розробленні ДБН [1];
- результати снігомірних зйомок на 136 метеостанціях протягом 1961...1990 років, представлені в Кліматичному кадастрі України [16] у вигляді середніх значень і стандартів річних максимумів ваги снігового покриву (запасу води);
- аналогічні попереднім даним результати снігомірних зйомок на 63 метеостанціях протягом 1991...2020 років.

Для кожної метеостанції та кожного періоду спостережень за наявними статистичними характеристиками річних максимумів ваги снігового покриву за формулами з [3] обчислені параметри розподілу Гумбеля та характеристичні значення ваги снігового покриву Q_0 при середньому періоді повторюваності 50 років. Для першої групи даних враховані фактичні обсяги вибірок річних максимумів у межах від 10 до 40. Для двох останніх груп даних обсяги вибірок прийняті рівними 30.

Виявлено 54 метеостанції, дані яких наявні для усіх періодів спостереження. Подальший аналіз цих даних виконано за методикою, аналогічною описаному вище аналізу даних з вітрового тиску. В таблиці 2, як і в останніх рядках таблиці 1, для трьох періодів спостережень наведені узагальнені результати статистичного аналізу даних 54 співпадаючих метеостанцій, а саме найменші, найбільші та середні для 54 метеостанцій значення усіх проаналізованих параметрів: середніх значень M та стандартів S річних максимумів, а також характеристичних значень Q_0 ваги снігового покриву.

Таблиця 2 – Характеристики ваги снігового покриву за даними трьох періодів метеорологічних спостережень

Характеристики	Н, м	1950-1990 роки			1961-1990 роки			1991-2020 роки			Річні прирости		
		M_1	S_1	Q_{01}	M_2	S_2	Q_{02}	M_3	S_3	Q_{03}	Δ_M	Δ_S	Δ_Q
Мінімум	12	198	125	568	170	142	600	110	120	473	-6,40	-6,48	-22,0
Максимум	594	874	547	2358	790	581	2459	850	638	2732	3,51	7,44	25,0
Середнє	179	459	304	1379	454	322	1429	394	283	1250	-1,90	-0,86	-4,48

Джерело: розроблено авторами

На рисунку 3, побудованому за даними таблиці 2, вибірково показані зміни в часі характеристичних значень ваги снігового покриву для шести метеостанцій. Як і при аналізі вітрового тиску, по осі абсцис відкладені значення, що відповідають серединам трьох періодів спостережень, тобто 1970, 1975 і 2005 календарні роки. На рисунку спостерігаються досить несистематичні зміни в часі характеристичних значень ваги снігового покриву. Аналогічний характер мають також зміни середніх значень і стандартів вибірок річних максимумів.

Наведені в останніх стовпцях таблиці 2 коефіцієнти лінійних рівнянь виду (3), які дорівнюють річним приростам характеристичних значень ваги снігового покриву, можуть приймати як додатні, так і від'ємні значення, тобто на різних метеостанціях снігове навантаження зростає або зменшується з часом. Зображена на рисунку 4 гістограма розподілу річних приростів характеристичних значень ваги снігового покриву вказує на досить широкий діапазон їх зміни. Зменшення снігового навантаження спостерігається на 41 метеостанції, а збільшення – на 13 метеостанціях з 54 проаналізованих. Середнє значення річного приросту характеристичних значень ваги снігового покриву $\Delta_Q = -4,5$ Па/рік можна вважати досить близьким до нуля.

Аналіз повних результатів обробки даних усіх 54 метеостанцій показав, що у Закарпатській та Львівській області переважають додатні прирости характеристичних значень ваги снігового покриву, а для Вінницької, Дніпропетровської, Запорізької, Київської, Сумської та Харківської областей характерним є зниження снігового навантаження з часом. Разом з тим, є приклади значного розкиду приростів ваги снігового покриву в межах однієї області. Наприклад, $-10,6$ Па/рік для Ізмаїла та $+17,1$ Па/рік для Роздільної Одеської області; $-12,5$ Па/рік для Глухова та $+14,9$ Па/рік для метеостанції Ромни Сумської області. Такий розкид не дозволяє встановити загальну для території України тенденцію змін ваги снігового покриву в часі.



Рисунок 3 – Зміни характеристичних значень ваги снігового покриву в часі

Джерело: розроблено авторами

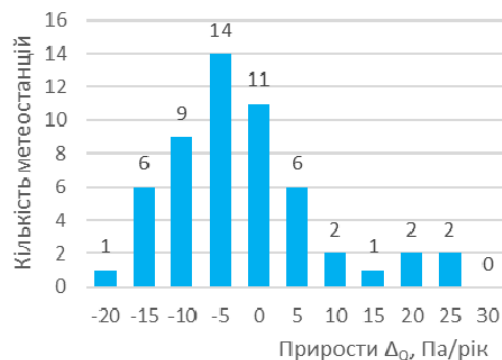


Рисунок 4 – Розподіл приростів характеристичних значень ваги снігового покриву

Джерело: розроблено авторами

Узагальнення характеристичних значень навантажень. Вище показано, що статистичні характеристики й характеристичні значення вітрового тиску та ваги снігового покриву з часом переважно зменшуються та встановлені швидкості таких змін у вигляді річних приростів навантажень. З таблиці 1 видно, що характеристичні значення вітрового тиску зменшуються досить систематично. Дані таблиці 2 показують, що характеристичні значення ваги снігового покриву спочатку зростають від Q_{01} до Q_{02} в середньому на 4%, а від Q_{02} до Q_{03} зменшуються в середньому на 11%. На рисунках 5 і 6 наведені гістограми розподілу різниць між найменшими та найбільшими (в середньому по території) характеристичними значеннями навантажень.

В метеорології [15] прийнято вважати результати 30-річних спостережень кліматичною нормою, тобто досить стабільними показниками клімату. Не дивлячись на це, рисунки 5, 6, а також повні результати розрахунків вказують на значні відмінності статистичних характеристик і характеристичних значень навантажень, визначених для однієї й тієї ж метеостанції за даними різних періодів спостереження. Для більшості метеостанцій різниці характеристичних значень вітрового тиску $W_{03} - W_{01}$ змінюються в межах $-40...-26\%$. Ще більші відхилення, які перевищують 50%, виявлені для метеостанцій Запоріжжя, Маріуполь і Полтава. Різниці характеристичних значень ваги снігового покриву $Q_{03} - Q_{02}$ для 43 метеостанцій змінюються в межах $-46...0\%$, а для 11 метеостанцій навпаки, спостерігається зростання до 82%. Додатні різниці спостерігаються на метеостанціях Закарпатської та Львівської областей, де виявлені додатні річні прирости ваги снігового покриву.



Рисунок 5 – Розподіл різниць характеристичних значень вітрового тиску $W_{03} - W_{01}$

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 6 – Розподіл різниць характеристичних значень ваги снігового покриву $Q_{03} - Q_{02}$

Джерело: розроблено авторами

Детальний аналіз первісних даних та визначених за ними характеристичних значень не дозволив виявити причини істотних змін цих даних у часі для окремих метеостанцій. Наявні відхилення не вдалося пов'язати з географічним положенням метеостанцій чи систематизувати за іншими ознаками. Тому раціональний підхід до узагальнення наявних результатів спостережень полягає в осередненні отриманих характеристичних значень вітрового тиску та ваги снігового покриву з урахуванням тривалості метеорологічних спостережень в різні періоди.

Осереднення наявних даних, які були отримані в різні періоди метеорологічних спостережень, можна виконати двома способами. Найпростіший підхід полягає у визначенні середньозважених характеристичних значень з ваговими множниками, рівними кількості років спостережень. Узагальнене характеристичне значення ваги снігового покриву чи вітрового тиску обчислюється за однією з формул:

$$W_0 = \frac{1}{N_0} \sum_i (W_i N_i) \quad Q_0 = \frac{1}{N_0} \sum_i (Q_i N_i), \quad (5)$$

де N_0 – сумарна кількість років спостереження в усіх періодах;

N_i – кількість років спостереження в i -тому періоді;

W_i, Q_i – характеристичні значення вітрового тиску та ваги снігового покриву, обчислені за даними i -того періоду спостережень.

Більш точний спосіб отримання характеристичних значень, узагальнених за усіма періодами метеорологічних спостережень, базується на визначенні статистичних характеристик об'єднаної вибірки результатів метеорологічних спостережень за відомими формулами

$$N_0 = \sum_i N_i, \quad M_0 = \frac{1}{N_0} \sum_i (M_i N_i), \quad S_0 = \sqrt{\frac{1}{N_0} \sum_i (S_i^2 N_i)}, \quad (6)$$

де N_i та N_0 – кількості років спостереження в i -тому періоді та сумарна ;

M_i та S_i – середні значення та стандарти вибірки річних максимумів ваги снігового покриву чи розподілу результатів строкових вимірювань швидкості вітру.

Наявність числових характеристик об'єднаної вибірки (6) дозволяє визначити характеристичні значення швидкості вітру з формули (1) та перерахувати їх у характеристичні значення вітрового тиску за формулою (2). Характеристичні значення ваги снігового покриву обчислюються за формулою (4) з урахуванням середнього значення й стандарту об'єднаної вибірки річних максимумів (6).

За двома викладеними способами обчислені характеристичні значення вітрового тиску для 13 метеостанцій та ваги снігового покриву для 54 метеостанцій, дані яких аналізувалися вище. Порівняння показало, що осереднені за формулою (5) характеристичні значення вітрового тиску відхиляються від результатів обчислення за формулами (1), (2) з урахуванням статистичних характеристик об'єднаних вибірок (6) на $-0,1 \dots +1,8\%$. Осереднені за формулою (5) характеристичні значення ваги снігового покриву перевищують результати обчислення за формулою (4) з урахуванням числових характеристик об'єднаної вибірки (6) на $0,3 \dots 6,5\%$. Незначна відмінність результатів вказує на доцільність використання більш достовірного способу встановлення характеристичних значень на основі осереднення статистичних характеристик за формулами (6).

Висновки. Аналіз характеристичних значень вітрового тиску й ваги снігового покриву, визначених за даними різних періодів метеорологічних спостережень, вказує на наявність тенденції до зменшення цих навантажень протягом останніх десятиліть.

1. Характеристичні значення вітрового тиску на 11 метеостанціях з 13 досліджених зменшуються в середньому на 4,5 Па/рік; для двох інших метеостанцій інтенсивність зменшення є значно більшою і становить 13,4 Па/рік та 25,6 Па/рік.

2. На 41 метеостанції з 54 спостерігається зменшення характеристичних значень ваги снігового покриву, а на 13 метеостанціях снігове навантаження з часом зростає. Річні прирости характеристичних значень ваги снігового покриву змінюються в межах $-22\dots+25$ Па/рік при середньому зменшенні на 4,5 Па/рік.

4. Значний розкид швидкостей зміни характеристичних значень вітрового тиску та ваги снігового покриву на різних метеостанціях не дозволяє узагальнити цей показник по території України та використати його для прогнозування величин навантажень.

5. За наявності декількох груп даних характеристичні значення вітрового та снігового навантаження доцільно визначати через статистичні характеристики швидкості вітру та ваги снігового покриву, осереднені за даними усіх наявних періодів метеорологічних спостережень, без урахування виявлених змін у часі.

Список літератури

1. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2007. 60 с.
2. European standard. Eurocode. Basis of structural design. CEN, July 2001. 89 p.
3. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України. К.: УкрНДІпроектстальконструкція, 1999. 185 с.
4. Пашинський В.А. Методологія нормування навантажень на будівельні конструкції: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.23.01. Полтава, 1999. 33 с.
5. Пічугін С.Ф. Розрахунок надійності будівельних конструкцій: монографія. Полтава: ТОВ «АСМІ», 2016. 520 с.
6. Pashynskiy, M.; Pashynskiy, V.; Tykhyi, A.; and Karpushyn, S. (2023). Long-term forecasting of thermal and humidity actions on buildings. *Advances in Civil and Architectural Engineering*. Vol. 14, Issue No. 26. pp. 1-9. URL: <https://hrcak.srce.hr/ojs/index.php/aca/article/view/23612/13552>
DOI: <https://doi.org/10.13167/2023.26.1> (дата звернення: 25.06.2024).
7. Іванюта С.П., Коломієць О. О., Малиновська О. А., Якушенко Л. М. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: Аналітична доповідь. К.: НІСД, 2020. 110 с. URL: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-10/dop-climate-final-5_sait.pdf (дата звернення: 25.06.2024).
8. Зміна клімату в Україні та світі: Причини, наслідки та рішення для протидії. *Екодія*. URL: https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwo6GyBhBwEiwAzQTmcyieAdhQxolcX7Nq4-PoVs6PKA8Z3gZos1X0vyellqjXj6Siv4zrLxoCdCQQAvD_BwE (дата звернення: 25.06.2024).
9. Copernicus: 2023 is the hottest year on record, with global temperatures close to the 1.5°C limit. URL: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record> (дата звернення: 25.06.2024)
10. State of the Global Climate 2021 [Електронний ресурс]. World Meteorological Organization (WMO). 2022. No. 1290. URL: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22080#.YvKN-BRByUk (дата звернення: 25.06.2024).
11. AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis [Електронний ресурс]. *Working Group I. IPCC Sixth Assessment Report*, 2021. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf (дата звернення: 25.06.2024).
12. Вишневецький В. І. Багаторічні зміни водного режиму річок України. Київ: Накова думка, 2022 р. 252 с.
13. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., Апостолов О.А., Ходоровський А.Я. Зміна параметрів вітру на території України в період глобальних кліматичних змін. *Доповіді Національної академії наук України*. 2019, №10. URL: <https://www.dopovidi-nanu.org.ua/sites/default/files/2019/10/2019-10-8.pdf> (дата звернення: 25.06.2024).
14. 40-річне дослідження клімату виявило тривожні тенденції зменшення снігового покриву. Portaltelle – Український телекомунікаційний портал. URL: <https://portaltelle.com.ua/news/nauka/>

- 40-richne-doslidzhennya-klimatu-viyavilo-trivozhni-tendentsiyi-zmshennya-snigovogo-pokrivu.html (дата звернення: 25.06.2024).
15. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Випуск 3. Частина 1. Метеорологічні спостереження на станціях: Видання офіційне. К.: Державна гідрометеорологічна служба, 2011. 280 с.
 16. Кліматичний Кадастр України (електронна версія). Державна гідрометеорологічна служба УкрНДГМІ. Центральна Геофізична Обсерваторія. К., 2006.

References

1. Systema zabezpechennya nadiynosti ta bezpeky budivel'nykh ob'yektiv. Navantazhennya i vplyvy. Normy proektuvannya [System for ensuring the reliability and safety of construction objects. Loads and influences. Design standards]. *DBN V.1.2-2:2006*. K.: Minbud Ukrayiny, 2007. 60 p. [in Ukrainian].
2. European standard. Eurocode - Basis of structural design. CEN, July 2001. 89 p.
3. Pashyns'kyj, V.A. (1999). Atmosferni navantazhennya na budivel'ni konstruktsiyi na terytoriyi Ukrayiny [Atmospheric loads on building structures in the territory of Ukraine]. K.: UkrNDIproekt-stal'konstruktsiya, 1999. 185 p. [in Ukrainian].
4. Pashyns'kyj, V.A. Metodolohiya normuvannya navantazhen' na budivel'ni konstruktsiyi [Methodology of normalization of loads on construction structures]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. [in Ukrainian].
5. Pichugin S.F. (2016). *Rozrakhunok nadiynosti budivel'nykh konstruktsiy [Reliability calculation of building structures]*. Poltava: ASMI LLC [in Ukrainian]
6. Pashynskyi, M.; Pashynskyi, V.; Tykhyi, A.; and Karpushyn, S. (2023). Long-term forecasting of thermal and humidity actions on buildings. *Advances in Civil and Architectural Engineering. Vol. 14, Issue No. 26*. pp. 1-9. <https://hrcaak.srce.hr/ojs/index.php/aca/article/view/23612/13552> DOI: <https://doi.org/10.13167/2023.26.1> (date of access: 25.06.2024). [in Ukrainian].
7. Ivanyuta, S.P., Kolomiets, O.O., Malinovska, O.A. & Yakushenko, L.M. (2020). *Zmina klimatu: naslidky ta zakhody adaptatsiyi [Climate change: consequences and adaptation measures]*. K.: NISD https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-10/dop-climate-final-5_sait.pdf (date of access: 25.06.2024). [in Ukrainian].
8. Zmina klimatu v Ukrayini ta sviti: Prychyny, naslidky ta rishennya dlya protydyi. [Climate change in Ukraine and the world: Causes, consequences and solutions for countermeasures]. *Ecodia*. https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwo6GyBhBwEiwAzQTmcyieAdhQxolcX7Nq4-PoVs6PKA8Z3gZos1X0vyellqjXj6Siv4zrLxoCdCQQAvD_BwE (date of access: 25.06.2024). [in Ukrainian].
9. Copernicus: 2023 is the hottest year on record, with global temperatures close to the 1.5°C limit. <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record> (date of access: 25.06.2024).
10. State of the Global Climate 2021. World Meteorological Organization (WMO). 2022. No. 1290. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22080#.YvKN-BRByUk (date of access: 25.06.2024).
11. AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis. *Working Group I*. IPCC Sixth Assessment Report, 2021. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf (date of access: 25.06.2024).
12. Vyshnevskiy, V.I. & Kutsiy, A.V. (2022). Bahatorichni zminy vodnoho rezhymu richok Ukrayiny [Long term changes in the water regime of rivers in Ukraine]. Naukova dumka, Kyiv [in Ukrainian].
13. Lyalko, V.I., Yelistratova, L.O., Apostolov, O.A. & Khodorovsky A.Ya. (2019). Zmina parametriv vitru na terytoriyi Ukrayiny v period hlobal'nykh klimatychnykh zmin. [Changes in wind parameters on the territory of Ukraine during the period of global climate change.]. Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. No. 10. <https://www.dopovidi-nanu.org.ua/sites/default/files/2019/10/2019-10-8.pdf> (date of access: 25.06.2024). [in Ukrainian].
14. 40-richne doslidzhennya klimatu vyyavilo tryvuzhni tendentsiyi zmshennya snihovoho pokryvu [A 40-year study of the climate revealed alarming trends in the reduction of snow cover]. Portaltele – Ukrainian telecommunications portal. <https://portaltele.com.ua/news/nauka/40-richne-doslidzhennya-klimatu-viyavilo-trivozhni-tendentsiyi-zmshennya-snigovogo-pokrivu.html> (access date: 25.06.2024). [in Ukrainian].
15. Nastanova hidrometeorolohichnym stantsiyam i postam [Instructions to hydrometeorological stations and posts]. Issue 3. Part 1. Meteorological observations at stations: Official edition. K.: State hydrometeorological service, 2011. 280 p. [in Ukrainian].

16. Klimatychnyy Kadastr Ukrayiny [Climatic Cadastre of Ukraine]. Eelectronic version. State hydrometeorological service of UkrNDGMI. Central Geophysical Observatory. K., 2006. [in Ukrainian].

Vadym Hordeiev, Prof., DSc., **Oleksandr Kordun**, engineer

LLC "V.M. Shymanovsky Ukrainian Institute of Steel Structures", Kyiv, Ukraine

Victor Pashynskiy, Prof., DSc., **Mykola Pashynskiy**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Analysis of trends in long-term changes in climatic loads

The purpose of the work is to identify changes in the characteristic values of loads from snow and wind over the past decades, as well as to justify the need to take these changes into account when developing load standards for buildings and structures.

Characteristic values of wind pressure are determined by the probabilistic model of a random process. The necessary parameters of the Weibull distribution for 13 weather stations of Ukraine are determined by the histograms of the distribution of the results of wind speed measurements obtained in three different periods of meteorological observations during the years 1961...2020. The characteristic values of the snow load are determined by the probabilistic model of the sequence of annual maxima with the Gumbel distribution. For this purpose, the average values and standards of the annual maximum snow cover weight at 54 weather stations, obtained from the results of snow measurement surveys in three different observation periods during 1950...2020, were used. According to the data of each weather station, the rates of characteristic values of loads change over time are determined. Characteristic values of wind pressure at 11 weather stations out of 13 that were considered decrease by an average of 4.5 Pa/year. For two weather stations, the intensity of the decrease is much greater and equals to 13.4 Pa/year and 25.6 Pa/year. At 41 weather stations out of 54 studied, a decrease in the characteristic values of snow cover weight is observed, and at 13 weather stations, the snow load increases over time. Annual increases in the characteristic values of the weight of the snow cover vary within the range of -22...+25 Pa/year with an average decrease of 4.5 Pa/year.

As a result of the study, it was found that the significant spread of the rates of change of the characteristic values of loads over time at different weather stations does not allow to generalize this indicator on the territory of Ukraine. In the presence of several groups of data, it is recommended to determine the characteristic values of wind and snow load through the statistical characteristics of wind speed and weight of snow cover, averaged over the data of all available periods of meteorological observations, without taking into account the detected changes in time.

climate loads, characteristic values, changes over time

Одержано (Received) 21.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 08.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

АГРОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 631.363

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.60-65](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.60-65)**О. В. Хмельовський**, магістр**Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна**e-mail: khmelovskiy26@gmail.com*

Аналіз конструкцій глушників вакуумних насосів

Виконано обґрунтування конструкційно-функціональної схеми фільтра-глушника роторно-лопатевого вакуумного насоса, який має можливість відділяти оливу від повітря та збирати її для подальшого переробітку. Запропонована конструкція, завдяки конструкційній особливості, забезпечує гасіння звуку, знижує шум та має мінімальний опір рухові повітряного потоку в середині фільтра-глушника. Конструкція фільтра-глушника, умовно, може бути розділена на дві конструкційні частини, кожна з яких виконує свою функцію. В роботі встановлені аналітичні зв'язки технологічних характеристик процесу відділення оливи від повітря із врахуванням швидкості повітря на вході в глушник. Встановлено взаємозв'язок між продуктивністю насоса і конструктивними параметрами фільтра-глушника. У виробничих умовах досліджено, що відокремлення оливи від повітря, в запропонованому фільтрі-глушнику, складає 93-95%, а величина зниження шуму становить 15-22 дБ.

насос, глушник, установка, вакуумний насос, шум, звук, олива, докільця, середовище

Постановка проблеми. Сьогодні в Україні, для доїння корів, використовують установки, в яких робочим середовищем є вакуум. Для його створення використовують, здебільшого, лопатеві вакуумні насоси, які мають систему мащення робочих органів. За конструкційними особливостями та принципом роботи, насоси з продуктивністю більше 45 м³/год. створюють шум більше 85 децибел, що не відповідає нормам охорони праці, а також викидають оливу, якою змащуються підшипники та лопатки в атмосферу, що в свою чергу, приводить до забруднення навколишнього середовища. Зайвий шум, приводить до професійних захворювань обслуговуючого персоналу, а тварини отримують додаткові стреси, що негативно відображається на їх продуктивності та прирості живої ваги. В зв'язку з цим на вихлопну трубу насоса встановлюють глушники. Проте, не всі вони мають задовільну ефективність стосовно описаних проблем.

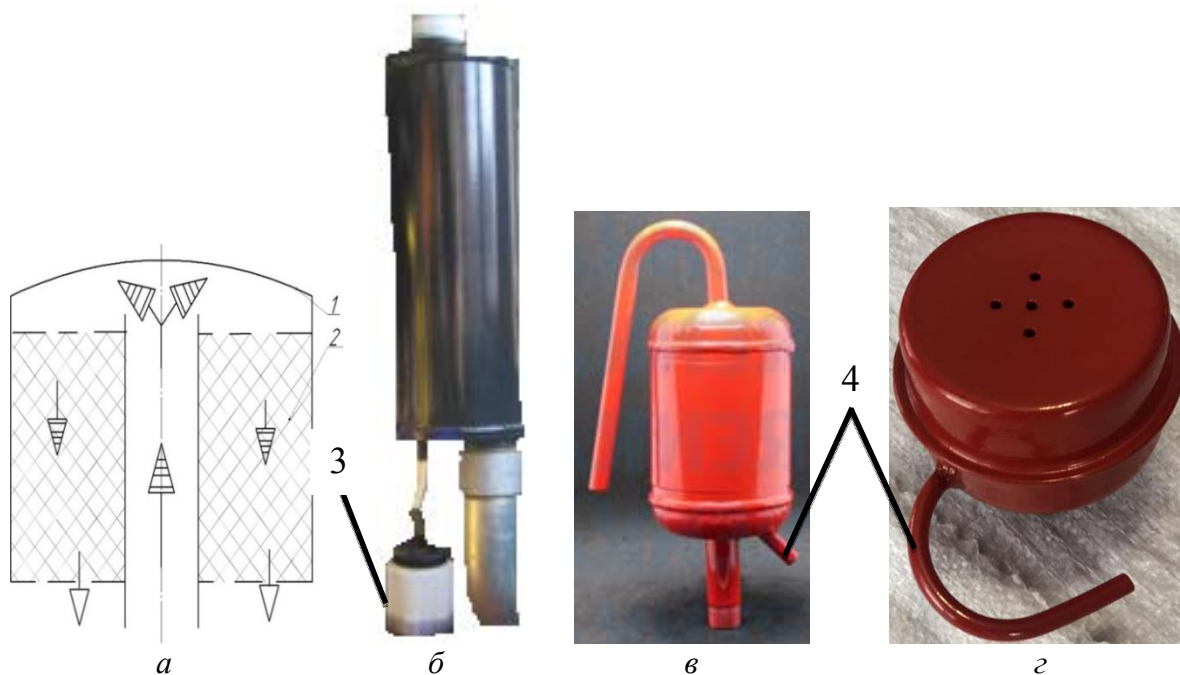
Аналіз останніх досліджень і публікацій. Глушники мають різну конструкцію: наприклад, такий, в якого в середині знаходиться скловата або металічна сітка рис. 1 а.

Цей глушник за своїм призначенням має зменшити рівень шуму та частково затримувати оливу. Ця конструкція не передбачає відведення та уловлювання оливи, в наслідок чого відбувається забруднення оточуючої території поблизу встановлення глушника такого типу [1, 2, 3, 4]. На вакуумних насосах, наприклад, компанії «Де Лаваль» використовують глушники, в яких вхідний та вихідний патрубки не співвісні [5, 6]. В середині корпусу розміщено трубу, яка співвісна із вхідним патрубком та на стінці має бокові отвори, в результаті олива частково осідає на стінках труби та глушника відокремлюючись від повітря, проте, цей процес відбувається не в значній кількості рис. 1 б. В конструкцію таких глушників входить зовнішній оливозбірник, який з'єднаний із корпусом тонкою трубкою.

З початком активного використання засобів механізації, в процесі доїння, у

малих фермерських, індивідуальних та сімейних фермах, постало питання зменшення шуму та уловлювання відпрацьованої оливи у пересувних доїльних установах. Конструкції такого типу рис. 1 в, рис. 1 г призначені для зменшення шуму та створення комфортного звуку під час роботи індивідуальної доїльної установки [7, 8].

Автори роботи [1] провели огляд існуючих засобів, для зниження шуму, вакуумних насосів, запропонували конструкційно-функціональну схему розбірного фільтра-глушника та провели дослідження визначення величини шуму вакуумного насоса при роботі без глушника, із серійним варіантом глушника та із запропонованим.



а – з набивкою; б – з накопичувачем відокремленої оливи; в – з вихлопним трубопроводом; г – без вихлопного трубопроводу (1 – корпус; 2 – набивка; 3 – накопичувач оливи; 4 – зливна трубка)

Рисунок 1 – Глушники вакуумних установок

Джерело: розроблено автором

Автори не вказали діаметру вхідного патрубку фільтра, адже, цей розмір впливає на продуктивність вакуумного насоса.

Постановка завдання. Метою роботи є підвищення ефективності відділення оливи від повітря, зниження шуму та мінімізування опору руху повітря, при роботі фільтра-глушника вакуумної установки, за рахунок удосконалення конструкційно-функціональної схеми та оптимізації параметрів камерного фільтра-глушника.

Завданням дослідження – встановлення зв'язку між роботою вакуумного насоса та забезпеченням фільтром-глушником шумових, екологічних та технологічних параметрів. Дослідити вплив діаметру вхідного патрубка та діаметру умовного перерізу секції фільтра глушника на продуктивність вакуумного насоса.

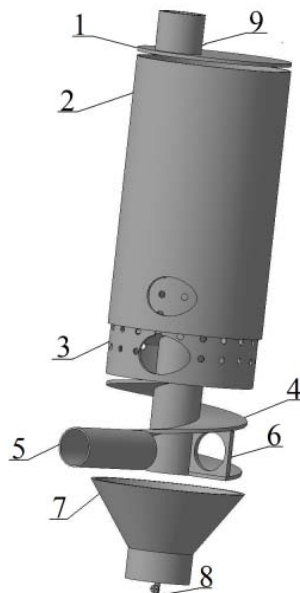
Виклад основного матеріалу. Враховуючи вище сказане, нами запропонований фільтр-глушник, який повинен задовольняти таким вимогам (рис. 2):

- зменшувати рівень звуку зовнішнього шуму до рівня допустимого, що складає 80 дБ ДСТУ EN 1012-1:2018 (EN 1012-1:2010, IDT) «Компресори та вакуумні насоси» [9];
- створювати мінімальний опір руху повітря;
- забезпечувати максимально можливий відбір оливи з відпрацьованого повітря.

Враховуючи такі особливості, розроблений камерний глушник з гвинтовою поверхнею відповідає вищезгаданим вимогам.

Розроблений глушник [10] рис. 2 складається з верхньої кришки 1, корпусу 2, ситового уловлювача 3, гвинтової навивки 4, вхідного патрубку 5, шайби із внутрішньою різьбою 6, оливозбірника 7, крана 8, випускного патрубку 9.

Гвинтова поверхня розташована всередині корпусу складається з декількох секцій різного кроку, причому, крок поверхні збільшується в напрямку випускного патрубку.



1 - верхня кришка; 2 – корпус; 3 - ситовий уловлювач; 4 – гвинтова навивка; 5 - вхідний патрубок; 6 - шайба із внутрішньою різьбою; 7 – оливозбірник; 8 – кран; 9 - випускний патрубок

Рисунок 2 – Будова фільтра-глушника

Джерело: розроблено автором

Фільтр-глушник вакуумного насоса працює таким чином.

Повітря, разом з оливою, що змащувала вузли вакуумного насоса (рис. 2), надходить до фільтра-глушника, крізь вхідний патрубок 5, який вкручено у шайбу із внутрішньою різьбою 6. Повітряно-оливова суміш рухається догори поверхнею гвинтової навивки шнека 4. Траєкторія руху повітря у глушнику описується гвинтовою навивкою, а отже, на частинки оливи, що знаходиться у зваженому стані, діє відцентрова сила, в наслідок чого, вони відкидаються до ситового уловлювача 3, олива відокремлюється від повітря та потрапляє у міжстінковий простір корпусу 2 і ситового уловлювача 3, та стікає донизу в оливозбірник 7, звідки зливається за допомогою крана 8. Після чого вона може відправлятися на переробку, або ж, після очищення, поступати в систему змащування насоса. Очищене від оливи повітря продовжує рух по поверхні гвинтової навивки 4, та завдяки зміні кроку гвинтової навивки, повітря зменшує швидкість руху, внаслідок чого зменшується рівень шуму та ефективніше відбувається доочищення від вмісту оливи. Повітря проходить до верхньої кришки 1 та крізь вихідний патрубок 9 потрапляє у навколишнє середовище.

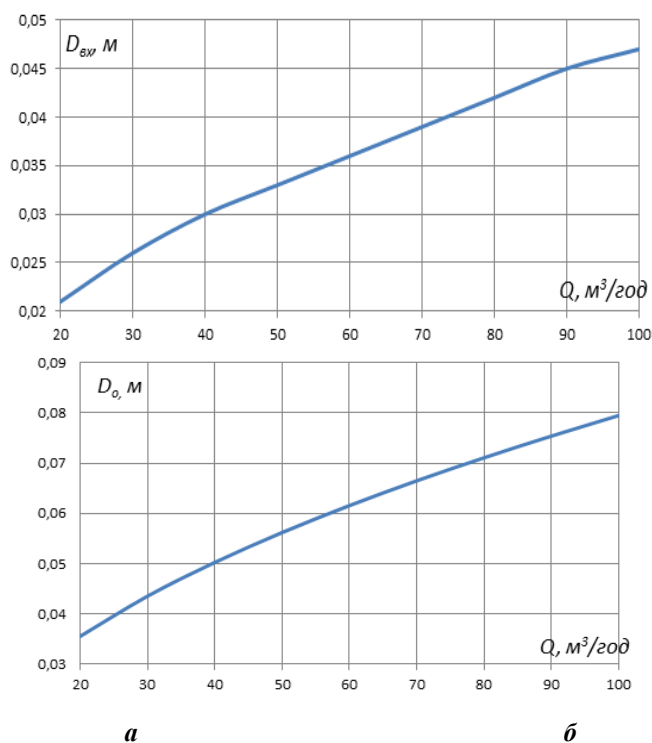
Розроблена конструкція глушника вакуумної установки виконує функції відбору оливи та забезпечує гасіння звуку, тому розрахункову схему глушника можна умовно розділити на дві конструкційні частини, кожна з яких виконує свою функцію.

Нижня частина глушника, що складається з оливозбірника, вхідного патрубка та першої секції гвинтової поверхні служить для відокремлення та збору оливи, назвемо цю частину оливозбірною.

Верхня частина глушника виконує функцію гасіння шуму та складається з одного або декількох секцій гвинтової поверхні і вихідного патрубка, назвемо її шумопоглинаючою.

Швидкість повітря на вході в глушник $V_{вх}$ має знаходитися в межах 11...16 м/с, саме така швидкість дозволяє найбільш повно відділити оливу від повітря. Зважаючи на те, що фільтр-глушник не повинен створювати опір руху повітря, необхідно визначити вплив діаметру вхідного патрубка та діаметру умовного перерізу секції фільтра-глушника на продуктивність вакуумного насоса.

Повітря, яке пройшло оливозбірну частину та відділилось від оливи, потрапляючи у розширений простір гвинтової навівки знижує свою швидкість на 30-35 %, тим самим зменшується рівень шуму. Для визначення впливу другої частини фільтра-глушника на продуктивність вакуумного насоса, необхідно знайти умовний діаметр вхідного перерізу секції, з допомогою якого розраховуються геометричні параметри фільтра-глушника.



а - діаметру вхідного патрубка; б - діаметру умовного перерізу секції
Рисунок 3 – Вплив параметрів фільтра-глушника на продуктивність вакуумного насоса

Джерело: розроблено автором

Проведене дослідження свідчить про те, що при впровадженні фільтра-глушника у виробництво, останній має мати типорозмірний ряд з кроком близьким за продуктивністю до 20 м³/год.

Висновки. Обґрунтовано схема, розроблена конструкція і виготовлений дослідний зразок фільтра-глушника забезпечує зниження шуму, який утворюється внаслідок роботи вакуумного насоса, до рівня 65-75 децибел та збирання використаної оливи до 93-95%. Дослідження показали, що продуктивність вакуумного насоса знижується, внаслідок створення фільтром-глушником опору, який складає біля 1 м³/год, в

порівнянні із серійним - 1,28 м³/год. Для впровадження фільтра-глушника у виробництво, доцільно використовувати взаємозв'язок між продуктивністю вакуумного насоса і конструкційними параметрами фільтра-глушника та розробити поділ на типорозміри.

Список літератури

1. Фільтр-глушник вакуумної установки / Хмельовський В. С. та ін. *Загальнодержавний збірник «Механізація та електрифікація сільського господарства»*. 2020. Вип. № 11 (110). С.124-129.
2. Дудін В.Ю. Фази розподілу повітря ротаційного вакуумного насоса з тангенціальним розміщенням пластин. *Геотехнічна механіка*: 2008. Вип. 75. С. 254-258.
3. Dmytriv V.T., Dmytriv I.V., Horodetskyi I.M., Yatsunskyi P.P. Adaptive cyber-physical system of the milk production process. *INMATEH - Agricultural Engineering* 2020. Vol. 61, No. 2 p 199-208 DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-61-22>
4. Линник Ю. О. Техніко-економічне обґрунтування застосування системи сервоконтроля ротаційного пластинчастого вакуумного насоса доїльної установки. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2015. Вип. 212. Ч. 2. С. 174–178.
5. Інструкція з експлуатації. Вакуумна установка ДеЛаваль УР 170. Київ, 2016. 16 с.
6. Інструкція з експлуатації. Вакуумна установка ДеЛаваль УРЕ1600. Київ, 2016. 18 с.
7. Глушник на масляний вакуумний насос. веб-сайт. URL: <https://mlunok.com.ua/uk/glushnik-maslyanij.html>
8. Глушник доїльного апарату для вакуумного насосу. веб-сайт. URL: <https://shafa.ua/uk/building/biznes-obladnannya/157019876-glushnik-doyilnogo-aparatu-dlya-vakuumnogo-nasosu>
9. ДСТУ EN 1012-2:2018 (EN 1012-2:2010, IDT). Компресори та вакуумні насоси. [Чинний від 2020-01-01]. Київ, 2020. 24 с. (ДП «УкрНДНЦ»).
10. Фільтр-глушник вакуумного насоса : пат. 98089 Україна : МПК F04B 37/14 , F04B 37/16. № u201413341 ; заявл. 12.12.2014 ; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7.

References

1. Khmel'ovs'kyj, V.S., Zabolotko, O.O., Bratishko, V.V., & Rebenko, V.I. (2020). Fil'tr-hlushnyk vakuumnoi ustanovky [Filter-muffler of a vacuum installation]. *Zahal'noderzhavnyj zbirnyk «Mekhanizatsiia ta elektrifikatsiia sil's'koho hospodarstva» - State collection «Mechanization and electrification of agriculture», 11 (110)*, 124-129 [in Ukrainian].
2. Dudin, V.YU. (2008) Fazy rozpodilu povitrya rotatsiynoho vakuumnoho nasosa z tanhentsiynym rozmishchennyam plastyn. [Phases of air distribution of a rotary vacuum pump with tangential placement of plates]. *Heotekhnichna mekhanika - Geotechnical mechanics*, 75, 254-258 [in Ukrainian].
3. Dmytriv V.T., Dmytriv I.V., Horodetskyi I.M., Yatsunskyi P.P. (2020). Adaptive cyber-physical system of the milk production process. *INMATEH - Agricultural Engineering* 61, 2, 199-208 DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-61-22>
4. Lynnyk, Yu. O. (2015) Tekhniko-ekonomichne obgruntuvannya zastosuvannya systemy servokontrolya rotatsiynoho plastynchastoho vakuumnoho nasosa doylnoyi ustanovky [Feasibility study of the use of the servo control system of the rotary plate vacuum pump of the milking plant]. *Naukovyj visnyk Natsional'noho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Tekhnika ta enerhetyka APK - Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Natural Resources of Ukraine. Series: Technology and energy of agricultural industry*, 212, 2, 174–178. [in Ukrainian].
5. Instruktsiya z ekspluatatsiyi. Vakuumna ustanovka DeLaval UR 170. [Operating instructions. Vacuum installation DeLaval UR 170] (2016). Kyiv [in Ukrainian].
6. Instruktsiya z ekspluatatsiyi. Vakuumna ustanovka DeLaval URE1600. [Operating instructions. Vacuum installation DeLaval URE1600] (2016). Kyiv [in Ukrainian].
7. Hlushnyk na maslyanyy vakuumnyy nasos [Muffler for the oil vacuum pump]. website. URL: <https://mlunok.com.ua/uk/glushnik-maslyanij.html> [in Ukrainian].
8. Hlushnyk doyl'noho aparatu dlya vakuumnoho nasosu [Muffler of the milking machine for the vacuum pump]. website. URL: <https://shafa.ua/uk/building/biznes-obladnannya/157019876-glushnik-doyilnogo-aparatu-dlya-vakuumnogo-nasosu> [in Ukrainian].
9. DSTU EN 1012-2:2018 (EN 1012-2:2010, IDT). Kompresory ta vakuumni nasosy [Compressors and vacuum pumps]. (2020) [Effective from 2020-01-01]. Kyiv, 2020 [in Ukrainian].

10. Filtr-hlushnyk vakuumnoho nasosa [Filter-muffler of the vacuum pump] (2015). Ukrainian patent, no. 98089 [in Ukrainian].

Oleksandr Khmelovskyi, Master

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Analysis of Vacuum Pump Mufflers Designs

The substantiation of the structural and functional scheme of the muffler filter of the rotary vane vacuum pump, which has the ability to separate oil from air and collect it for further processing, has been completed. The proposed design, due to its design feature, provides sound suppression, reduces noise and has minimal resistance to the movement of the air flow in the middle of the muffler filter. The muffler filter is based on the fact that air, together with the oil that lubricates the vacuum pump nodes, enters the muffler filter through the inlet pipe at a speed of 11...16 m/s, which allows the most complete separation of oil from air. The trajectory of the movement of air in the muffler is described by a helical winding, and therefore, centrifugal force acts on the oil particles in a suspended state, as a result of which the oil particles are thrown to the sieve catcher, the oil is separated from the air and enters the interwall space of the housing and the sieve catcher, and flows down into the oil sump, from where it is drained using a tap. After that, it can be sent for processing, or, after cleaning, enter the pump lubrication system. The oil-free air continues to move over the surface of the screw winding, and due to the change in the pitch of the screw winding, the air decreases its speed, as a result of which the noise level decreases and oil content is cleaned more efficiently. Air passes to the top cover and enters the environment through the outlet pipe.

The work establishes a relationship between the pump performance and the design parameters of the muffler filter. In production conditions, it was investigated that the separation of oil from air in the proposed muffler is 93-95%, and the amount of noise reduction is 15-22 dB. The use of a muffler filter implies a decrease in the productivity of the vacuum pump, which is about 1 m³/h, compared to the serial one - 1.28 m³/h. To introduce the muffler filter into production, it is advisable to use the relationship between the performance of the vacuum pump and the structural parameters of the muffler filter and to develop a division into standard sizes.

pump, muffler, installation, vacuum pump, noise, sound, oil, environment

Одержано (Received) 14.05.2024

Прорецензовано (Reviewed) 14.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656:338

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.66-78](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.66-78)

Д.В. Голуб, доц., канд. техн. наук, В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: Dimchik529@gmail.com, AulinVV@gmail.com

Математична модель підвищення якості управління мехатронною системою мікроклімату салону автомобіля

Проведено аналіз досліджень систем управління мікрокліматом салону автомобіля та сформульовані вимоги до кліматичного комфорту простору, що оточує людину в процесі експлуатації транспортного засобу. Обґрунтовано необхідність формування системи управління кліматичним комфортом як мехатронної системи автомобіля, що має підвищену швидкодію, узгодженість і точність регулювання величин для його визначення.

Запропоновано перелік показників, які найточніше враховують сукупний вплив на кліматичний комфорт в мультizonному робочому просторі та дозволяють підвищити якість функціонування мехатронної системи управління мікрокліматом салону автомобіля.

Розроблено математичну модель підвищення якості управління мехатронною системою мікроклімату салону автомобіля. Модель описує багатовимірний нелінійний електропневмомеханічний об'єкт управління та його структуру.

Досліджено динамічні властивості цифрових стежачих приводів на основі колекторних двигунів постійного струму, що входять до складу виконавчої частини мехатронної системи управління кліматичним комфортом салону автомобіля.

Розроблено алгоритм реалізації моделі в середовищі Matlab Simulink, що дозволяє проводити детальне комп'ютерне моделювання процесами управління мехатронною системою кліматичного комфорту з метою підвищення її точності і швидкодії.

Запропоновано принципи формування багатоканального регулятора мехатронної системи на основі інверсних моделей. Ці принципи відображують статичні властивості нелінійного об'єкту управління та підвищують узгодженість реакцій каналів системи управління мікрокліматом салону автомобіля.
мехатронна система, моделювання, мікроклімат, салон автомобіля, автоматичне управління, регулятор, цифровий стежачий привід

Постановка проблеми. Підвищення якості функціонування автомобільних мехатронних систем управління [1-3], в т. ч. і мікрокліматом салонів різноманітних видів транспортних засобів (ТЗ), є актуальною проблемою, що має велике значення для функціонування транспортної галузі країни. Це передусім кліматичний комфорт мультizonного робочого простору салонів легкових та вантажних автомобілів, громадського транспорту різних видів [4], спеціалізованих транспортних засобів, транспортної та мобільної сільськогосподарської та іншої техніки. Ефективність і безпека функціонування таких об'єктів значною мірою залежить від самопочуття і працездатності їх операторів. Для кожного з ТЗ повинні створюватися і автоматично підтримуватися сприятливі кліматичні умови в різних зонах робочого простору [5].

Незважаючи на поширеність систем управління мікрокліматом салону ТЗ, підвищення їх точності і швидкодії досліджені недостатньо. Існуючі методи орієнтовані, в основному, на створення розімкнених систем з ручним управлінням. Оскільки

вимоги до їх якості безперервно зростають, то доцільна розробка більш досконалих замкнених систем автоматичного управління (САУ) станом робочого простору салону ТЗ. Такі системи мають бути здатні коректно враховувати комбінований вплив температури, вологості, швидкості руху повітряного потоку і фізіологічних особливостей оператора на сприйняття їм кліматичного комфорту в середині салону ТЗ [6]. Саме ці чинники роблять актуальними дослідження в області автомобільних кліматичних систем комфорту салону ТЗ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз існуючих даних по проблемах створення систем мікроклімату салону автомобіля, моделювання, проектування і управління таких мехатронних систем [3-6], показав, що підхід до підбору джерел інформації визначається тим, що дана система, маючи ознаки мехатронної, практично не описувалася в термінах мехатроніки.

Особливістю даних систем є те, що вони містять специфічні нелінійні багатокоординатні об'єкти управління. Вони об'єднують у своєму складі взаємодіючі механічні, електричні, пневматичні і комп'ютерні компоненти [7-9]. Тому вирішення завдання побудови високоякісних систем управління кліматичним комфортом салону автомобіля вимагає застосування принципів і методів, характерних для мехатроніки [10]. Через складність таких об'єктів управління доцільним є використання математичних моделей для формування регуляторів мехатронних систем управління. Такі моделі базуються, передусім, на ідеях і методах, що використовуються в мехатроніці і комп'ютерному управлінні рухом.

Постановка завдання. Метою даної роботи є підвищення точності і швидкодії мехатронних систем управління мікрокліматом в мультизонному замкненому робочому просторі салону автомобіля, побудованих на основі моделі нелінійного об'єкту управління і комплексу пропорційно-інтегральних регуляторів.

Виклад основного матеріалу. Концепція побудови систем управління кліматичним комфортом салону автомобіля, що мають високу точність і швидкодію, повинна базуватися на чіткому формулюванні вимог до їх управління. Складність проблеми створення таких систем обумовлена специфікою їх об'єктів управління, які реалізують управління рухом повітряних потоків і об'єднують у своєму складі електричні, механічні і пневматичні компоненти, що тісно взаємодіють один з одним. Аналіз їх властивостей показує, що вони є нелінійними багатокоординатними динамічними об'єктами з внутрішніми перехресними зв'язками. Високий рівень вимог, що пред'являються до сучасних систем управління кліматичним комфортом салону ТЗ і необхідність погодженого функціонування різнорідних компонентів таких систем, дозволили зробити висновок про формування на основі принципів і методів мехатроніки. Нова структура системи управління кліматичним комфортом салону автомобіля є замкнутою за показниками комфорту мікроклімату (рис. 1).

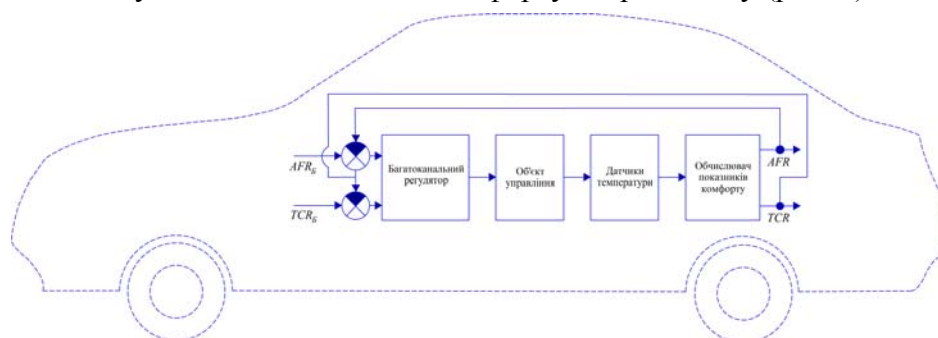


Рисунок 1 - Структурна схема мехатронної системи управління кліматичним комфортом салону сучасного автомобіля

Джерело: розроблено авторами

Для підвищення точності автоматичного регулювання кліматичного комфорту використовують аналітичні залежності двох типів безрозмірних показників комфорту, як функцію змінних стану повітряного середовища, що коректно характеризують рівень комфортності. Змінні першого типу є температурними показниками комфорту TCR_1, \dots, TCR_L (Thermal Comfort Rate), де L - кількість зон регулювання комфорту. Відомо, що кожна людина має відношення до декількох зон робочого простору і може встановити для них бажані значення температурного показника комфорту, задавши їх в діапазоні балів від - 5 до 5, що відповідає значенням температури від $+15^\circ\text{C}$ до $+37^\circ\text{C}$. Взаємозв'язок значень показника комфорту TCR_l в l -ій зоні регулювання комфорту з температурою повітряного потоку $\tau_{екв.l}$, що відчувається людиною, подається у вигляді формули $TCR_l = \frac{\tau_{екв.l} - 299}{2,2}$, причому $l = \overline{1, L}$. Змінні другого типу - показники комфорту за швидкістю руху повітряного потоку AFR_1, \dots, AFR_L (Air Flow Rate). Значення цих показників можуть задаватися в діапазоні балів від 0 до 3. Показник комфорту AFR за швидкістю руху v_l , повітряного потоку в l -ій зоні регулювання комфорту, спрямованого до відповідної ділянки тіла людини, для усіх $l = \overline{1, L}$, визначається за формулою:

$$AFR_l = \frac{V_l - 0,175 - 0,0506 \cdot TCR_l}{1,15 + 0,0396 \cdot TCR_l}, \quad (1)$$

де V_l – швидкість, яка обчислюється за формулою:

$$V_l = g_{вих.l} (\rho A_l)^{-1}, \quad (2)$$

де $g_{вих.l}$ – масова витрата повітря в l -ій зоні;

ρ - щільність повітря;

A_l - площа l -ої зони комфорту.

Регульованими змінними мехатронної системи є вектори показників комфорту:

$$TRC = (TRC_1, \dots, TRC_L)^T; \quad AFR = (AFR_1, \dots, AFR_L)^T, \quad (3)$$

Фактично мова йде про створення комплексу стежачих систем, в каналах розузгоджень яких знаходиться багатоканальний регулятор, керований комп'ютерною системою (КС), який видає керуючі впливи на стежачі приводи, що входять до складу об'єкту управління. Безпосередній вимір векторних змінних TRC і AFR неможливий, а тому вони формуються на підставі показників датчиків температури і витрати введеним до складу системи комп'ютерним обчислювачем показників комфорту. Структура дослідження динамічних властивостей цифрових стежачих приводів здійснюється на основі колекторних двигунів постійного струму (рис. 2). Останні входять до складу виконавчої частини мехатронної системи управління кліматичним комфортом салону автомобіля.

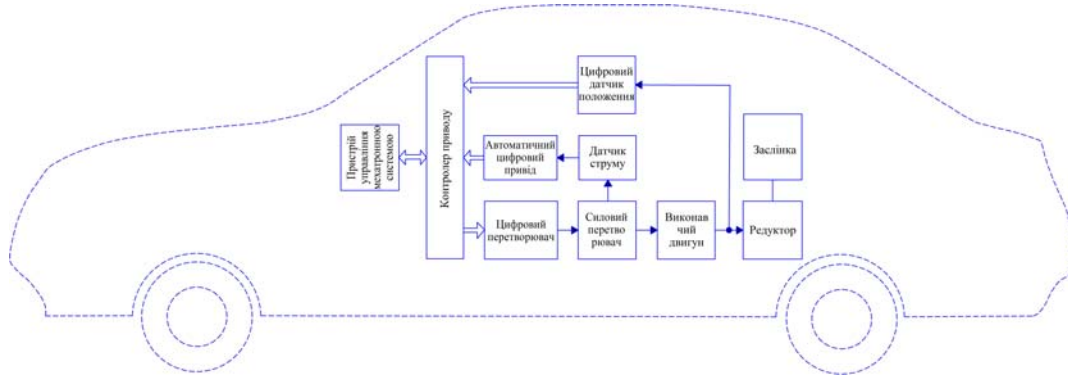


Рисунок 2 - Структура цифрового стежачого приводу мехатронної системи управління кліматичним комфортом салону автомобіля

Джерело: розроблено авторами

На основі математичного моделювання вибору періоду квантування за часом і значень основних параметрів регуляторів приводів модель відображує найбільш суттєві динамічні властивості замкнутого стежачого приводу.

При розробці нелінійної математичної моделі об'єкту управління у складі системи управління кліматичним комфортом розглядається як сукупність комплексу стежачих приводів і облаштувань нагнітання, охолодження, осушення, нагріву і розподілу повітряних потоків нагрітого і охолодженого повітря, камер змішувачів і каналів подання повітря в різні ділянки мультizonного робочого простору салону автомобіля.

У робочому просторі знаходиться M -та кількість людей (операторів людиномашинної системи). З кожним з них пов'язане N регульованих зон, причому $L = MN$. За допомогою задаючих пристроїв людина має можливість сформулювати сприятливі для неї умови в зонах робочого простору. Інтенсивність подання повітря регулюється за допомогою заслінок в повітропроводах, керованих стежачими приводами при одержанні задаючих дій від контролера системи управління.

Структура моделі управління мехатронною системою кліматичного комфорту салону автомобіля, наведена на рис. 3. Вона сформована в результаті декомпозиції і виділення підсистем за функціональною ознакою.

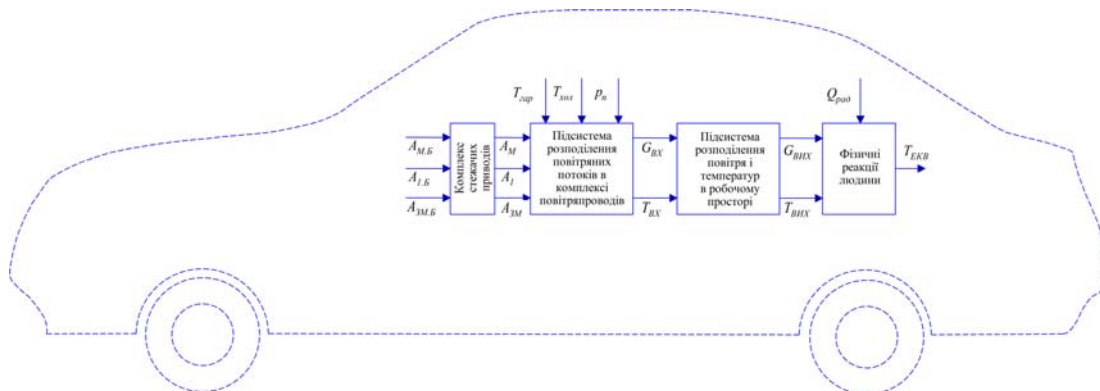


Рисунок 3 - Структура математичної моделі управління мехатронною системою кліматичного комфорту салону автомобіля

Джерело: розроблено авторами

У моделі виділені комплекс стежачих приводів, підсистеми розподілу повітряних потоків в повітропроводах, розподілу повітря і температур в зонах регулювання комфорту робочого простору і блок фізіотермічних реакцій людей, що знаходяться в робочому просторі.

Вхідними діями на комплекс електромеханічних стежачих приводів є $(M \times 1)$ - вектор бажаних кутів повороту заслінок в каналах подання повітря в камери змішувачів $A_{3M.B}$ і $M(N \times 1)$ - векторів бажаних кутів повороту заслінок в каналах подання повітря в робочий простір $A_{1.B}, A_{2.B}, \dots, A_{M.B}$. Компонент $a_{3M.j}(N \times 1)$ - вектора A_{3M} , що реалізується приводом, є фактичним кутом повороту заслінки в каналі подання повітря в i -ту камеру змішувача. Компонент $a_{ij}(N \times 1)$ - вектора A_i - фактичний кут повороту j -ої заслінки в каналі подання повітря з i -ої камери змішувача в обслуговувану зону: $i = 1, \dots, M; j = 1, \dots, N$.

Кути повороту заслінок обмежені $0 \leq \alpha_{3M.i} \leq \alpha_{\max}$, $0 \leq \alpha_{ij} \leq \alpha_{\max}$ і впливають на площі перерізу отворів в повітряних каналах відповідно до рівнянь:

$$\begin{aligned} A_{E.ij} &= A_{E.\max} \alpha_{ij} \alpha_{\max}^{-1}; \\ A_{E.GAPj} &= A_{E.3B.\max} \alpha_{3Bj} \alpha_{3B.\max}^{-1}; \\ A_{E.XOЛj} &= A_{E.3B.\max} (\alpha_{3B.\max} - \alpha_{3Bi}) \alpha_{3B.\max}^{-1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Під впливом, що реалізується приводами фактичних кутів повороту заслінок і тиску повітря P_{Π} , що створюється підсистемою стабілізації тиску наддуву, температур гарячого T_{GAP} і холодного $T_{ХОЛ}$ повітря в підсистемах нагріву і охолодження. При цьому формується $L = N \times M$ повітряних потоків, що виходять з випускних отворів підсистеми розподілу повітря і потрапляють в робочий простір. Ці потоки характеризуються $(N \times M)$ - векторами масових витрат $(G_{BX.1}, G_{BX.2}, \dots, G_{BX.M})$ і векторами температур $(T_{BX.1}, T_{BX.2}, \dots, T_{BX.M})$.

Вихідними змінними підсистеми розподілу повітря і температур в робочому просторі є $M(N \times 1)$ - векторів масових витрат повітряних потоків, що утворюються в контрольованих зонах в результаті перемішування потоків, що виходять з випускних отворів підсистеми розподілу повітря, $(G_{ВИХ.1}, G_{ВИХ.2}, \dots, G_{ВИХ.M})$ і $M(N \times 1)$ - векторів еквівалентних температур, що відчуюються операторами в регульованих зонах робочого простору $(T_{ВКВ.1}, T_{ВКВ.2}, \dots, T_{ВКВ.M})$.

Відмітною особливістю запропонованої моделі об'єкту управління є включення до її складу моделі фізіотермічних реакцій людини. Ця модель характеризує зв'язок компонент $(L \times 1)$ - вектора температур повітря $T_{ЕКВ} = (\tau_{ЕКВ.1}, \tau_{ЕКВ.2}, \dots, \tau_L)^T$, що відчувається людиною в зонах робочого простору з вектором реальних температур $T = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_L)^T$ повітряних потоків в цих зонах.

На основі зазначеного сформована найбільш зручна для побудови системи управління форма моделі:

$$\frac{d\tau_{ЕКВ.l}}{dt} = \frac{(k_{\Pi}\tau_l + k_{ml}g_{вих.l} + k_{сепл}T_{сеп} + k_{Ql}Q_{рад} - \tau_{екв.l})}{T_{ФР.l}}, \quad (5)$$

де індекс l - номер регульованої зони, причому $l = 1, \dots, L$;

$k_{\Pi}, k_{ml}, k_{сепл}, k_{Ql}$ - коефіцієнти впливу на еквівалентну температуру $\tau_{екв.l}$, температура повітря τ_l масової витрати $g_{вих.l}$, середньої температури довкілля $T_{сеп}$ і інтенсивності сонячної радіації $Q_{рад}$;

$T_{\Phi P, I}$ - постійна часу аперіодичної ланки, що характеризує динамічні властивості моделі фізіотермічних реакцій.

При цьому модель камер змішувачів дозволяє визначити вектори тиску (p_{c1}, \dots, p_{cM}) і температури (T_{c1}, \dots, T_{cM}) повітря, що утворюються в цих камерах, з урахуванням температур того, що поступає в них нагрітого $T_{ГАР}$ і охолодженого $T_{ХОЛ}$ повітря.

Модель i -ої камери ($i = 1, \dots, M$) змішувача описується системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dp_{c,i}}{dt} = V_i^{-1} RT_{c,i} (g_{ГАР,i} + g_{ХОЛ,i} - g_{\Sigma,i}) + V_i^{-1} R m_{c,i} \frac{dT_{c,i}}{dt}; \\ \frac{dT_{c,i}}{dt} = m_{c,i}^{-1} (g_{ГАР,i} T_{ГАР,i} + g_{ХОЛ,i} T_{ХОЛ,i} - g_{\Sigma,i} T_{c,i}); \\ \frac{dm_{c,i}}{dt} = g_{ГАР,i} + g_{ХОЛ,i} - g_{\Sigma,i}, \end{cases} \quad (6)$$

де $V_i, m_{c,i}$ - відповідно об'єм i -ої камери і маса повітря, що знаходиться в ній;

R - газова постійна;

$T_{c,i}$ - абсолютна температура повітря;

$g_{ГАР,i}, g_{ХОЛ,i}$ - відповідно масові витрати нагрітого і охолодженого повітря, що поступає в камеру; $g_{\Sigma,i}$ - масова витрата повітря, що витікає з i -ої камери, причому:

$$g_{\Sigma,i} = \sum_{j=1}^N g_{ex,ij}. \quad (7)$$

Компоненти вектору тиску (p_{c1}, \dots, p_{cN}) близькі до атмосферного. Тому виникає докритичний режим течії повітря через отвори, регульовані приводами із заслінками, і витрати можуть бути визначені за допомогою системи алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} g_{ГАР,i} = A_{Е,ГАР,i} \sqrt{2(RT)^{-1} p_{c,i} (p_{n,ГАР} - p_{c,i})}; \\ g_{ХОЛ,i} = A_{Е,ХОЛ,i} \sqrt{2(RT)^{-1} p_{c,i} (p_{n,ХОЛ} - p_{c,i})}. \end{cases} \quad (8)$$

де $A_{Е,ГАР,i}$ і $A_{Е,ХОЛ,i}$ - відповідно ефективні площі отворів в каналах подання гарячого і холодного повітря;

$p_{n,ГАР}$ і $p_{n,ХОЛ}$ - відповідно тиски в магістралях подання гарячого і холодного повітря, причому виконується умова:

$$p_{n,ГАР} = p_{n,ХОЛ} = p_n. \quad (9)$$

Математична модель підсистеми розподілу повітряних потоків описує M груп повітряних каналів, по яких повітря подається в регульовані зони робочого простору. Кожна група містить N каналів, що починаються у камері змішувача і закінчуються вихідним отвором у безпосередній близькості від відповідної обслуговуваної зони робочого простору.

Для усталеного режиму j -го каналу i -ої групи повітропроводів справедливе нелінійне рівняння алгебри, що зв'язує масову витрату повітря $g_{ex,ij}$ при турбулентній

течії з тиском в i -ій камері змішувача. Результуючим пневматичним опором каналу r_{ij} і вихідним отвором, площа якого $A_{E,ij}$, регулюється сервоприводом:

$$g_{ex,ij} = A_{ij} C \sqrt{(p_{ci} - p_a)}, \quad (10)$$

$$\text{де } A_{ij} = A_{E,ij} \left[1 + A_{E,ij}^2 r_{ij} 2(RT)^{-1} p_a \right]^{\frac{1}{2}}; C = \sqrt{2(RT)^{-1} p_a}; r_{ij} = l_{ij} v^{\frac{1}{4}} (4\rho d_{ij}^5)^{-1}, \quad (11)$$

p_a - атмосферний тиск;

l_{ij}, d_{ij} - відповідно довжина і діаметр повітропроводу;

v і ρ - коефіцієнт кінематичної в'язкості і щільність повітря за нормальних умов;

$j = \overline{1, N}, i = \overline{1, M}$.

На основі цього встановлено, що об'єкт управління є багатозв'язковим. Модель підсистеми розподілу повітря і температур всередині робочого простору характеризується рівнянням:

$$G_{ВИХ} = W G_{ВХ}, \quad (12)$$

де W - $(L \times L)$ - квадратна матриця коефіцієнтів впливу вектора $(w_{11}, w_{12}, \dots, w_{LL})$ потоків повітря, що виходять з випускних отворів підсистеми розподілу повітря. Потоки, що утворюються в результаті їх часткового змішування в обслуговуваних зонах робочого простору здійснюють безпосередній вплив на комфортність повітряного середовища.

Коефіцієнти, що характеризують властивості робочого простору, визначаються експериментально і є емпіричними оцінками перехресних зв'язків, існуючих в об'єкті системи управління кліматичним комфортом салону автомобіля.

Отримана математична модель об'єкту управління є системою $2M(2+N)$ нелінійних диференціальних рівнянь першого порядку у формі Коши. На цій підставі дані системи можна віднести до класу великих мехатронних систем.

Нова структура мехатронної системи управління кліматичним комфортом салону автомобіля з багатоканальним регулятором базується на його заснуванні з використанням інверсних математичних моделей об'єкту управління і повної математичної моделі системи, властивості якої досліджено за допомогою комп'ютерних програм.

З урахуванням високої розмірності, нелінійності властивостей і багатозв'язковості об'єкту управління для отримання високої якості процесів управління застосований компенсаційний підхід. Він заснований на використанні зворотної (інверсної) математичної моделі об'єкту управління та запропоновано двохкаскадний багатоканальний регулятор. Його першим (зовнішнім) каскадом є комплекс пропорційно-інтегральних регуляторів (Пі-регуляторів), призначених для поліпшення динамічних властивостей системи (рис. 4).

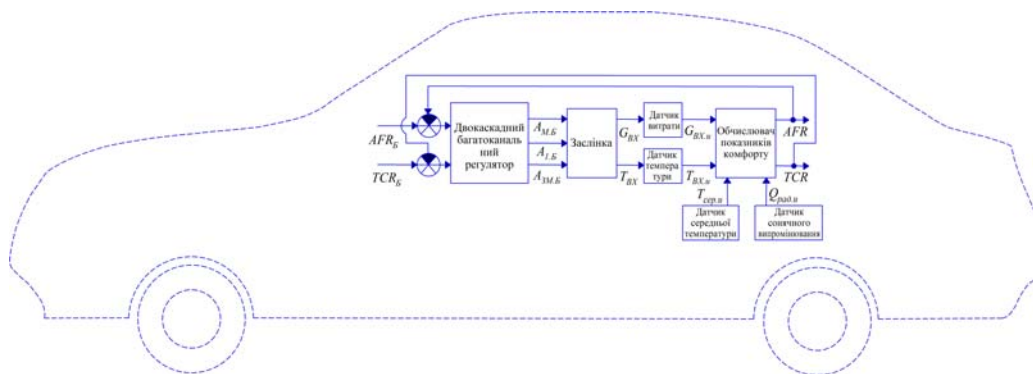


Рисунок 4 - Структура мехатронної системи управління кліматичним комфортом салону автомобіля на основі інверсної моделі і комплексу Пі-регуляторів

Джерело: розроблено авторами

Другим (внутрішнім) каскадом є блок корекції статичних характеристик нелінійного об'єкту управління. Він побудований на базі інверсної моделі об'єкту управління, справедливої для усталеного режиму. При цьому розглянута статична модель об'єкту, що характеризується системою нелінійних алгебраїчних рівнянь та виконана її декомпозиція. Для усіх її компонентів сформовані часткові інверсні моделі. При формуванні комплексу інверсних моделей компонентів об'єкту управління використані аналітичні методи інверсії алгебраїчних залежностей. Це є головною особливістю пропонованого підходу до створення систем управління станом мультизонного повітряного середовища салону автомобіля.

Вхідними впливами блоку корекції є два вектори: $U_{TCR} = (u_{TCR1}, u_{TCR2}, \dots, u_{TCRL})^T$ та $U_{AFR} = (u_{AFR1}, u_{AFR2}, \dots, u_{AFRL})^T$, які формуються на виходах комплексу Пі-регуляторів і використовуються для формування компонентів вектору $(A_{3M.B}, A_{L.B}, \dots, A_{M.B})$ впливів на виконавчу частину системи.

Розроблений алгоритм управління, використовуючи вектори U_{TCR} і U_{AFR} , дає можливість обчислити вектори $T_{EKB} = (\tau_{EKB.1.B}, \dots, \tau_{EKB.L.B})^T$ і $G_{BHX.B} = (g_{BHX.1.B}, \dots, g_{BHX.L.B})^T$. Їх компоненти входять до складу векторів T_{EKB} і G_{BHX} , компоненти яких $\tau_{EKB.l.B}$ і $g_{BHX.l.B}$ для усіх $l = \overline{1, L}$ обчислюються по формулах:

$$\tau_{EKB.l.B} = 2,2 \cdot u_{TCR.l} + 299; \quad (13)$$

$$g_{BHX.l.B} = \rho A_l u_{AFR.l} [1,15 + 0,018 \cdot (\tau_{EKB.l} - 299)] + 0,175 + 0,023 \cdot (\tau_{EKB.l} - 299). \quad (14)$$

Значимо, що компоненти вектора $G_{BX.B} = (g_{BX.1.B}, \dots, g_{BX.L.B})^T$ визначаються за допомогою рівняння:

$$G_{BX.B} = W^{-1} G_{BHX.B}. \quad (15)$$

Це дає можливість вичислити бажані значення $g_{ex.ij.\delta} = g_{ex.m.\delta}$ для усіх $i = 1, \dots, M$ і $j = 1, \dots, N$, задаючи $m = N(i-1) + j$. Компоненти векторів бажаних значень температур в регульованих зонах $T_{\delta} = (\tau_{l.\delta}, \dots, \tau_{L.\delta})^T$ і на виходах повітропроводів $T_{BHX.\delta} = (\tau_{BHX.1.\delta}, \dots, \tau_{BHX.L.\delta})^T$ обчислюються по формулах:

$$\tau_{l,\delta} = (\tau_{екв.l,\delta} - k_{ml} g_{ВНХ.l,\delta} - k_{cp,l} T_{сер.u} - k_{Ql} Q_{рад.u}) k_{Тl}^{-1}; \quad (16)$$

$$\tau_{ВНХ.l,\delta} = (\tau_{l,\delta} - T_{сер.u}) (1 - \exp(-\phi_{l,\delta}))^{-1} - T_{сер.u}, \quad (17)$$

де $T_{сер.u}$ і $Q_{рад.u}$ - виміряні датчиками середня температура робочого простору і потужність сонячної радіації, що поступає в нього;

$$\phi_{l,\delta} = g_{вух.l,\delta} g_{norm.l}^{-1}; \quad l = 1, \dots, L.$$

Вектор бажаних температур повітряних потоків, що виходять з отворів повітропроводів кліматичної мехатронної системи автомобіля, визначається по формулі:

$$T_{ВХ.\delta} = W_{\delta\delta}^{-1} T_{ВНХ.ж}, \quad (18)$$

де $W_{\delta\delta}$ - матриця, що має наступну структуру:

$$W_{\delta\delta} = \begin{pmatrix} g_{вух.1,\delta}^{-1} W_{11} g_{ex.1} & g_{вух.1,\delta}^{-1} W_{12} g_{ex.2} & \dots & g_{вух.1,\delta}^{-1} W_{1L} g_{ex.L} \\ g_{вух.2,\delta}^{-1} W_{21} g_{ex.1} & g_{вух.2,\delta}^{-1} W_{22} g_{ex.2} & \dots & g_{вух.2,\delta}^{-1} W_{2L} g_{ex.L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{вух.L,\delta}^{-1} W_{L1} g_{ex.1} & g_{вух.L,\delta}^{-1} W_{L2} g_{ex.2} & \dots & g_{вух.L,\delta}^{-1} W_{LL} g_{ex.L} \end{pmatrix}. \quad (19)$$

Бажані температури в камерах змішувачів і масові витрати нагрітого повітря, що поступає в них, обчислюються за допомогою рівнянь:

$$T_{zi,\delta} = \tau_{ex.q,\delta}, \quad g_{zap.i,\delta} = g_{\sum i,\delta} (T_{ci,\delta} - T_{хол.i}) (T_{zap.i} - T_{хол.i})^{-1}, \quad (20)$$

$$\text{де } q = N(i-1) + j; \quad g_{\sum i,\delta} = \sum_{j=1}^N g_{ex.ij,\delta}.$$

Розрахункове значення тиску повітря в камері змішувача $p_{ci,*}$, в режимі, що встановився, служить основою для обчислення регульованих приводами бажаних площ отворів в повітропроводах і на входах камер змішувачів:

$$\begin{cases} A_{E.ij,\delta} = A_{ij,\delta} [1 - r_{ij} A_{ij,\delta}^2 p_a C^2]^{-\frac{1}{2}}; \\ A_{E.zap.j,\delta} = g_{zap.j,\delta} [2 p_{ci,*} (p_n - p_{ci,*}) (RT)^{-1}]^{-\frac{1}{2}}. \end{cases} \quad (21)$$

$$\text{де } A_{ij,\delta} = g_{ВХ.ij,\delta} \left[C (p_{ci,*} - p_a)^{\frac{1}{2}} \right]^{-1}, \quad C - \text{параметр системи.}$$

Підсумком обчислень, що виконуються блоком корекції, є бажані кути повороту заслінок мехатронної системи мікроклімату салону автомобіля, які визначаються за допомогою системи рівнянь, що реалізуються за допомогою стежачих приводів:

$$\begin{cases} \alpha_{ij,\delta} = \alpha_{\max} A_{E.ij,\delta} A_{E.ij,\delta}^{-1}; \\ \alpha_{зм.i,\delta} = \alpha_{\max} A_{E.zap.j,\delta} A_{E.зм.max}^{-1}. \end{cases} \quad (22)$$

Головна перевага управління мехатронною системою мікроклімату салону автомобіля полягає в тому, що завдяки введенню блоку корекції в усталеному режимі забезпечується «розв'язка» каналів управління і зниження впливу нелінійностей. Це стабілізує значення коефіцієнтів передачі усіх каналів скоректованої системи, які

стають близькими до одиниці. Запропоноване дозволяє істотно спростити структуру першого каскаду регулятора і методику налаштування його параметрів. Значення параметрів ПІ-регуляторів доцільно вибирати з умови забезпечення однакових динамічних властивостей усіх каналів системи управління. Це важливо для узгодженості управління по різних каналах. Перевагою розробленої структури мехатронної системи мікроклімату салону автомобіля є двохкаскадний регулятор на основі інверсної моделі і комплексу ПІ-регуляторів.

Дослідження динамічних властивостей мехатронної системи мікроклімату салону автомобіля із запропонованими засобами управління проводилося на основі комп'ютерного моделювання. Результати аналізу роботи комп'ютерної моделі показали, що програма розрізняє статичні і динамічні властивості реального об'єкту.

Досліджувана система управління станом мультизонного повітряного середовища в салоні автомобіля має 4 камери змішувачів і 18 зон регулювання, що мають відношення до водія і пасажирів. Передусім, виконано аналіз властивостей скоректованого об'єкту, що є комбінацією об'єкту управління з блоком корекції. Результати обчислювальних експериментів з комп'ютерною моделлю скоректованого об'єкту управління показують, що при поданні на його входи ступінчастих задаючих дій $AFR_{1,6}, \dots, AFR_{18,6}$, що дорівнюють 1 в початковий момент часу і 2, починаючи з 2с. Поведінка підсистеми в розімкненому стані характеризується плавними перехідними процесами (рис. 6).

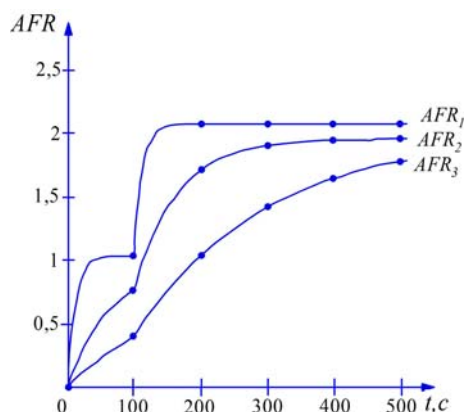


Рисунок 6 - Процеси регулювання показників комфорту мехатронної системи мікроклімату салону автомобіля в розімкненій підсистемі, що містить об'єкт управління і блок корекції
Джерело: розроблено авторами

Встановлено, що взаємовплив каналів в скоректованому об'єкті управління є незначним. Завдяки дії блоку корекції реакції, обумовлені перехресними зв'язками, не перевищують 1% від прикладеної ступінчастої дії. Це свідчить про ефективність розв'язки каналів системи управління, які можна вважати практично автономними. Похибки регулювання показників комфорту для усіх 18 зон в усталеному режимі складають від 2 до 11 % від бажаного значення. Проте, тривалість перехідних процесів в різних каналах сильно розрізняється та лежить в діапазоні 150...600 с і істотно перевищує допустимі значення.

Результати математичного моделювання замкнутої системи, що містить багатоканальний двохкаскадний регулятор з налагодженими ПІ-регуляторами (рис. 7) при тих же задаючих діях свідчать про скорочення часу перехідного процесу в різних каналах системи від 7,5 до 24 разів. Тривалість перехідних процесів лежить в діапазоні від 6 до 10 с, і не перевищує необхідного значення, що дорівнює 10 с.

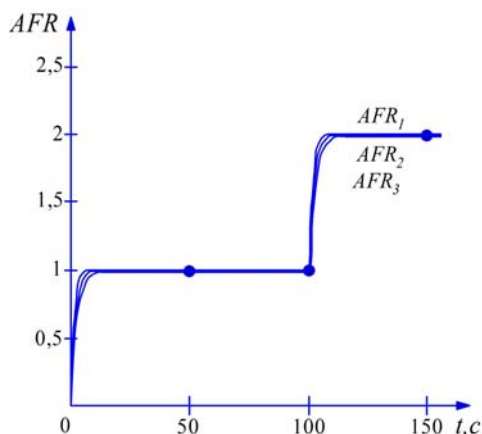


Рисунок 7 - Процеси регулювання показників комфорту мехатронної системи мікроклімату салону автомобіля в замкнутій системі з двохкаскадним регулятором

Джерело: розроблено авторами

Завдяки дії інтегральних складових Пі-регуляторів погрішності відтворення показників комфорту в усталеному режимі за відсутності збурюючої дії виявилися практично рівними нулю. При дії сонячної радіації вони не перевищують 0,5%. Це свідчить про високу ефективність пропонувананих засобів управління і підвищення ефективності функціонування мехатронної системи мікроклімату салону автомобіля.

Висновки.

1. Розроблено мехатронний підхід замикання систем за показниками комфорту і використання в регуляторі інверсної статичної моделі нелінійного об'єкту управління і комплексу пропорційно-інтегральних регуляторів, що дає можливість підвищити точність і швидкодію систем управління кліматичним комфортом мультizonного робочого простору салону автомобіля.

2. Запропоновано структуру мехатронної системи управління з комп'ютерним багатоканальним двохкаскадним регулятором на основі нелінійних статичних інверсних моделей об'єкту управління, що сприяє істотному підвищенню точності і швидкості протікання процесів управління комфортом мультizonного робочого простору салону автомобіля та послабленню прояву ефектів нелінійності і перехресних зв'язків.

3. Підвищено якість функціонування системи управління за рахунок застосування показників кліматичного комфорту, які враховують сукупний вплив на кліматичний комфорт в мультizonному робочому просторі: різновиди температури і швидкості руху повітряних потоків в контрольованих зонах, фізіологічні особливості людини.

4. Розроблено комп'ютерну модель яка є ефективним засобом дослідження динамічних властивостей мехатронних систем управління кліматичним комфортом в мультizonному робочому просторі.

5. Запропоновано принципи доцільного формування багатоканального регулятора системи на основі інверсних моделей, що враховують статичні властивості нелінійного об'єкту управління та підвищують точність, швидкодію і узгодженість реакцій каналів системи управління кліматичним комфортом салону автомобіля.

Список літератури

1. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. та ін. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія. Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.
2. Аулін В.В., Голуб Д.В. Обґрунтування механізму функціонування мехатронної системи склоочиснення автомобіля. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип.

- 7(38). Ч.1. С. 167-176.
3. Аулін В.В., Голуб Д.В., Замуренко А.С. Розробка математичної моделі мехатронного модуля системи рульового управління вантажних автомобілів. *Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем: матеріали конф. V Міжнар. наук.-практ. конф., 19-21 квіт. 2023 р., м. Кропивницький: ЦНТУ, 2023. С. 9-11.*
 4. Войчишин Ю.І., Круць Т.І., Зінько Р.В., Горбай О.З. Дослідження мікроклімату салону міського автобуса. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2020. №1(14). С. 49-57.*
 5. Лук'яненко В.М., Галич І.В. Аналіз вимог до мікроклімату на робочому місці оператора мобільної сільськогосподарської техніки. *Вісник Харківського національного технічного університету сільськогосподарства ім. П. Василенка. 2010. Т. 2, Вип. 93. С. 232-247.*
 6. Куліков Ю.А., Грибніченко М. В., Гончаров А. В. Системи охолодження, вентиляції та опалення автомобілів: монографія. Луганськ: СТУ ім. В. Даля, 2006. 241 с.
 7. Nishant Agarwall, Ekhlak Khan. Automobile Air Conditioning System. *International Research Journal of Engeneering and Technology (IRJET)*, 05 Issue 06 June, 2018. P. 2121-2125.
 8. Rați S., Laza I., Alexa V., Cioată V. Practical studies on car air conditioning systems. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 393 (1):012073, 2018. 6 p.
 9. Terry J. Hendricks. Optimization of vehicle air conditioning systems using transient air conditioning performance analysis. National Renewable Energy Laboratory. Copyright 2001 Society of Autmotive Engeneers, 2001. 10 p.
 10. Şaban Ünal. An Experimental Study on a Bus Air Conditioner to Determine its Conformity to Design and Comfort Conditions. *Yildiz Technical University Press, 2017. P.1089-1101.*

References

1. Aulin, V.V., Holub, D.V. & Hryn'kiv, A.V. et al. (2017). Metodolohichni i teoretychni osnovy zabezpechennia ta pidvyschennia nadijnosti funktsionuvannia avtomobil'nykh transportnykh system [Methodological and theoretical bases of maintenance and increase of reliability of functioning of automobile transport systems]. Kropyvnyts'kyj: Vydavnytstvo TOV "KOD" [in Ukrainian].
2. Aulin, V.V. & Holub, D.V. (2023). Obgruntuvannia mekhanizmu funktsionuvannia mekhatronnoi systemy skloochyschennia avtomobilia [Justification of the mechanism of operation of the mechatronic system of car windshield cleaning]. *Tsentr'al'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky - Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences, 7(38), 1, 167-176* [in Ukrainian].
3. Aulin, V.V., Holub, D.V. & Zamurenko, A.S. (2023). Rozrobka matematychnoi modeli mekhatronnoho modulia systemy rul'ovoho upravlinnia vantazhnykh avtomobiliv [Development of a mathematical model of the mechatronic module of the truck steering system]. Increasing the reliability and efficiency of machines, processes and systems: *V Mizhnar. nauk.-prakt. konf.(19-21 kvit. 2023 r.) - V International science and practice conf. (pp. 9-11)*. Kropyvnyts'kyj: TsNTU [in Ukrainian].
4. Vojchyshyn, Yu.I., Kruts', T.I., Zin'ko, R.V. & Horba, O.Z. (2020). Doslidzhennia mikroklimatu salonu mis'kohoho avtobusa [Study of the microclimate of the interior of a city bus]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti - Modern technologies in mechanical engineering and transport, 1(14), 49-57* [in Ukrainian].
5. Luk'ianenko, V.M. & Halyc, I.V. (2010). Analiz vymoh do mikroklimatu na robochomu mistsi operatora mobil'noi sil'skohospodars'koi tekhniky [Analysis of microclimate requirements at the workplace of the operator of mobile agricultural machinery]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil'skohoho hospodarstva im. P. Vasylenka - Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after P. Vasylenko, 2, 93, 232-247* [in Ukrainian].
6. Kulikov, Yu.A., Hrybinichenko, M. V. & Honcharov, A. V. (2006). *Systemy okholodzhennia, ventyliatsii ta opalennia avtomobiliv [Systems of cooling, ventilation and heating of cars]*. Luhans'k: SNU im. V. Dalia [in Ukrainian].
7. Nishant Agarwall, Ekhlak Khan (2018). Automobile Air Conditioning System. *International Research Journal of Engeneering and Technology (IRJET)*, 05 Issue 06 June. P. 2121-2125.
8. Rați, S., Laza I., Alexa, V., Cioată V. (2018) Practical studies on car air conditioning systems. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 393 (1):012073. 6 p.
9. Terry J. Hendricks (2001). Optimization of vehicle air conditioning systems using transient air conditioning performance analysis. National Renewable Energy Laboratory. Copyright 2001 Society of Autmotive Engeneers. 10 p.
10. Şaban Ünal (2017). An Experimental Study on a Bus Air Conditioner to Determine its Conformity to Design and Comfort Conditions. *Yildiz Technical University Press. P.1089-1101.*

Holub Dmytro, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Aulin Viktor**, Prof., DSc.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Mathematical model of improving the quality of control of the mechatronic system of the car interior microclimate

An analysis of studies of microclimate control systems in the car interior was carried out and the requirements for climatic comfort of the space surrounding a person during the operation of the vehicle were formulated. The necessity of forming a climate comfort control system as a mechatronic system of a car, which has increased speed, consistency and accuracy of adjusting the values for its determination, is substantiated.

A list of indicators is proposed that most accurately take into account the cumulative effect on climatic comfort in a multi-zone working space and allow to improve the quality of functioning of the mechatronic microclimate control system of the car interior.

A mathematical model for improving the quality of control of the mechatronic system of the car interior microclimate has been developed. The model describes a multidimensional nonlinear electropneumomechanical control object and its structure.

The dynamic properties of digital tracking drives based on direct current collector motors, which are part of the executive part of the mechatronic system for controlling the climate comfort of the car interior, were studied.

An algorithm for implementing the model in the Matlab Simulink environment has been developed, which allows for detailed computer modeling of the control processes of the mechatronic climate comfort system in order to increase its accuracy and speed.

The principles of forming a multi-channel regulator of a mechatronic system based on inverse models are proposed. These principles reflect the static properties of the non-linear control object and increase the coherence of the reactions of the channels of the car interior microclimate control system.

mechatronic system, modeling, microclimate, car interior, automatic control, regulator, digital tracking drive

Одержано (Received) 12.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 24.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 621.891

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.78-87](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.78-87)

А.Б. Гупка¹, доц., канд. техн. наук, **В.В. Аулін²**, проф., д-р техн. наук, **В.З. Гудь¹**, проф., д-р техн. наук, **І.Г. Ткаченко¹**, доц., канд. техн. наук, **Л.М. Слободян¹**, доц., канд. техн. наук, **Д.В. Міронов¹**, доц., канд. техн. наук

¹*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна*

²*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

e-mail : Gupkab@gmail.com

Дослідження впливу змінного електромагнітного поля на трибологічні властивості моторних оливо

Проаналізовано основні причини зниження експлуатаційної надійності двигунів автомобілів під час пуску. Систематизовано фактори які впливають на появу задирів на робочих поверхнях деталей трибоспряджень, характер їх зношування. Запропонована конструкція оливозакачуючого пристрою для обробки моторних оливо змінним електромагнітним полем з метою покращення їх експлуатаційних властивостей. Проведено комплекс досліджень по впливу змінного електромагнітного поля на в'язкісно-температурні характеристики моторних оливо.

двигун, знос, задир, моторна олива, змінне електромагнітне поле

Постановка проблеми. Однією із основних проблем автомобілебудування є підвищення експлуатаційної надійності та технічного рівня автомобілів, забезпечення

високого рівня експлуатаційних властивостей та технічних характеристик трибоспрямижень їх деталей. Дані проблеми безпосередньо потребують необхідності підвищення економічності, збільшення ресурсу систем та агрегатів зниження трудоємості і тривалості операцій технічного обслуговування автомобілів і їх розв'язок залежить від ефективного і короткочасного пуску двигуна за умов низьких температур навколишнього середовища, коли автомобілі зберігаються на відкритих площадках. Забезпечення короткочасного і надійного пуску холодних двигунів у зимовий період експлуатації автомобілів потребує комплексних науково-практичних досліджень.

Короткочасний і надійний пуск холодних двигунів полегшує працю водіїв і збільшує тривалість нормальної експлуатації автомобілів на 5...10%, знижує витрати на застосування засобів підігріву двигунів у авторемонтних підприємствах, виготовлення, встановлення і експлуатацію індивідуальних автомобільних підігрівачів на заводах-виробниках.

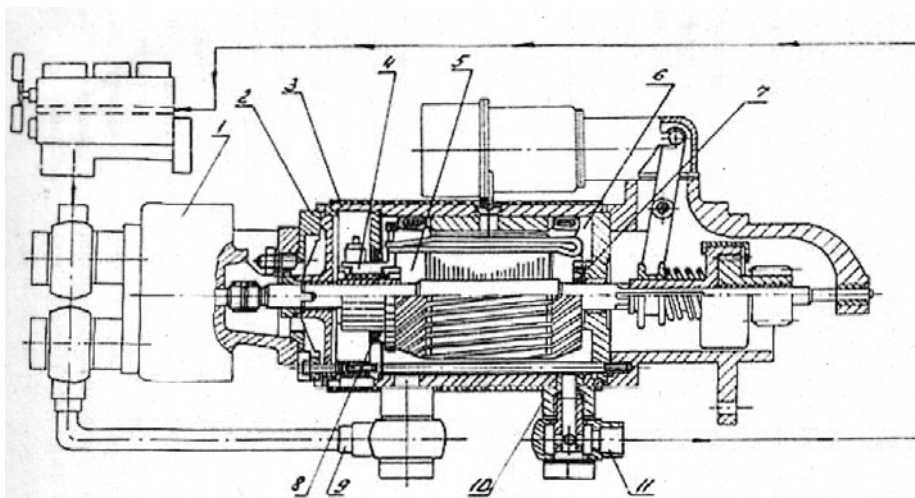
Зниження експлуатаційної надійності двигунів під час пуску, стримує вирішення цієї проблеми через виникнення задири на робочих поверхнях трибоспрямижень та підвищеним зносом підшипників колінчастого вала і турбокомпресора, гільз циліндрів та поршневих кілець, кулачків та штовхачів внаслідок погіршення умов їх роботи та зміни режиму тертя.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ряд дослідників [1-3] вважають, що за один пуск і прогрів холодного двигуна, гільзи циліндрів зношуються на величину, яка відповідає їх зносу при нормальній роботі двигуна, за пробіг 180...210 км і більше. Зноси основних деталей при пуску та прогріві холодного двигуна складають понад 60% загальних їх зносів за період експлуатації автомобіля [4-6]. В той час в ряді робіт [7-9] показано, що пускові зноси гільз циліндрів складають всього 5... 10% від їх загального зносу.

Визначено, що в пусковий період двигуна проявляються основні види зношування гільз циліндрів: корозійно-механічний; молекулярно-механічний; ерозійний; абразивний та інші. Встановлено, що в період пуску та прогріву холодних двигунів основним видом зношування гільз циліндрів є корозійно-механічне [10], яке виникає під дією кислот, які утворюються під час конденсації водяних парів та інших продуктів згоряння пального при низьких температурах стінок гільз циліндрів.

Постановка завдання. Метою даної роботи є розробка методики дослідження впливу змінного електромагнітного поля на протизношувальні і протизадирні властивості моторних оливи із розробкою спеціального оливозакачуючого пристрою.

Виклад основного матеріалу. Попередньо проведенні дослідження свідчать, що, тільки за рахунок вдосконалення конструкції системи мащення двигуна автомобіля неможливо добитися повного запобігання запізнення надходження оливи у трибоспрямиження двигуна в періоди його пуску і прогріву [11]. Основним недоліком оливозакачуючого насоса є необхідність одночасного використання підігріву для зниження в'язкості оливи вже при температурі навколишнього середовища 278...288 К, яка вище температури її застигання, а також використання додаткового електродвигуна для приводу оливного насоса. Виконання цієї умови можливе тільки при використанні на двигуні автомобіля оливозакачуючого пристрою, який встановлюється на двигуні із розгалуженою системою мащення, і приймає силове навантаження зразу після його пуску. Проведений комплекс теоретичних і конструкторських розробок дозволив спроектувати і виготовити принципово новий оливозакачуючий пристрій (рис. 1).



1 - оливозакачуючий насос; 2 - кришка; 3 – корпус стартера; 4 - колектор; 5 – вал якоря стартера; 6 – порожнина для обробки оливи електромагнітним полем; 7, 8 - сальники; 9, 11 - нагнітаючий трубопровід; 10 - штуцер

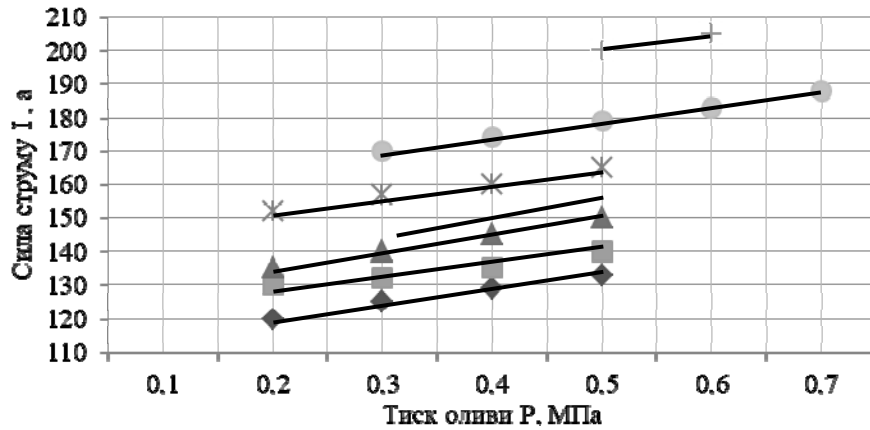
Рисунок 1 – Конструкція оливозакачуючого пристрою

Джерело: розроблено авторами

Оливозакачуючий пристрій складається із шестеренчатого оливного насоса і стартера. Насос 1 кріпиться до кришки 2 корпус стартера 3 зі сторони колектора 4 і приводиться в дію валом якоря стартера 5. Внутрішня порожнина 6 корпусу стартера 3 герметизована за рахунок встановлення на колектор 4 і вал якоря стартера 5 сальників 7 і 8. Порожнина 6 корпусу стартера 3 з'єднана з порожниною нагнітання оливозакачуючого насоса 1 трубопроводом 9, а з головною магістраллю системи мащення - трубопроводом 11.

Для включення оливозакачуючого пристрою перед пуском двигуна, без вводу в зачеплення привідної шестерні стартера із зубчатим вінцем маховика, встановлено додаткове реле включення електродвигуна. Принцип роботи оливозакачуючого пристрою. Перед пуском двигуна, з допомогою додаткового реле включається електродвигун стартера і заблокований з ним оливозакачуючий пристрій. Оливозакачуючий пристрій подає оливу із картера двигуна в герметизований корпус стартера, де вона знижує свою в'язкість за рахунок обробки поперечним змінним електромагнітним полем, електромагнітного нагріву деталей і внутрішнього тертя оливи. Змінне електромагнітне поле поляризує молекули оливи, що призводить до пружного зміщення зарядів в них і до орієнтації постійних диполів. Внаслідок такої обробки понижується в'язкість оливи в корпусі стартера. Оброблена олива, з пониженою в'язкістю, подається оливозакачуючим пристроєм у головну магістраль, і після досягнення в ній тиску 0,15 МПа, здійснювався пуск двигуна шляхом включення основного реле стартера. До основних переваг розробленого оливозакачуючого пристрою відносяться: відсутність окремого електродвигуна для приводу оливозакачуючого насоса; використання електродвигуна стартера в якості електромагнітного нагрівача оливи.

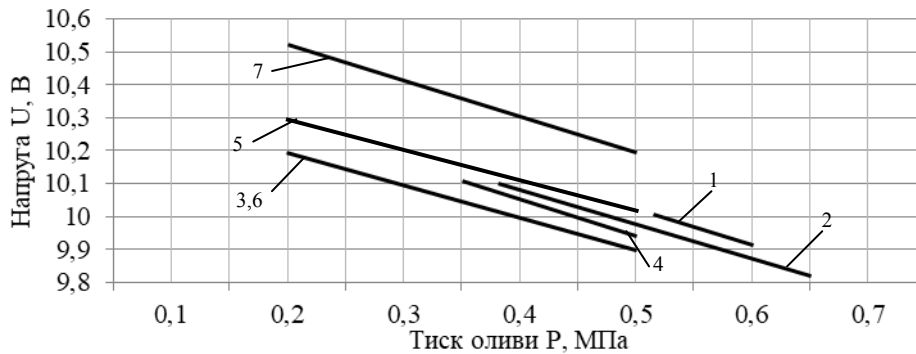
Зміна подачі насоса, струму в колі і напруги на клеммах стартера в залежності від тиску оливи при виході та різній її в'язкості показано на рисунках 2 і 3. З аналізу кривих можна зробити висновок, що із збільшенням тиску оливи струм збільшується а напруга знижується.



◆ - 1; ■ - 2; ▲ - 3; □ - 4; x - 5; ● - 6; + - 7 - в'язкість мастила відповідно 4445; 2442; 1451; 2442; 900; 895; 150 мкм²/с

Рисунок 2 – Зміна сили струму I в електричному колі на клемі маслозакачуючого пристрою в залежності від тиску оливи P при її різній в'язкості

Джерело: розроблено авторами



1,2,3,4,5,6,7 – в'язкість мастила відповідно 4445; 2442; 1451; 2442; 900; 895; 150 мкм²/с

Рисунок 3 – Зміна напруги U в електричному колі на клемі маслозакачуючого пристрою в залежності від тиску оливи P при її різній в'язкості

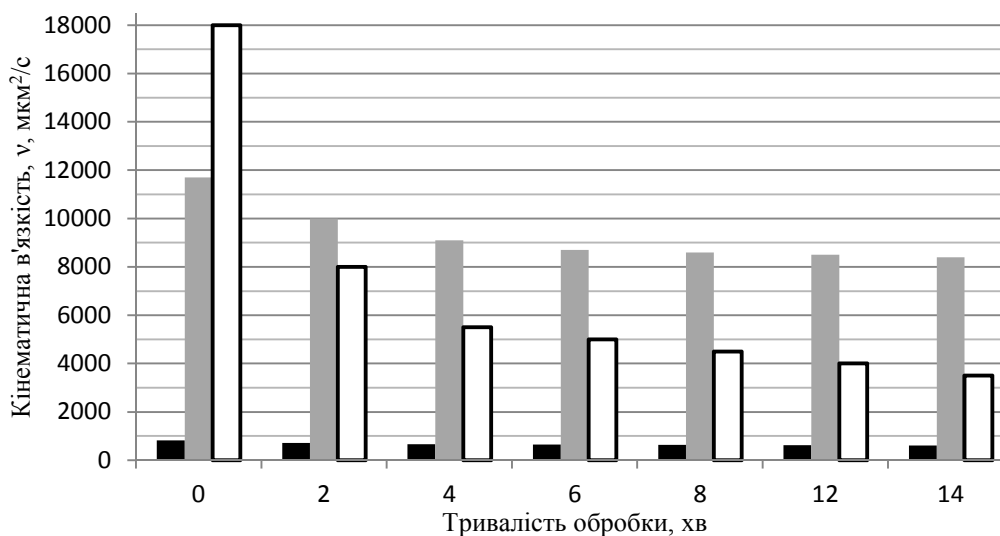
Джерело: розроблено авторами

Оскільки в оливозакачуючому пристрої моторні оливи піддаються механічному, тепловому і електромагнітному впливу, було досліджено вплив цих факторів на зміну їх властивостей. Досліджувались оливи М-6ВЗ; М-10Г; М-10Г₂ - еталонна. Обробку оливи змінним електромагнітним полем у оливозакачуючому пристрої проводили на спеціальному стенді, який дозволяє імітувати роботу двигуна автомобіля в період його пуску [12]. Після того, як оливу залили в бак установки для подальшої обробки, її прокачували в змінному електромагнітному полі оливозакачуючим пристроєм на протязі відповідно 3, 6, 9 і 12хв. Після електромагнітної обробки оливи визначали їх наступні фізико-хімічні властивості: температуру застигання K; кінематичну в'язкість, мкм²/с при температурах відповідно 373, 323, 293, 273 і 258 K; вміст неспалимих механічних домішок, %; вміст заліза, %; зольність.

Для оливи, які підлягали обробці змінним електромагнітним полем на протязі 9...12 хв, визначали їх протизношувальні і протизадирні властивості. Дослідження проводили на спеціальній установці, яка відтворює роботу трибоспряження кулачок-штовхач автомобіля. Крім цього, проводили порівняльні дослідження в'язкісно-температурних, фізико-хімічних, протизношувальних і протизадирних властивостей свіжих оливи, які не оброблялись змінним електромагнітним полем. Виявлювали

характерне зниження в'язкості олив в областях низьких температур, при обробці їх змінним електромагнітним полем, а також помітне зниження їх в'язкості, яке починається при температурах 293...323 К. При більш високих температурах в'язкісно-температурні характеристики олив, оброблених і не оброблених змінним електромагнітним полем, практично однакові. Зафіксовано, що із пониженням температури відмінності в'язкісно-температурних характеристик свіжих олив, зростають. Із співставлення аналогічних характеристик необроблених олив, характер дії на них змінного електромагнітного поля, значно залежить від органічної основи оливи і композиції присадок в ній, а також від тривалості процесу їх обробки. Визначено, що при обробці змінним електромагнітним полем протягом 12 хв оливи М-10Г₂ її в'язкість при температурі 288 К знижується в 3,6 рази (з 17220 до 4796 мкм²/с), оливи М-6ВЗ в 1,3 рази (з 753 до 590 мкм²/с), а в'язкість оливи М-10Г, при температурі 283 К, знижується в 1,2 рази.

Залежності зменшення в'язкості досліджуваних олив при температурі 258 К, від часу дії змінного електромагнітного поля приведені на рис. 4. По характеру зміни в'язкісно-температурних характеристик, досліджуваних олив, можна припустити, що подальше збільшення часу дії змінного електромагнітного поля не призводить до суттєвого зниження їх в'язкості.



■ – олива М-6ВЗ, ■ – олива М-10Г, □ олива М-10Г₂

Рисунок 4 – Залежності зміни кінематичної в'язкості олив, при температурі 258 К, від тривалості їх обробки змінним електромагнітним полем

Джерело: розроблено авторами

З отриманих результатів дослідження (рис. 4) випливає, що оптимальний інтервал часу дії змінного електромагнітного поля для досліджуваних олив складає 9...12 хв, при цьому індекс їх в'язкості збільшується у 1,1...1,5 рази.

Відзначено також, що дані властивості олив не є стабільними і з часом наближаються до в'язкісно-температурної характеристики необроблених олив. В'язкість оливи М-6ВЗ, від часу обробки змінним електромагнітним полем, практично не змінюється. Протягом, двох діб в'язкість оливи М-6ВЗ при температурі 258 К збільшується тільки на 19 мкм²/с. Це дає підстави твердити, що дана олива найменш чутлива до дії змінного електромагнітного поля і найбільш стабільно зберігає набуті властивості. При значній тривалості часу після обробки (60) діб змінним електромагнітним полем, в'язкісні характеристики оливи М-6ВЗ, при від'ємних

температурах залишаються на більш низькому рівні в даному діапазоні температур (табл.1).

Таблиця 1 - В'язкісно-температурні властивості оливи М-6ВЗ, через 60 діб після обробки змінним електромагнітним полем, мкм²/с

Температура, К	258	273	323	373
Оброблена електромагнітним полем	1283,5	330,6	22,6	6,14
Необроблена електромагнітним полем	1355,6	332,8	22,8	6,24

Джерело: розроблено авторами

Виявлено, що досліджуванні оливи оброблені змінним електромагнітним полем мають більш низькі температури застигання в залежності від час його дії (табл.2.)

Таблиця 2 - Температури застигання досліджуваних олив в залежності від тривалості їх обробки змінним електромагнітним полем

Тривалість обробки змінним електромагнітним полем, хв.	Температура застигання оливи, К		
	М-6ВЗ	М-10Г	М-10Г ₂
0	231	253	257
3	227	253	253
6	227	253	253
9	228	253	252
12	229	253	250

Джерело: розроблено авторами

Температури застигання олив, оброблених змінним електромагнітним полем, не є стабільними у часі. Так, температура застигання оливи М-6ВЗ одразу після обробки змінним електромагнітним полем, на протязі 6 хв, складає 227 К, а після тривалої електромагнітної обробки, протягом 9 і 12 хв, відповідно 228, 229 К, в той час, як необробленої оливи 226 К.

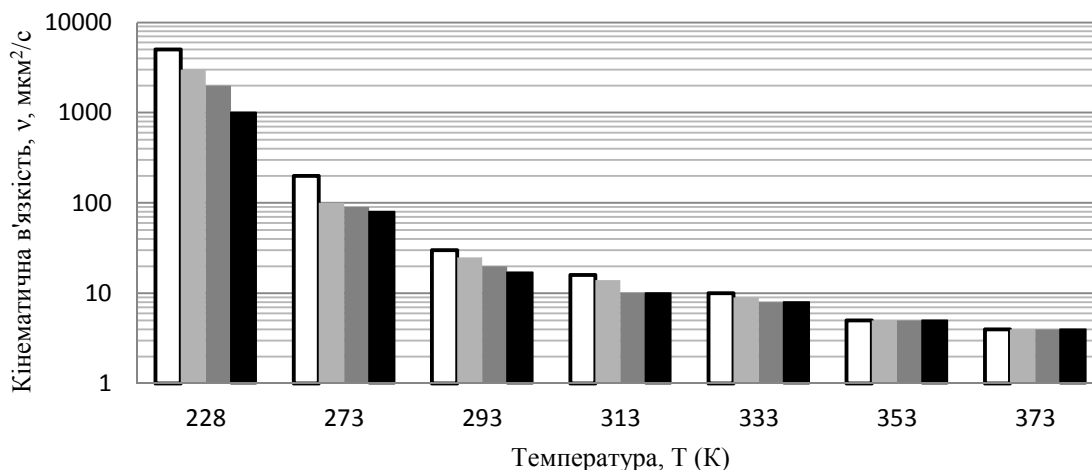
Результати фізико-хімічного аналізу досліджуваних олив приведені в табл.3. Зольність свіжих оброблених олив практично не змінилась в порівнянні з необробленими, які були в експлуатації. Дещо збільшилась зольність олив М-6ВЗ і М-10Г. Зольність обробленої електромагнітним полем оливи М-10Г₂, яка експлуатувалась – понизилась. Наявність заліза у свіжих оброблених оливах - відсутня, а в оливах, які експлуатувались - до 2-х раз менше, у порівнянні із необробленими оливами. Вміст механічних домішок у свіжих оброблених оливах, в порівнянні з необробленими, зменшується, а в оливах, які експлуатувались - дещо збільшується.

Таблиця 3 – Характеристики досліджуваних олив оброблених (О) та необроблених (НО) змінним електромагнітним полем

Характеристики досліджуваних олив		Олива М-6ВЗ				Олива М-10Г				Олива М-10Г ₂			
		Свіжа		Спрацьована		Свіжа		Спрацьована		Свіжа		Спрацьована	
		О	НО	О	НО	О	НО	О	НО	О	НО	О	НО
Індекс в'язкості		137	139	138	139	94	138	98	94	91	102	105	101
Зольність, %		0.89	0.91	1.87	2.11	1.35	1.34	1.84	1.91	0.94	0.95	1.50	1.25
Вміст заліза, %		0.003	0.001	0.918	0.642	0.001	0	0.369	0.365	0.001	0	0.332	0.154
Механічні домішки, %	Загальні	0.003	0	0.495	0.625	0.075	0	0.319	0.283	0.025	0.015	0.279	0.155
	Несталімі	0	0	0.311	0.432	0.042	0	0.196	0.219	0.006	0.136	0.232	0.105
Лужне число,		6.83	7.63	5.81	11.02	9.73	10.53	8.15	8.55	11.23	10.78	11.86	10.07

Джерело: розроблено авторами

В'язкісно-температурні характеристики олив М-6ВЗ, М-10Г₂ і М-10Г визначались через різний проміжок часу після їх обробки змінним електромагнітним полем. Як приклад на рис. 5 приведено результати досліджень для оливи М-10Г₂. Характерно, що набуті властивості досліджуваних олив не є стабільними, і з часом наближаються до в'язкісно-температурних характеристик не оброблених оливи.



□ – необроблена; □ – через 10 діб після обробки змінним електромагнітним полем; □ – через 3 доби після обробки змінним електромагнітним полем; ■ – безпосередньо після обробки змінним електромагнітним полем

Рисунок 5 - Зміна кінематичної в'язкості оливи М-10Г₂ від температури з урахуванням тривалості перерви після дії на неї змінного електромагнітного поля

Джерело: розроблено авторами

Для визначення протизношувальних і протизадирних властивостей досліджуваних олив, оброблених змінним електромагнітним полем їх випробовували на спеціальній установці, яка імітує роботу трибоспряження «кулачок-штовхач». При використанні олив, які пройшли обробку змінним електромагнітним полем,

зношування штовхачів має тенденцію до пониження, в порівнянні з роботою на необроблених оливах. Тривалість дослідження становило 14 год. Зношування кулачків при роботі на оброблених змінним електромагнітним полем, оливах зменшується в 1,2...1,5 рази у порівнянні з роботою на необроблених оливах. Крім цього, робочі поверхні штовхачів та кулачків при роботі на оливах, оброблених змінним електромагнітним полем, практично не мають лакових відкладень, в той час, як при їх роботі на необроблених оливах поверхні покриті шаром лаку. Величини зносу кулачків приведені в таблиці 4, а штовхачів – в таблиці 5.

Таблиця 4 - Знос кулачків в середовищі олив оброблених змінним електромагнітним полем (О), та олив необроблених електромагнітним полем (НО)

Олива	М-6ВЗ		М-10Г		М-10Г ₂	
	О	НО	О	НО	О	НО
Знос кулачків, г.	0,846	0,990	0,277	0,283	0,302	0,444

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 5 – Знос штовхачів при роботі в середовищі олив оброблених змінним електромагнітним полем (О), та олив необроблених електромагнітним полем (НО)

Тривалість випробувань, год	Олива М-6ВЗ		Олива М-10Г		Олива М -10Г ₂	
	О	НО	О	НО	О	НО
	Знос штовхачів, г					
2	0,04	0,05	0,02	0,033	0,02	0,025
4	0,062	0,078	0,035	0,04	0,04	0,042
6	0,083	0,082	0,043	0,045	0,053	0,053
8	0,1	0,09	0,05	0,049	0,062	0,06
10	0,115	0,1	0,055	0,051	0,07	0,061
12	0,119	0,115	0,059	0,052	0,075	0,063
14	0,123	0,119	0,062	0,053	0,08	0,066

Джерело: розроблено авторами

Висновки.

1. Проведенні експериментальні дослідження показали, що гідравлічні, електромеханічні і теплові характеристики оливозакачуючого пристрою визначенні в процесі моторних випробувань підтвердили доцільність його використання в системі мащення автомобільного двигуна.

2. Для свіжих олив, які оброблялись змінним електромагнітним полем, характерне зниження їх параметрів в'язкості в області низьких температур.

3. Ефективність дії змінного електромагнітного поля залежить від органічної основи оливи, наявності присадок в ній, тривалості його дії.

4. Відмічено позитивний вплив змінного електромагнітного поля на протизносні та протизадирні властивості олив при дослідженні зносостійкості робочих поверхонь трибо спряження «кулачок-штовхач».

5. Підтверджено, що збільшення тривалості часу обробки олив змінним електромагнітним полем призводить до зниження температури їх застигання.

Список літератури

1. Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В. Підвищення експлуатаційної надійності машин шляхом модифікування моторної оливи. *Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва*. 2010. Вип. 100. С. 127-133.

2. Voronin S. V., Dunaev A. V. Effects of electric and magnetic fields on the behavior of oil additives. *Journal of friction and wear*. 2015. Vol. 36, no. 1. P. 33–39. URL: <https://doi.org/10.3103/s1068366615010158>.
3. Трофімов І. Л. Theoretical justification of influence electric field on antiwear properties of lubricants. *Technology audit and production reserves*. 2012. Vol. 6, no. 3(8). P. 13–14. URL: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2012.5514>.
4. Вплив модифікування моторної та трансмісійної оливи композиційними добавками на підвищення ресурсу транспортних машин / Лисенко С. В та ін. *Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем*: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції 13-15 квітня 2022 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С. 170-173.
5. Aleutdinova, M. I., Fadin, V. V., Kolubaev, A. V., & Aleutdinova, V. A. Contact characteristics of metallic materials in conditions of heavy loading by friction or by electric current. *Friction and Wear Research (FWR)*. 2014. № 2. 22-28.
6. Dunaev A. V., Pustovoy I. F. Experience of using electric effects on engine oils and friction in them. *Journal of machinery manufacture and reliability*. 2020. Vol. 49, no. 11. P. 980–989. URL: <https://doi.org/10.3103/s1052618820110035>.
7. A study of the effect of electrostatic processing on performance characteristics of axle oil / P. Konovalov et al. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2018. Vol. 1, no. 1 (91). P. 4–12. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.120977>.
8. Study of electrohydrodynamic properties in insulating liquids and research of an alternative mixture to mineral oil for energy transformers / J. Rouabeh et al. *Journal of electrostatics*. 2022. Vol. 115. P. 103684. URL: <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2022.103684>.
9. Tarantsev K. V., Tarantseva K. R. Influence of electric field frequency on the process of destruction of water-oil emulsions in electric dehydrators. *Chemical and petroleum engineering*. 2017. Vol. 53, no. 7-8. P. 515–518. URL: <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0373-z>.
10. Трофімов І. Л. Моделювання впливу електричного поля на протизносні властивості мастильних матеріалів. *Problems of friction and wear*. 2013. № 59. URL: <https://doi.org/10.18372/0370-2197.59.5333>
11. Зміна притризношувальних та протизадирних властивостей моторних оливи під впливом електромагнітного поля / Гупка А. Б. та ін. *Актуальні задачі сучасних технологій*: Матеріали □ Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів, 24-25 листопада 2021 року. Т. : ФОП Паляниця В. А., 2021. Том I. С. 65–66.
12. Гупка А., Aulin V., Mironov D., Leshchuk R., Yarema I., Bukhovets V., Teslia V. Structural and energetic self-organization of antifriiction composite materials of car parts during friction and wear *Problems of tribology*. 2024. Vol. 29, no. 2/112. P. 67–73. URL: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-112-2-67-73>.

References

1. Aulin, V.V, Lysenko, S.V. & Kuzyk, O.V. (2010). Pidvyschennia ekspluatatsijnoi nadijnosti mashyn shliakhom modyfikuvannia motornoj olyvy [Increasing the operational reliability of machines by modifying engine oil]. *Problemy nadijnosti mashyn ta zasobiv mekhanizatsii sil's'kohospodars'koho vyrobnytstva - Problems of reliability of machines and means of mechanization of agricultural production, 100*, 127-133 [in Ukrainian].
2. Voronin, S. V., & Dunaev, A. V. (2015). Effects of electric and magnetic fields on the behavior of oil additives. *Journal of Friction and Wear, 36(1)*, 33-39.
3. Trofimov, I. L. (2012). Theoretical Justification of Influence Electric Field on Antiwear Properties of Lubricants. *Technology Audit and Production Reserves, 6(3)*, 13-14.
4. Lysenko, S. V et al. (2022). Vplyv modyfikuvannia motornoj ta transmisijnoi olyvy kompozytsijnymy dobavkamy na pidvyschennia resursu transportnykh mashyn [The effect of modification of motor and transmission oil with composite additives on increasing the resource of transport vehicles]. Increasing the reliability and efficiency of machines, processes and systems: *IV Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia (13-15 kvitnia 2022 r.) - 4th International Scientific and Practical Conference* (pp. 170-173). Kropyvnyts'kyj : TsNTU [in Ukrainian].
5. Aleutdinova, M. I., Fadin, V. V., Kolubaev, A. V., & Aleutdinova, V. A. (2014). Contact characteristics of metallic materials in conditions of heavy loading by friction or by electric current. *Friction and Wear Research (FWR)*, 2, 22-28.
6. Dunaev, A. V., & Pustovoy, I. F. (2020). Experience of Using Electric Effects on Engine Oils and Friction in Them. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 49*, 980-989.

7. Konovalov, P., Voronin, S., Onoprychuk, D., Stefanov, V., Pashchenko, V., Radionov, H., ... & Onoprienko, A. (2018). A study of the effect of electrostatic processing on performance characteristics of axle oil. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2018. Vol. 1, no. 1 (91). P. 4–12.
8. Rouabeh, J., Nsibi, W., Mbarki, L., Khmailia, S., & Mel, H. (2022). Study of electrohydrodynamic properties in insulating liquids and research of an alternative mixture to mineral oil for energy transformers. *Journal of Electrostatics*, 115, 103684.
9. Tarantsev, K. V., & Tarantseva, K. R. (2017). Influence of electric field frequency on the process of destruction of water-oil emulsions in electric dehydrators. *Chemical and Petroleum Engineering*, 53, 515-518.
10. Trofimov, I. L. (2013). Modeliuvannia vplyvu elektrychnoho polia na protyznosni vlastyvoli mastyl'nykh materialiv [Modeling the influence of the electric field on the anti-wear properties of lubricants]. *Problems of friction and wear*, (59), 89-92 [in Ukrainian].
11. Hupka, A. B. et al. (2021). Zmina prytyznoshuval'nykh ta protyzydnykh vlastyvostrykh motornykh olyv pid vplyvom elektromahnitnoho polia [Change in anti-wear and anti-seize properties of motor oils under the influence of an electromagnetic field]. Actual tasks of modern technologies: *Materialy □ Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv (24-25 lystopada 2021 roku)* - *Materials of the □ International scientific and practical conference of young scientists and students* (pp. 65-66). T. : FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].
12. Gypka, A., Aulin, V., Mironov, D., Leshchuk, R., Yarema, I., Bukhovets, V., & Teslia, V. (2024). Structural and energetic self-organization of antifriction composite materials of car parts during friction and wear. *Problems of Tribology*, 29(2/112), 67-73.

Andrii Gypka¹, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Victor Aulin**², Prof., DSc., **Victor Hud**¹, Prof., DSc., **Igor Tkachenko**¹, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Lubomir Slobodyan**¹, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmitro Mironov**¹, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

1 Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil Ukraine

2 Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Study of the influence of a variable electromagnetic field on the tribological properties of motor oils

A set of studies was conducted on the influence of mechanical, thermal and electromagnetic factors under the action of the variable electromagnetic field of the oil pumping device on the properties of M-6B3 motor oils; M-10Г; M-10Г₂. The research was carried out on a special stand, which allows to simulate the operating conditions of the oil injection device on the car engine during the start-up period. The evaluation of the efficiency of the oil pumping device was determined by the volume and effective coefficients of the useful action.

In the process of research, oils (fresh and used) that were exposed to an alternating electromagnetic field and oils that were not exposed to the corresponding influence were compared according to the main physicochemical properties: kinematic viscosity at temperatures of 373, 323, 293, 273 and 258 K; solidification temperature of oil, K; viscosity index; ash content, %; the content of refractory mechanical impurities, %; iron content, %.

The results were obtained on the effect of an alternating electromagnetic field on the viscosity-temperature parameters of fresh M-6B3 oils; M-10Г; M-10Г₂. In the temperature range of 293...323 K, a decrease in the viscosity of the studied oils was observed. An increase in temperature eliminates the difference between processed and unprocessed oils.

The effect of the duration of the alternating electromagnetic field on the viscosity index of the studied oils at a temperature of 258 K was studied. The optimal duration of olive processing was determined, which is 9...12 minutes, depending on its organic basis and the presence of additives in it.

The characteristics of changes in the viscosity-temperature characteristics of the studied oils after certain periods of time after the action of a variable electromagnetic field on them were analyzed. It has been confirmed that these characteristics of processed oils are approaching the similar characteristics of untreated oils over time, except for M-6B3 oil, which stably retains the acquired properties even after a long time of its processing.

With the use of a special installation that simulates the work of tribo-coupling "cam-pusher", the influence of an alternating electromagnetic field on the anti-wear and anti-seize properties of the studied oils was investigated. A 1.2-1.5 times reduction in the amount of wear of both the working surfaces of the pushers and the cams was noted, in the absence of varnish deposits on them.

engine, wear, burr, engine oil, variable electromagnetic field

Одержано (Received) 15.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 20.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 656.13

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.88-106](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.88-106)

О.Л. Ляшук¹, проф., д-р техн. наук, Д.В. Міронов¹, доц., канд. техн. наук, С.В. Лисенко², доц., канд. техн. наук, А.Б. Гупка¹, доц., канд. техн. наук, Ю.Д. Бодоряк³

¹ Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

² Центральнотернопільський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

³ Науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України, м. Тернопіль, Україна
e-mail: oleglashuk@ukr.net

Статистичний аналіз дорожньо-транспортних пригод у Тернопільській області та заходи щодо зниження аварійності

Проведено статистичний аналіз динаміки причин та наслідків дорожньо-транспортних пригод (ДТП) у Тернопільській області за останні п'ять років. Виявлено значне зростання кількості ДТП, що досягло 2547 випадків у 2023 році, з їх основними видами: зіткнення, наїзд на перешкоду, наїзд на транспортний засіб, що стоїть, та наїзд на пішохода.

Виявлено основні причини ДТП для регіону і їх вплив на травматизм осіб, а саме: порушення правил маневрування, перевищення швидкості, недотримання дистанції, керування у нетверезому стані та порушення правил проїзду перехресть.

Запропоновано стратегію зниження аварійності на автошляхах Тернопільської області, яка включає наступні заходи: впровадження штучних нерівностей, встановлення світлофорів із регульованими таймерами, додаткових дорожніх знаків, розмітки пішохідних переходів з підсвічуванням та використання камер спостереження для зниження аварійності.

Розроблено заходи, які сприятимуть підвищенню безпеки дорожнього руху, зменшенню кількості ДТП та їх тяжкості, а також зниженню економічних втрат, пов'язаних з дорожньо-транспортними пригодами.

дорожньо-транспортні пригоди, безпека дорожнього руху, причини ДТП, зниження аварійності, травматизм на дорогах, порушення ПДР, прогнозування ДТП

Постановка проблеми. Місто Тернопіль є одним з економічних, політичних і культурних центрів заходу України. Володіючи значними матеріальними, фінансовими та людськими ресурсами, місто має тісні зв'язки з іншими регіонами країни. Особливо активно ці взаємовідносини розвивалися з 2022 року, що призвело до значного збільшення транспортних потоків між Тернополем та іншими регіонами. Цей швидкий ріст автопарку спричинив серйозне збільшення інтенсивності дорожнього руху та навантаження на дорожньо-транспортну інфраструктуру міста, яка вже не відповідає сучасним потребам. Все це веде до зростання негативних наслідків транспортної діяльності, зокрема дорожньо-транспортних пригод (ДТП) та супутніх їм матеріальних та людських втрат. Наразі в Тернополі зареєстрована велика кількість різноманітних засобів наземного транспорту і кожного дня в місті перебувають тисячі транспортних засобів з інших регіонів країни. Тому статистичне дослідження динаміки та структури ДТП та їх наслідків є вкрай важливим для підвищення ефективності та безпеки дорожнього руху, а також для розробки комплексу заходів щодо зменшення кількості ДТП і тяжкості їхніх наслідків.

Проблема аварійності на автотранспорті здобула особливої гостроти в останні

десятиліття через невідповідність наявної дорожньо-транспортної інфраструктури потребам суспільства та держави, неефективність системи забезпечення безпеки дорожнього руху та вкрай низьку дисципліну учасників дорожнього руху. Загалом за останні 5 років у Тернополі було скоєно 8870 ДТП [1], із них було скоєно 1957 ДТП з потерпілими в яких загинуло 294 особи і 2570 осіб було травмовано. Згідно з оцінками експертів Світового банку, Україна втрачає через ДТП 4,5 мільярди доларів щорічно, що еквівалентно приблизно 3,4% від її ВВП. Ці дані враховують як матеріальні витрати, пов'язані з пошкодженням майна, так і втрати продуктивності праці та людські втрати через травми або смерть внаслідок аварій. У 2016 році глава "Укравтодору" Славомир Новак зазначив, що економічні збитки України від ДТП становлять від 1,5 до 2,5% ВВП країни, що приблизно дорівнює 40 мільярдам гривень щорічно. Вирішення проблеми забезпечення безпеки дорожнього руху є одним з пріоритетних завдань розвитку країни, що пояснює актуальність теми даної роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичною базою дослідження стали результати аналізу стану аварійності на вулично-шляховій мережі Тернопільської області згідно даних патрульної поліції Тернопільської області, а також публікації, які присвячені дослідженню вітчизняного та міжнародного досвіду з питань якісного вирішення проблем зниження аварійності на автомобільних шляхах.

За даними звіту Міжнародної організації міграції (МОМ) [2] з початку повномасштабної війни в Тернопільській області проживало 786 тис. осіб. Напротязі 2022-2023 рр. максимальна чисельність осіб, що мігрували за кордон і повернулися склала 45 тис. Станом на кінець 2023 року максимальна фактична чисельність ВПО у Тернопільській області становила 84 тис. осіб. Таким чином, сумарна максимальна чисельність населення Тернопільської області на 2023 рік становила 894 тис. осіб.

Недостатньо розвинута дорожня мережа м. Тернополя та її невисока якість не були готові до швидкого збільшення кількості автотранспорту, що спричинило значні проблеми з розміщенням, технічним обслуговуванням та експлуатацією транспортних засобів. Ці фактори безпосередньо впливають на безпеку дорожнього руху та збільшують ризик дорожньо-транспортних пригод. Таке навантаження на інфраструктуру вимагає негайних заходів з модернізації та покращення дорожньої мережі, для зниження кількості ДТП та підвищення безпеки всіх учасників дорожнього руху.

Загальна довжина доріг у Тернопільській області складає 5,6 тисяч кілометрів [3], з яких 5,1 тисячі кілометрів мають тверде покриття. На кожну тисячу квадратних кілометрів території припадає в середньому 405 кілометрів автомобільних шляхів, з яких 358 кілометрів мають тверде покриття (для порівняння, в Україні ці показники становлять відповідно 270 і 247 кілометрів). Розподіл доріг за значенням наступний:

- державні дороги – 1394 км або 25%;
- місцеві дороги – 4152 км або 75%.

За видами покриття:

- асфальтобетонні – 1371 км або 25% від загальної довжини доріг;
- чорне шосе – 2373 км або 43%;
- білощобне шосе – 1385 км або 25%;
- бруківка – 78 км або 1%;
- ґрунтові дороги – 339 км або 6%.

В той же час за даними Головного управління статистики в Тернопільській області [4] вантажообіг різними видами транспорту у 2023 році склав 159,4 млн.ткм (що на 149,7% більше за аналогічний показник 2022 року), із них 52,9 млн.ткм припало на автомобільний транспорт (що на 108,8% більше за аналогічний показник 2022 року).

Щодо пасажирських перевезень, то у 2023 році пасажирообіг склав 95,4 млн.пас.км (що на 120,9% більше за аналогічний показник 2022 року). У розрізі типів транспорту пасажирообіг розподілився наступним чином: автомобільний – 49,1 млн.пас.км (на 116,9% більше за аналогічний показник 2022 року), тролейбусний – 1,5 млн.пас.км (на 105,1% більше за аналогічний показник 2022 року). Виходячи з цих статистичних даних, навантаження на вулично-шляхову мережу Тернопільської області зросло майже в два рази.

У зв'язку з цим статистичне дослідження динаміки та структури ДТП, виявлення причин та закономірностей їх виникнення має виняткове значення для покращення транспортної діяльності та підвищення рівня безпеки його функціонування. Такий аналіз дозволяє розробити ефективні стратегії зниження аварійності та забезпечити більш безпечні умови на дорогах.

Основними видами пасажирського транспорту в Тернопільській області є автобуси і тролейбуси (в прив'язці до м. Тернопіль) [4]. Автобусні маршрути охоплюють всю область, і ними курсує понад 2,5 тисячі автобусів і мікроавтобусів. У Тернополі функціонує міський електротранспорт. Довжина тролейбусних маршрутів становить 70 кілометрів, і в місті працює в середньому 50 тролейбусів. Серед тролейбусів, що використовуються, є моделі таких виробників, як Skoda, ЮМЗ та ЛАЗ.

Розвиток автотранспорту в Тернополі в останні роки характеризується двома тенденціями. З одного боку, відбувається значне зменшення частки державного транспорту на користь приватного та особистого, з іншого боку — процес роздрібнення автопарків у результаті їх приватизації. Ці зміни негативно впливають на безпеку дорожнього руху, збільшуючи число дорожньо-транспортних пригод та тяжкість їх наслідків. На дорогах Тернополя спостерігається зростання кількості некваліфікованих водіїв-аматорів, що є однією з основних причин аварій. Додатково, відсутність достовірної інформації про технічний стан особистих та приватних транспортних засобів, середній термін їхньої експлуатації та рівень підготовки водіїв створюють певні труднощі при статистичному аналізі ДТП та їх наслідків.

Безпека дорожнього руху є комплексною категорією, що включає:

- а) відсутність аварійності дорожнього транспорту;
- б) мінімізацію (або відсутність) дорожньо-транспортних пригод;
- в) підвищення екологічної безпеки дорожнього руху.

Дорожньо-транспортна пригода [5] — це подія, що виникає під час руху транспортного засобу на дорозі та з його участю, яка призводить до загибелі або поранення людей, пошкодження транспортних засобів, вантажів чи завдає іншої матеріальної шкоди. Учасниками ДТП є водії, пасажирів та пішоходи. Окрім показників динаміки та структури ДТП, значущими є абсолютні та відносні показники тяжкості ДТП. Абсолютні показники включають кількість загиблих та поранених у ДТП. До відносних показників належить коефіцієнт тяжкості ДТП (співвідношення кількості постраждалих до кількості ДТП з постраждалими), коефіцієнт смертності в ДТП (співвідношення кількості загиблих до кількості ДТП з постраждалими), загальний коефіцієнт тяжкості ДТП (співвідношення кількості постраждалих до кількості зареєстрованих ДТП) [6].

Постановка завдання. Метою даної роботи є дослідження аварійності та основних причин виникнення ДТП у Тернопільській області та розробка методики вибору комплексів і заходів з підвищення безпеки дорожнього руху.

Виклад основного матеріалу. Основною причиною дорожньо-транспортних пригод є порушення правил дорожнього руху (ПДР). Динаміка загальної кількості

порушень ПДР у м. Тернопіль [1], а також порушень з вини водіїв та пішоходів, представлена у таблиці 1 та на рис. 1.

Таблиця 1 – Динаміка дорожньо-транспортних пригод та їх наслідків

Рік	ДТП	ДТП з потерпілими	Загинуло	Травмовано
2019	1245	268	52	361
2020	1271	262	33	323
2021	1509	323	37	427
2022	2298	541	96	742
2023	2547	563	76	717

Джерело: розроблено автором

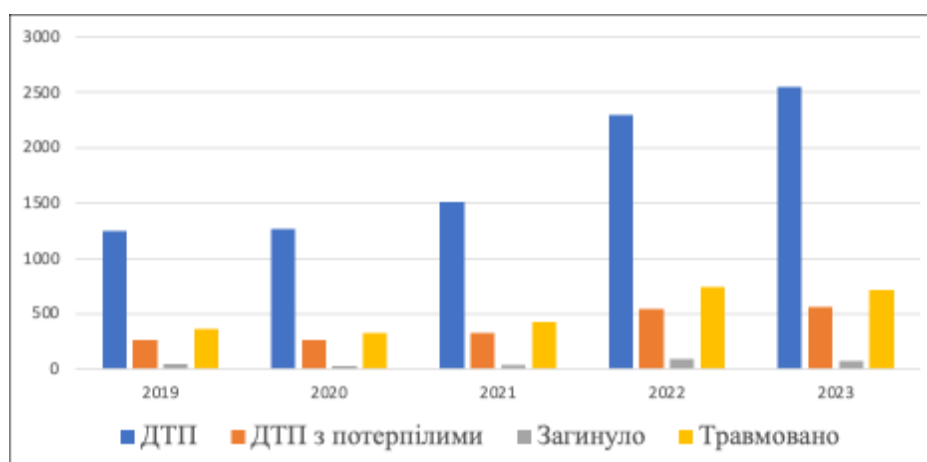


Рисунок 1 – Динаміка дорожньо-транспортних пригод та їх наслідків

Джерело: розроблено автором

Згідно з даними, внесеними до підсистеми «ДТП» ШНІ, за період з січня по грудень 2023 року на вулично-дорожній мережі Тернопільської області було зареєстровано 2547 дорожньо-транспортних пригод (ДТП), що на 11% більше порівняно з аналогічним періодом минулого року (2022 рік – 2298 ДТП).

Водії у 2023 році скоїли близько 69 % порушень ПДР. При цьому основними причинами порушень правил дорожнього руху залишаються:

- зіткнення 1274 ДТП
- наїзд на транспортний засіб, що стоїть 413 ДТП
- наїзд на перешкоду – 486 ДТП
- наїзд на пішохода – 199 ДТП
- перекидання ТЗ – 99 ДТП
- наїзд на велосипедиста – 31 ДТП
- падіння вантажів – 9 ДТП
- падіння пасажирів – 11 ДТП
- наїзд на тварин – 23 ДТП
- наїзд на гужовий транспорт – 1 ДТП

Очевидно, що основні види порушень ПДР пішоходами та водіями є основними причинами скоєння ДТП і визначають тяжкість їх наслідків.

Основним показником безпеки дорожнього руху є структура і динаміка кількості ДТП з потерпілими та їх наслідки. За аналізований період було зареєстровано 563 ДТП з постраждалими (табл. 1), що на 4% більше у порівнянні з аналогічним періодом минулого року (2022 рік - 541ДТП). З початку року у ДТП загинуло 76 осіб, що на 21% менше ніж за аналогічний період минулого року (2022 рік - 96 осіб загинуло). За січень-грудень 2023 року в ДТП травмовано 717 осіб, за аналогічний період 2022 року травмовано 742 особи.

Для характеристики структури ДТП з постраждалими у дослідженні широко використовувалися групування ДТП за різними ознаками [7]:

- а) за приналежністю автотранспорту юридичним та фізичним особам;
- б) за місцем реєстрації автотранспортних засобів;
- в) розподіл кількості постраждалих за категоріями учасників руху з виділенням водіїв, пасажирів та пішоходів;
- г) розподіл кількості ДТП за виною учасників руху (водії та пішоходи);
- д) за видами ДТП (зіткнення, перекидання, наїзд на перешкоду, стоячий транспорт, на пішохода, на велосипедиста чи мотоцикліста, на тягловий транспорт; інші причини ДТП);
- е) структура ДТП за виною водія та їхніми видами;
- ж) структура ДТП за виною пішоходів та їхніми видами.

На основі цих групувань була складена таблиця 2, що характеризує залежність травматизму від видів ДТП, які його спричиняють.

Таблиця 2 – Динаміка дорожньо-транспортних пригод та їх наслідків

Вид ДТП	Усього ДТП	ДТП з постраждалими	Загинуло осіб	Травмовано осіб
зіткнення	1274	233	25	364
наїзд на транспортний засіб, що стоїть	413	7	1	12
наїзд на перешкоду	486	67	6	86
наїзд на пішохода	199	177	26	160
перекидання ТЗ	99	43	14	61
наїзд на велосипедиста	31	26	3	24
падіння вантажів	9	0	0	0
падіння пасажирів	11	9	1	8
наїзд на тварин	23	0	0	0
наїзд на гужовий транспорт	1	1	0	2
ЗАГАЛОМ	2546	563	76	717

Джерело: розроблено автором

На основі даних табл. 2 можна зробити висновки як про структуру ДТП, так і про причини, що спричиняють ДТП з вини водіїв. Найпоширенішими видами автопригод є: зіткнення (50%), наїзд на перешкоду (19%), наїзд на транспортний засіб, що стоїть (16%), та наїзд на пішохода (8%), що загалом складає близько 95% від усіх дорожньо-транспортних пригод.

Найбільша кількість смертей відбувається при таких видах автопригод:

- наїзд на пішохода (34%);
- зіткнення ТЗ (33%).

Щодо травматизму, найбільш значущими є:

- зіткнення (50%);
- наїзд на пішохода (22%);
- наїзд на перешкоду (12%).

Для оцінки видів ДТП, які найбільше впливають на безпеку руху автошляхами Тернопільської області за даними табл. 2 побудовано діаграми Парето [8] для загальної кількості ДТП, ДТП з постраждалими, ДТП у результаті яких загинули та травмувались особи, які представлені на рис. 2-5.

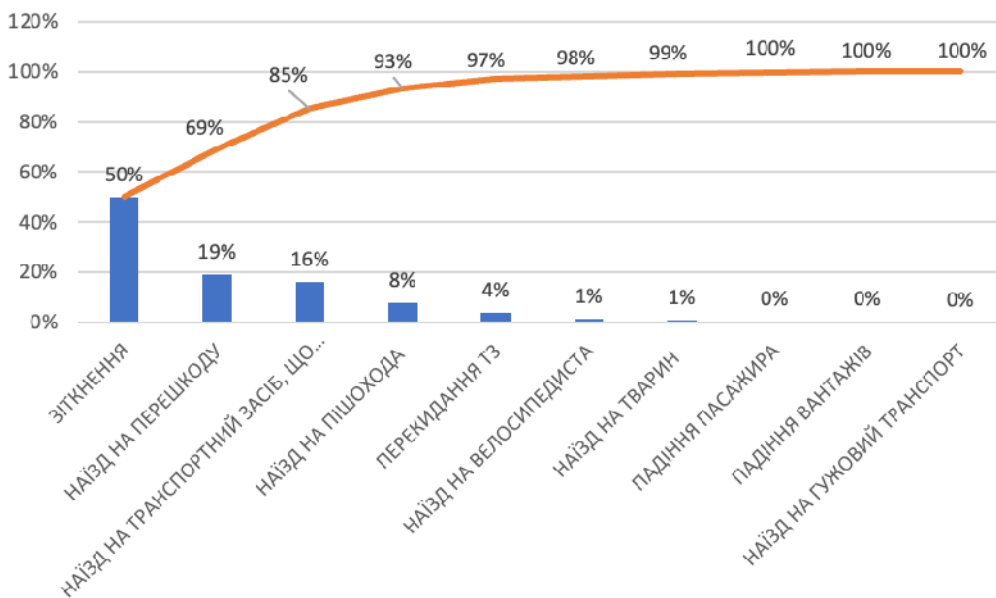


Рисунок 2 – Діаграма Парето для загальної кількості ДТП

Джерело: розроблено автором

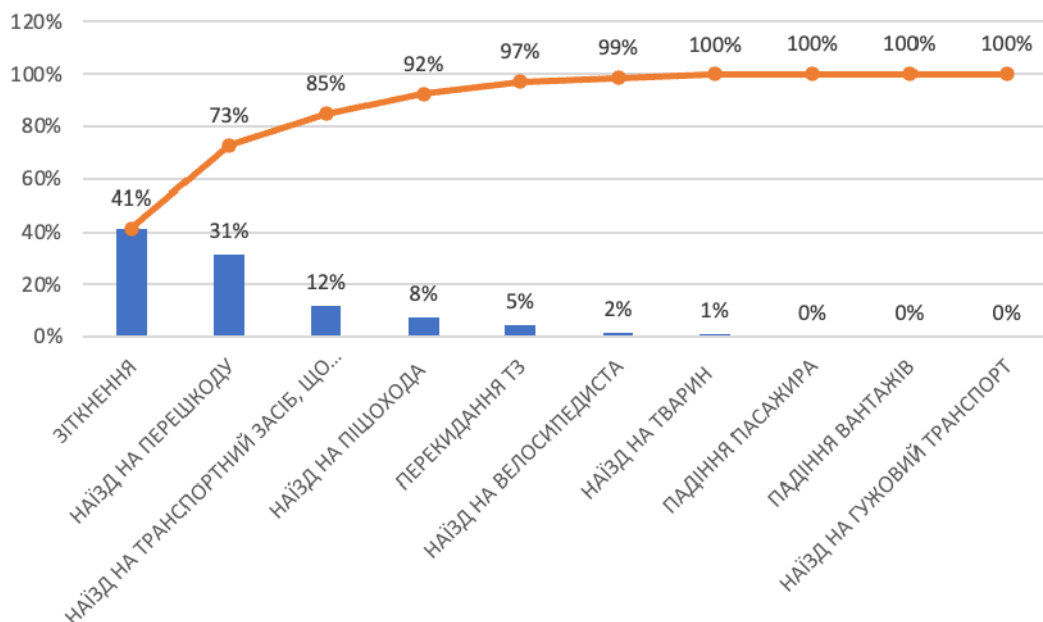


Рисунок 3 – Діаграма Парето для ДТП з постраждалими

Джерело: розроблено автором

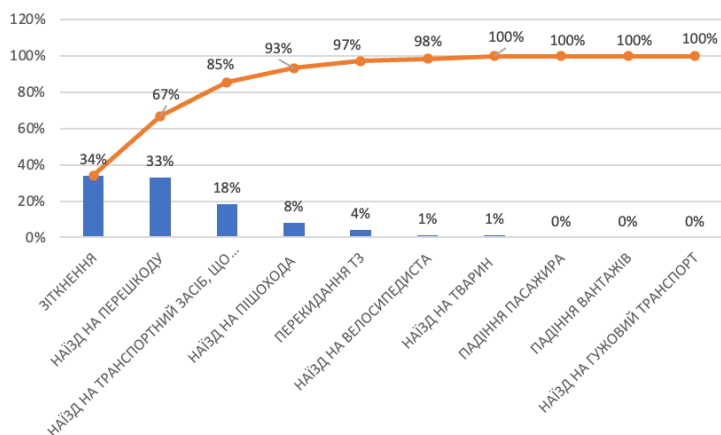


Рисунок 4 – Діаграма Парето для ДТП з загиблими особами

Джерело: розроблено автором

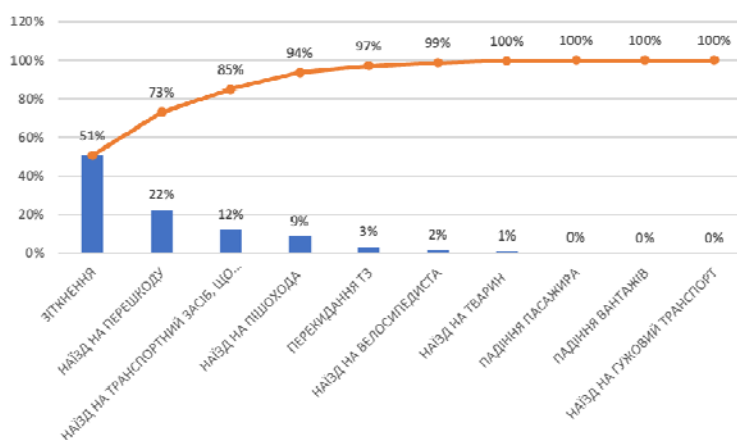


Рисунок 5 – Діаграма Парето для ДТП з травмованими особами

Джерело: розроблено автором

Аналіз діаграм показує наступне:

- превалююча частина ДТП виникла з причин зіткнення (50%), наїзд на перешкоду (19%) та наїзд на транспортний засіб, що стоїть (16%);
- основною причиною ДТП є зіткнення, внаслідок якого в 2023 році було скоєно 50% всіх транспортних пригод;
- зіткнення (41%), наїзд на перешкоду (31%) та наїзд на транспортний засіб, що стоїть (12%) були основними видами ДТП, в яких було зафіксовано постраждалих у 2023 році;
- головними видами ДТП, в яких фіксувалась загибель людей, є зіткнення (34%), наїзд на перешкоду (33%) та наїзд на транспортний засіб, що стоїть (18%). В цьому випадку доля загиблих в результаті зіткнень та наїздів складає сумарно 60% від загальної кількості видів ДТП;
- зіткнення (51%), наїзд на перешкоду (22%) та наїзд на транспортний засіб, що стоїть (12%) також були основними видами ДТП, в результаті яких були травмовані люди. Причому зіткнення є причиною половини від всієї кількості транспортних пригод з травмуванням осіб.

Додатково було проведено аналіз розподілу ДТП за причинами їх виникнення (табл. 3).

Таблиця 3 – Розподіл ДТП за причинами виникнення

Причина виникнення	Загальна кількість ДТП	ДТП з постраждалими	Загинуло осіб	Травмовано осіб
порушення правил маневрування	537	78	6	110
перевищення безпечної швидкості	335	89	14	144
недодержання дистанції	214	17	0	29
порушення правил проїзду перехресть	85	16	0	16
керування транспортним засобом у нетверезому стані	116	24	0	12
порушення правил надання безперешкодного проїзду	31	6	0	8
виїзд на смугу зустрічного руху	54	24	6	33
порушення правил проїзду пішохідних переходів	31	31	2	32
перевищення встановленої швидкості	5	2	0	6
невиконання вимог сигналів регулювання	4	1	0	1
перехід у невстановленому місці	15	15	3	15
порушення правил зупинки і стоянки транспортного засобу	8	1	0	1
порушення правил обгону	20	7	1	11
неочікуваний вихід на проїзну частину	7	7	5	2
порушення правил утримання автодоріг та вулиць	31	0	0	0
управління несправним транспортним засобом	4	0	0	0
порушення правил проїзду залізничних переїздів	1	0	0	0
порушення правил перевезення вантажів	5	0	0	0
пішохід у нетверезому стані	0	0	0	0
перевтома, сон за кермом	0	0	0	0
порушення правил перевезення пасажирів	3	3	0	6
пішоходи невиконання вимог сигналів регулювання	0	0	0	0
порушення правил користування освітлювальними приладами	0	0	0	0
порушення техніки безпеки пасажиром	3	2	0	2

Продовження таблиці 3

порушення правил проїзду зупинок громадського транспорту	0	0	0	0
порушення правил проїзду великогабаритних та великовагових ТЗ	0	0	0	0
порушення правил буксирування	0	0	0	0
порушення вимог ПДР погоничем тварин	0	0	0	0
ЗАГАЛОМ	1509	323	37	427

Джерело: розроблено автором

Для оцінки причин виникнення ДТП, які найбільше впливають на безпеку руху автошляхами Тернопільської області за даними табл. 2 побудовано діаграми Парето для загальної кількості ДТП, ДТП з постраждалими, ДТП у результаті яких загинули та травмувались особи, які представлені на рис. 6-9.

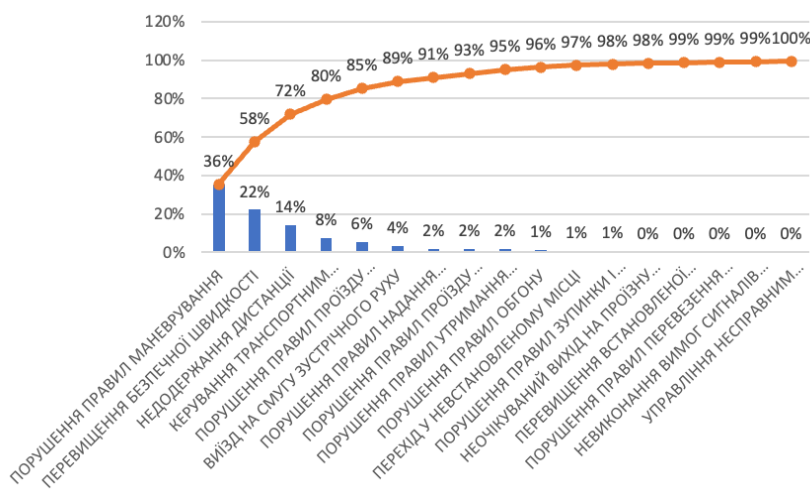


Рисунок 6 – Діаграма Парето причин виникнення для загальної кількості ДТП

Джерело: розроблено автором

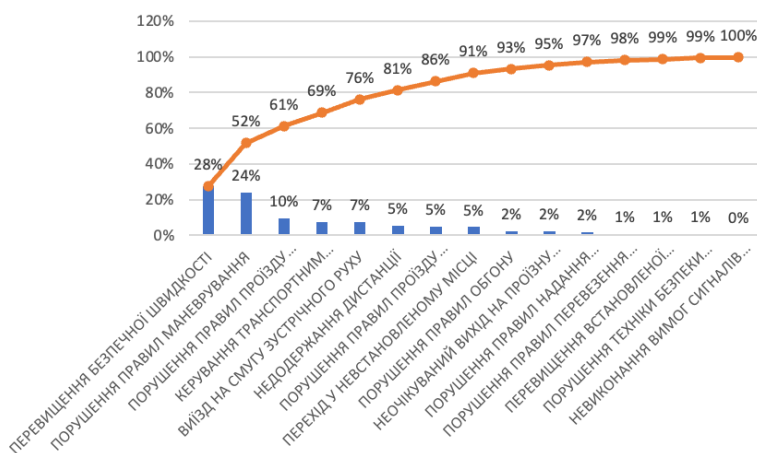


Рисунок 7 – Діаграма Парето причин виникнення для ДТП з постраждалими

Джерело: розроблено автором

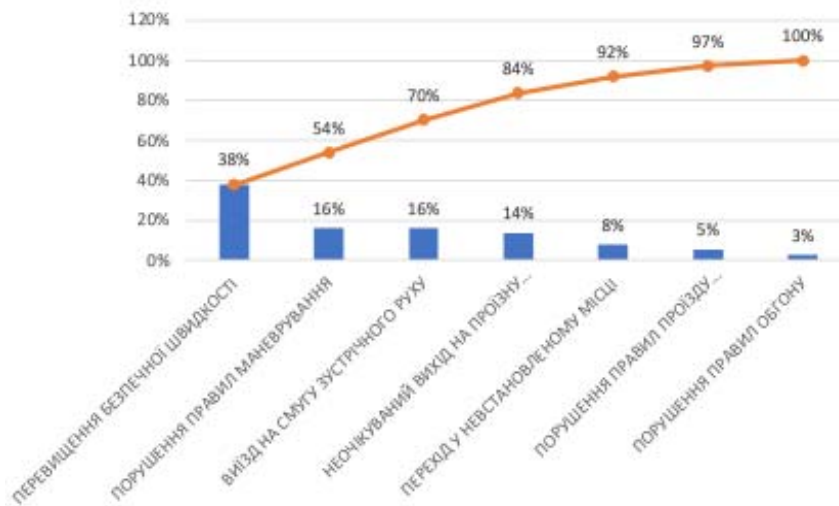


Рисунок 8 – Діаграма Парето причин виникнення для ДТП з загиблими особами
Джерело: розроблено автором

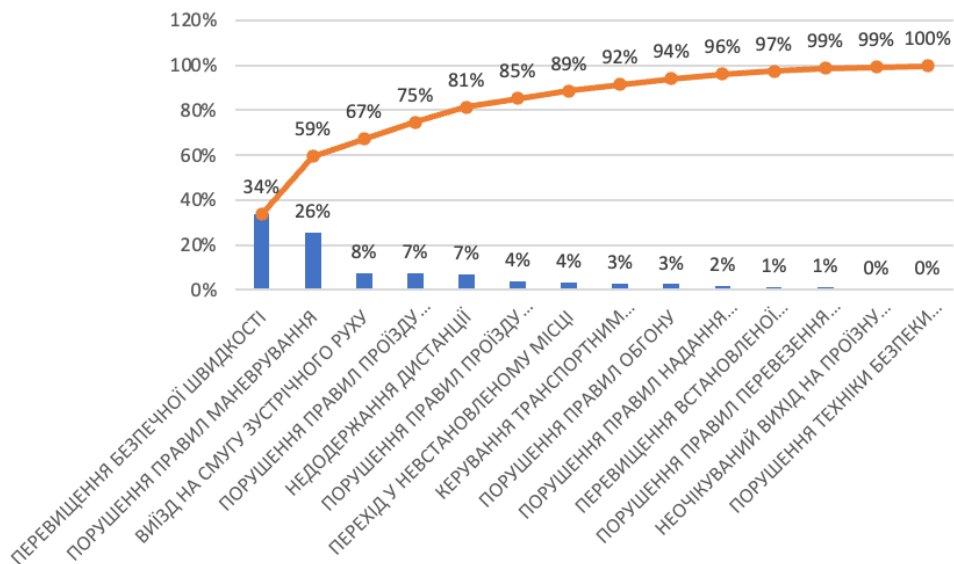


Рисунок 9 – Діаграма Парето причин виникнення для ДТП з травмованими особами
Джерело: розроблено автором

Згідно діаграм можна визначити наступне:

- основними причинами автопригод, які сталися протягом звітного періоду, є порушення правил маневрування – 1032 автопригоди (40% від усіх ДТП), перевищення безпечної швидкості – 593 ДТП (23%), недодержання дистанції – 261 ДТП (10%), керування транспортним засобом у нетверезому стані – 166 ДТП (7%), порушення правил проїзду перехресть – 123 ДТП (5%), та порушення правил проїзду пішохідних переходів – 63 ДТП (3%).

- найбільш поширеними причинами автопригод з постраждалими протягом звітного періоду є: перевищення безпечної швидкості – 163 автопригоди (29%), порушення правил маневрування – 147 ДТП (26% від усіх ДТП із постраждалими), порушення правил проїзду пішохідних переходів – 58 ДТП (10%), виїзд на смугу зустрічного руху – 30 ДТП (5%), та перехід у невідповідному місці – 10 ДТП (2%), що загалом становить 70% усіх ДТП з постраждалими.

Структура ДТП з вини пішоходів значно відрізняється від структури ДТП з вини водіїв. Згідно з аналізом, 31% ДТП з постраждалими з усієї кількості ДТП з постраждалими відбуваються за участю пішоходів і є одним із видів ДТП, у яких травмується значна кількість осіб. За звітний період 2023 року, відповідно до Інформаційно-комунікаційної системи Інформаційного порталу Національної поліції України (ІКС ПНП), на території Тернопільської області було зареєстровано 183 ДТП за участю пішоходів, що становить 8% від загальної кількості ДТП (2314 ДТП).

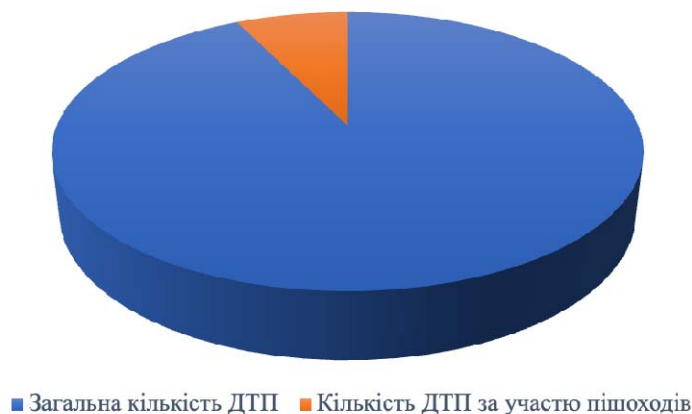


Рисунок 10 – Співвідношення загальної кількості ДТП та ДТП за участю пішоходів
Джерело: розроблено автором

Протягом зазначеного періоду сталося 165 ДТП з постраждалими за участю пішоходів, що складає 31% від загальної кількості ДТП з постраждалими (всього 526 ДТП). У цих пригодах загинули 22 особи та отримали травми 152 особи.

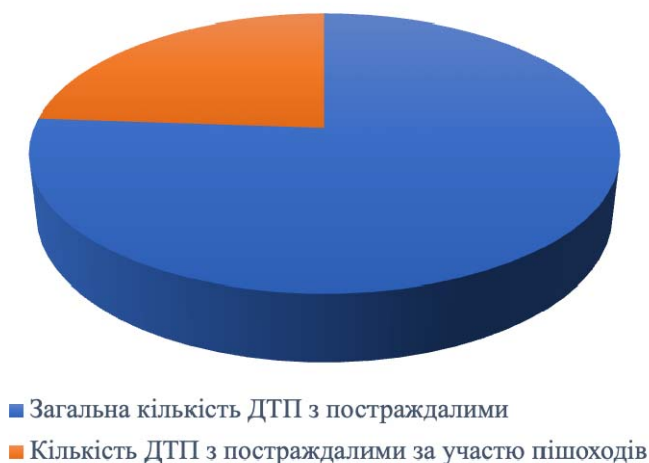


Рисунок 11 – Співвідношення загальної кількості ДТП з постраждалими та ДТП з постраждалими за участю пішоходів
Джерело: розроблено автором

Для вивчення сезонності дорожньо-транспортних пригод у роботі надано аналіз сезонності за днями тижня та часом доби. Що стосується розподілу ДТП за днями тижня, то тут також встановлена певна закономірність (рис. 12).

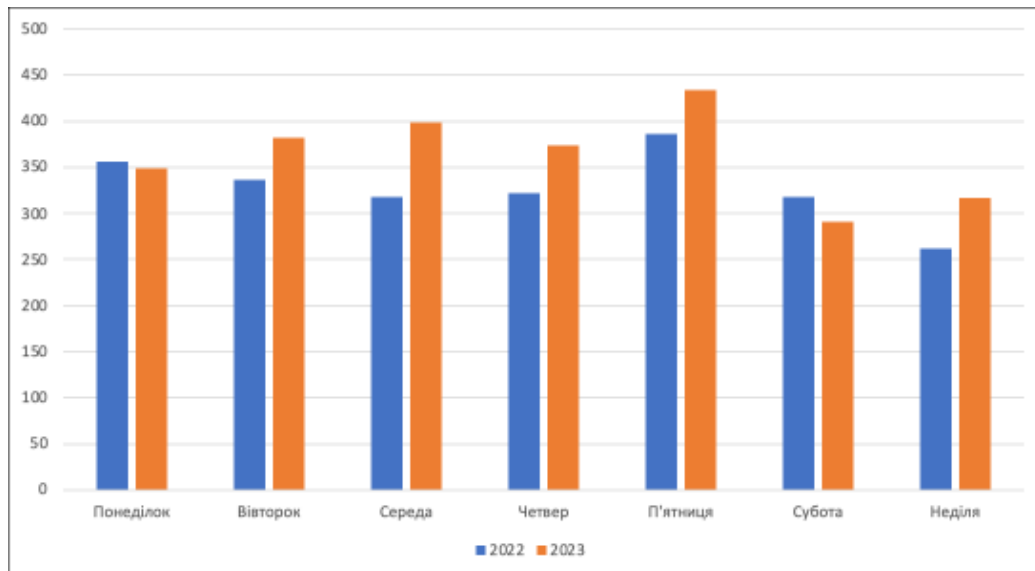


Рисунок 12 – ДТП по днях у порівнянні з попереднім періодом

Джерело: розроблено автором

У робочі дні (вівторок, середа, четвер та п'ятниця) кількість ДТП приблизно однакова — 380-430 пригод. У середу та п'ятницю відбувається найбільша кількість ДТП (33% від загальної кількості), а на суботу та неділю припадає мінімальна кількість ДТП (11%). Така динаміка пояснюється тим, що у робочі дні транспортні потоки стабільні, а у суботу та неділю люди відпочивають.

За аналізований період найбільше ДТП з постраждалими відбулося у вівторок, середу та п'ятницю – 49% від усіх ДТП з постраждалими за вказані дні тижня (рис. 13).

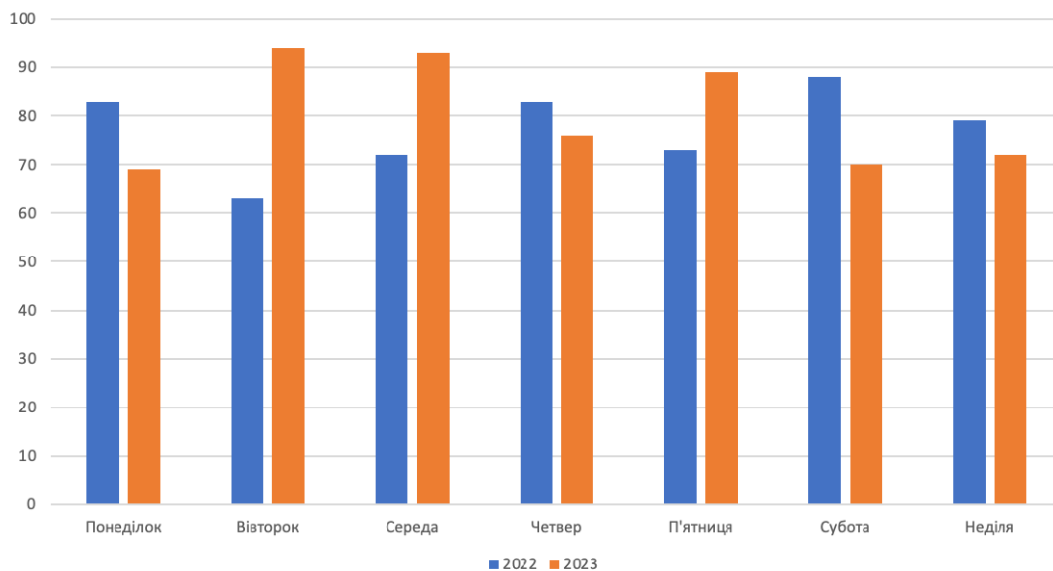


Рисунок 13 – ДТП з постраждалими по днях у порівнянні з попереднім періодом

Джерело: розроблено автором

Важливим фактором, що визначає кількість ДТП та ступінь їх тяжкості, є час доби, протягом якого відбуваються ДТП. Для статистичного вивчення впливу цього фактора на кількість ДТП та ступінь їх тяжкості ми використали одногодні інтервали (рис. 14).

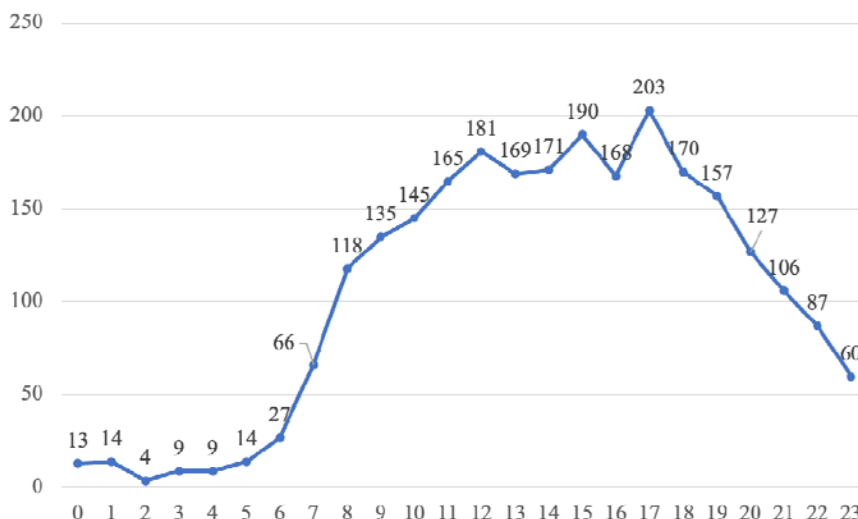


Рисунок 14 – Загальна кількість ДТП за часом

Джерело: розроблено автором

Аналізуючи кількість ДТП за часом їх скоєння, варто відзначити, що пік аварійності припадає на 12, 15 та 17 години, коли було скоєно 23% від усіх ДТП. Найменша кількість ДТП припадає на період з 0 до 6 годин ранку (близько 2%). Потім настає ранковий пік: з 6 до 8 годин кількість ДТП зростає в 5 разів у порівнянні з періодом 4-6 годин; з 8 до 10 годин кількість ДТП збільшується на половину порівняно з періодом від 6 до 8 годин. Далі кількість ДТП плавно зростає і досягає максимуму під час вечірнього піку (з 16 до 19 годин), коли відбувається понад 40% усіх ДТП.

Інша закономірність полягає в тому, що ступінь тяжкості ДТП, скоєних у вечірній піковий час, значно вища, ніж у ДТП, скоєних у денний та ранковий час. Зокрема, коефіцієнт смертності в ДТП, які сталися з 16 до 18 годин дня, становить близько 0,27, а в ДТП, які сталися з 0 до 6 годин – близько 0,07 - 0,075, тобто в 3,5 рази нижче (рис. 15).

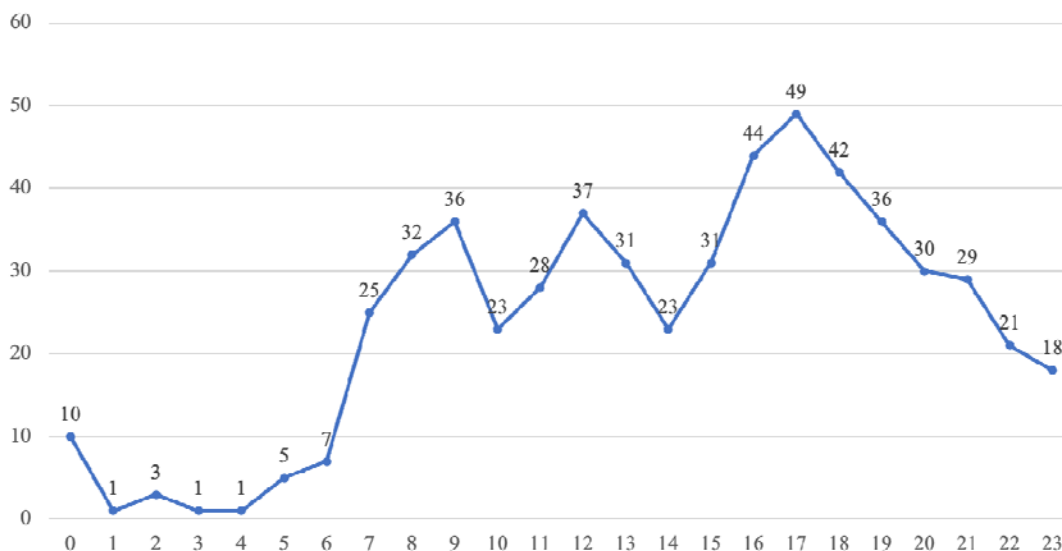


Рисунок 15 – Загальна кількість ДТП з постраждалими за часом

Джерело: розроблено автором

Існує ряд профілактичних заходів, які застосовуються для запобігання ДТП та зниження ступеня їх тяжкості [9]. Ці заходи включають різноманітний спектр організаційних, технічних, матеріальних та фінансових методів, спрямованих на запобігання ДТП:

- робота з персоналом автогосподарств;
- контроль за станом дорожньо-транспортної інфраструктури;
- застосування адміністративних заходів до водіїв, які порушили правила дорожнього руху (попередження, штраф, позбавлення права керування транспортом, передача справи до суду);
- застосування адміністративних заходів до пішоходів, які порушили ПДР (попередження, штраф, передача справи до суду).

Виходячи з проведеного дослідження, можна зробити висновок, що існуючі методи забезпечення безпеки дорожнього руху (БДР) є неадекватними до сучасних економічних умов і потребують суттєвих змін. На сучасному етапі розвитку транспортної інфраструктури України, удосконалення системи контролю за дотриманням правил дорожнього руху (ПДР) є однією з основних задач підвищення безпеки на дорогах та зменшення кількості ДТП.

Нездатність традиційної системи організації безпеки ефективно і надійно запобігати ДТП потребує застосування нових підходів. Для вирішення цієї проблеми необхідний вибір та застосування сучасних стратегій та методів управління безпекою дорожнього руху на протязі всього строку служби транспортної інфраструктури з урахуванням різних режимів її функціонування [10].

На практиці часто трапляються помилки у виборі заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху. Це пов'язано з тим, що багато заходів приймаються на основі аналізу великої кількості ДТП. Для досягнення максимальної ефективності існує багато моделей розподілу коштів на заходи з безпеки дорожнього руху. Однак на практиці теоретичні концепції оптимальності повинні бути доповнені методиками розробки альтернативних заходів [11]. Щоб вирішити ситуацію в області створення системи підвищення безпеки дорожнього руху в міських зонах високої аварійності, необхідно:

- Розробити метод прогнозування аварійності на конфліктних об'єктах, придатний для отримання точних прогнозів як на діючому об'єкті, так і на стадії його проектування.
- Розробити методики прогнозування аварійності для основних типових конфліктів «транспорт – транспорт» і «транспорт – пішохід», які мають місце на регульованих перехрестях.
- Розробити методику розрахунку аварійних втрат.
- Розробити методику вибору та оптимізації прийнятих рішень з організації дорожнього руху на основі розробленої методики розрахунку аварійних втрат і вже існуючих методик розрахунку економічних та екологічних втрат.
- Для впровадження розроблених методів і методик прогнозування аварійності, а також методик розрахунку втрат і оптимізації прийнятих рішень створити комплекс комп'ютерних програм, доступних інженерам з організації дорожнього руху.
- Для контрольної перевірки адекватності ефективності впроваджених заходів на реальних об'єктах модифікувати існуючий метод прогнозування аварійності у конфліктних ситуаціях, щоб підвищити точність прогнозу і зробити його прийнятним для практичного використання в організації дорожнього руху.

Аналіз заходів з підвищення безпеки дорожнього руху (БДР) у місцях концентрації ДТП показує, що найчастіше застосовуються каналізація перехресть і встановлення попереджувальних та інформаційних дорожніх знаків [12]. На їхню частку припадає 38,2% усіх проведених заходів. Хоча ці заходи є найбільш доступними, вони також є одними з найефективніших. При порівнянні заходів з урахуванням їх вартості помітно, що в тих осередках аварійності, де проблему не можна вирішити "дешевими" заходами, доводиться використовувати більш дорогі заходи, такі як будівництво світлофорних об'єктів, підземних пішохідних переходів, перепланування ділянок дороги, створення штучних нерівностей. Зменшення аварійності на дорогах планується здійснити двома способами: створенням штучних нерівностей та впровадженням світлофорного регулювання.

До першого способу належать дві методики – психологічне та фізичне примушення до зниження швидкості руху [13]. Психологічне примушення включає різні засоби, що створюють у водія психологічну потребу зниження швидкості: ефект звуження або викривлення смуги руху; ефект переривання траєкторії руху; частіше мерехтіння спеціальної розмітки; «вузькі ворота»; шумові смуги з наростаючою частотою звукового впливу тощо. До фізичного примушення належать різноманітні пристрої, що викликають фізичну потребу зниження швидкості під загрозою аварії або поломки автомобіля. Це, наприклад, кільцеві перехрестя з малим діаметром центрального острівця; фізичне звуження або викривлення смуги руху; підняті над проїжджою частиною пішохідні переходи; поперечні заглиблення (канави) на проїжджій частині і, нарешті, виступаючі перешкоди (штучні нерівності) різних конструкцій і розмірів. Останні виявилися дешевими і легко пристосовуваними до різних умов, тому отримали найбільше поширення.

Світлофорне регулювання на регульованих перехрестях поділяється на два основні класи – локальне та системне [13]. Локальне регулювання застосовується на окремому перехресті, управління яким не погоджено з управлінням на сусідніх перехрестях. Зазвичай це застосовується, коли перехрестя розташовані на значній відстані (понад 800 м) один від одного і робота одного з них не впливає на роботу інших перехресть. Системне (координоване) регулювання передбачає погоджене управління кількома сусідніми об'єктами, розташованими вздовж однієї вулиці (магістральне), або на кількох, можливо, перехрещених вулицях (мережеве). У містах, особливо великих, зазвичай застосовується координоване регулювання. Як видно з викладеного, вибір параметрів світлофорного циклу на регульованому перехресті, особливо завантаженому, є надзвичайно складним завданням і повністю залежить від досвіду інженера. Оскільки сьогодні відсутні ефективні методики оцінки якості організації дорожнього руху та оптимізації прийнятих рішень, можна стверджувати, що організація руху на регульованих перехрестях далеко не оптимальна. Це є основною причиною неприпустимо високих втрат усіх видів, включаючи аварійні.

З урахуванням викладеного рекомендується обрати штучні нерівності другим (після регульованого перехрестя) методом зниження аварійності на дорогах Тернопільської області та розробити для нього комплексну методику оцінки ефективності застосування. Для цього необхідно розробити методику:

- прогнозування аварійності за статистичним методом для попереднього вибору рішень;
- прогнозування аварійності за методом конфліктних зон для оцінки та оптимізації прийнятих рішень;
- розрахунку аварійних, економічних та екологічних втрат для оцінки соціально-економічної ефективності та оптимізації прийнятих рішень.

Розроблена методика дасть можливість здійснювати дві стратегії вибору комплексів заходів з підвищення безпеки дорожнього руху (БДР): максимізувати зниження шкоди від ДТП при фіксованому виділенні коштів на проведення заходів з підвищення БДР та мінімізувати вкладення грошових коштів для зниження шкоди від ДТП. Нижче наведено деякі приклади комплексів заходів з підвищення БДР, які можуть бути реалізовані за рахунок:

- зменшення швидкості руху за допомогою "спокійних вулиць": встановлення штучних нерівностей, вузьких доріжок та інших фізичних бар'єрів для зниження максимальної можливої швидкості транспорту.

- використання світлофорів із регульованими таймерами: налаштування світлофорів таким чином, щоб мінімізувати ризик аварій, зокрема через зміну інтервалів світлових сигналів під час піків трафіку.

- введення дорожніх знаків зі зниженою швидкістю: встановлення дорожніх знаків, які інформують водіїв про зони з низькою швидкістю у місцях з високою аварійністю.

- розмітка пішохідних переходів: застосування високовидимої розмітки для пішохідних переходів та підсвічування їх у нічний час для покращення безпеки пішоходів.

- установка камер спостереження: використання камер відеоспостереження для моніторингу дотримання правил дорожнього руху і виявлення порушників.

Впровадження запропонованих стратегій безпеки дорожнього руху дозволить: підвищити безпеку дорожньої інфраструктури і зменшити кількість ДТП в цілому; скоротити витрати на усунення наслідків аварій за рахунок аналізу ризиків; зменшити кількість аварій завдяки відмові від непотрібних заходів та зосередженню на ефективних рішеннях; скоротити час реагування на аварійні ситуації за рахунок детального планування заходів безпеки; оптимізувати графік впровадження заходів безпеки та поєднати різні види робіт для зменшення планових витрат; скоротити витрати на придбання необхідних матеріалів завдяки детальному плануванню; знизити витрати на підрядні роботи за рахунок детального планування.

Впровадження прогресивних систем та методів підвищення безпеки дорожнього руху, як правило, первинно витратне, але в подальшому використання запропонованих концепцій дозволить значно зменшити кількість ДТП, підвищити безпеку на дорогах, знизити ризики травматизму та загибелі учасників дорожнього руху, зменшити витрати на усунення наслідків аварій, знизити ризики збитків тощо.

Висновки.

1. Протягом останніх п'яти років кількість ДТП в Тернопільській області значно зросла, досягнувши 2547 випадків у 2023 році, що на 11% більше порівняно з 2022 роком. Основні види ДТП включають зіткнення (50%), наїзд на перешкоду (19%), наїзд на транспортний засіб, що стоїть (16%) та наїзд на пішохода (8%). Найбільше смертей трапляється при наїздах на пішоходів (34%) та зіткненнях транспортних засобів (33%). Аналіз часу доби показав, що найбільша кількість ДТП припадає на період з 16 до 19 годин, коли відбувається понад 40% усіх аварій. Основні причини аварій включають порушення правил маневрування (40% усіх ДТП), перевищення безпечної швидкості (23%), недотримання дистанції (10%), керування транспортним засобом у нетверезому стані (7%) та порушення правил проїзду перехресть (5%).

2. Для зниження рівня аварійності на автошляхах Тернопільської області необхідно розробити та впровадити методики прогнозування аварійності за статистичним методом і методом конфліктних зон, а також методику розрахунку аварійних, економічних та екологічних втрат для оцінки ефективності заходів.

Створення комп'ютерних програм для інженерів з організації дорожнього руху дозволить підвищити точність прогнозування та оптимізації прийнятих рішень. Встановлення світлофорів із регульованими таймерами та додаткових дорожніх знаків у місцях з високою аварійністю, розмітка пішохідних переходів з високою видимістю та підсвічуванням у нічний час, використання камер спостереження для моніторингу дотримання правил дорожнього руху та виявлення порушників також дозволить значно знизити аварійність на автодорогах області.

3. Впровадження прогресивних систем та методів підвищення безпеки дорожнього руху дозволить значно зменшити кількість ДТП, підвищити безпеку на дорогах, знизити ризики травматизму та загибелі учасників дорожнього руху. Додаткові заходи включають роботу з персоналом автогосподарств, контроль за станом дорожньо-транспортної інфраструктури, застосування адміністративних заходів до водіїв та пішоходів, які порушують ПДР. Впровадження зазначених заходів підвищить безпеку дорожнього руху в Тернопільській області, зменшить кількість ДТП та їх тяжкість, а також сприятиме зниженню економічних втрат, пов'язаних з дорожньо-транспортними пригодами.

Список літератури

1. Статистика ДТП в Україні. *Патрульна поліція України*. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 01.07.2024).
2. Оперативний звіт: демографічна статистика та географічний розподіл — опитування загального населення. *Global Data Institute*. URL: <https://dtm.iom.int/reports/operativniy-zvit-demografichna-statistika-ta-geografichniy-rozpodil-opituvannya-zagalnogo> (дата звернення: 01.07.2024).
3. Перелік автомобільних доріг Тернопільської області. *Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України*. URL: https://te.restoration.gov.ua/vodiiam_ta_pereviznykam/perelik_avtomobilnykh_dorih_ternopilskoi_oblasti.html (дата звернення: 01.07.2024).
4. Статистична інформація у категорії Транспорт. *Головне управління статистики у Тернопільській області*. URL: <https://www.te.ukrstat.gov.ua/statinfoTZ.html> (дата звернення: 01.07.2024).
5. Про Правила дорожнього руху: Постанова Кабінету Міністрів України від 10 жовт. 2001 р. № 1306. *Відомості Верховної Ради України*. 2001. № 41. Ст. 1852.
6. Aulin V., Rogovskii I., Lyashuk O., et. al. Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on Harrington's desirability function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. №1(3(127)). P. 37–46.
7. Скрипа Є.В. Щодо проблеми визначення поняття «дорожній рух». *Підприємництво, господарство і право*. 2019. № 2. С. 115–118.
8. Thomas Pyzdek. Pareto Analysis. *Management for Professionals: The Lean Healthcare Handbook*. 2021. №2(14). P. 157-164.
9. Салманова О.Ю. Адміністративно-правові засоби забезпечення міліцією безпеки дорожнього руху : дис. ... канд. юрид. наук : 12.00.07. Харків, 2002. 225 с.
10. Russo F., Vitetta A. Risk evaluation in a transportation system. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2006. №1(2). P. 170–191.
11. Evans, A.W. Estimating transport fatality risk from accident data. *Accident Analysis*. 2003. №35. P. 459–472.
12. Ye F., Lord D. Investigation of effects of underreporting crash data on three commonly used traffic crash severity models: multinomial logit, ordered probit, and mixed logit. *Transp Res Rec: Journal of the Transportation Research Board*. 2011. №2241(1). P. 51-58.
13. Микитюк М.А. Владні повноваження Державної автомобільної інспекції Міністерства внутрішніх справ України: проблеми теорії та практики реалізації у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху : дис. ... канд. юрид. наук: 12.00.07. Київ, 2007. 208 с.

References

1. Statystyka DTP v Ukraini. Patrol'na politsiia Ukrainy [Statistics of Road Traffic Accidents in Ukraine. Patrol Police of Ukraine]. Retrieved from: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> [in Ukrainian].
2. Operatyvnyj zvit: demohrafichna statystyka ta heohrafichnyj rozpodil — opytuvannya zahal'noho naseleння [Operational Report: Demographic Statistics and Geographical Distribution — General

- Population Survey]. Global Data Institute. Retrieved from: <https://dtm.iom.int/reports/operativniy-zvit-demografichna-statistika-ta-geografichniy-rozpodil-opituvannya-zagalnogo> (Last accessed: 01.07.2024) [in Ukrainian].
3. Perelik avtomobil'nykh dorih Ternopil's'koi oblasti. [List of Highways in the Ternopil Region]. *Derzhavne ahentstvo vidnovlennia ta ro-zvytku infrastruktury Ukrainy - State Agency for Restoration and Development of Infrastructure of Ukraine*. Retrieved from: https://te.restoration.gov.ua/vodiiam_ta_pereviznykam/perelik_avtomobilnykh_dorih_ternopilskoi_oblasti.html (Last accessed: 01.07.2024) [in Ukrainian].
 4. Statystychna informatsiia u katehorii Transport [Statistical Information in the Transport Category]. *Holovne upravlinnia statystyky u Ternopil's'kij oblasti - Main Department of Statistics in the Ternopil Region*. Retrieved from: <https://www.te.ukrstat.gov.ua/statinfoTZ.html> (Last accessed: 01.07.2024) [in Ukrainian].
 5. Pro Pravyla dorozhn'oho rukhu: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy [On the Rules of the Road: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine] (2001) . *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy - Official Gazette of the Verkhovna Rada of Ukraine*, 41, 1852 [in Ukrainian].
 6. Aulin, V., Rogovskii, I., Lyashuk, O., et al. (2024). Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on Harrington's desirability function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(3(127)), 37–46.
 7. Skrypa, Ye.V. (2019). Schodo problemy vyznachennia poniattia «dorozhnij rukh» [On the Problem of Defining the Concept of "Road Traffic"]. *Pidpryemnytstvo, hospodarstvo i pravo - Entrepreneurship, Economy and Law*, 2, 115–118 [in Ukrainian].
 8. Pyzdek, T. (2021). Pareto Analysis. *Management for Professionals: The Lean Healthcare Handbook*, 2(14), 157-164.
 9. Salmanova, O.Yu. (2002). Administratyvno-pravovi zasoby zabezpechennia militsiieu bezpeky dorozhn'oho rukhu [Administrative and Legal Means of Ensuring Road Traffic Safety by the Police. *Candidate's thesis*. Kharkiv [in Ukrainian].
 10. Russo, F., Vitetta, A. (2006). Risk Evaluation in a Transportation System. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 1(2), 170–191.
 11. Evans, A.W. (2003). Estimating Transport Fatality Risk from Accident Data. *Accident Analysis*, 35, 459–472.
 12. Ye, F., Lord, D. (2011). Investigation of Effects of Underreporting Crash Data on Three Commonly Used Traffic Crash Severity Models: Multinomial Logit, Ordered Probit, and Mixed Logit. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2241(1), 51-58.
 13. Mykytiuk, M.A. (2007). Vladni povnovazhennia Derzhavnoi avtomobil'noi inspektsii Ministerstva vnutrishnikh sprav Ukrainy: problemy teorii ta praktyky realizatsii u sferi zabezpechennia bezpeky dorozhn'oho rukhu [Authority Powers of the State Automobile Inspectorate of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine: Problems of Theory and Practice of Implementation in the Field of Road Traffic Safety]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

Oleg Lyashuk¹, Prof., DSc., **Dmytro Mironov**¹, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Serhii Lysenko**², Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Andrii Hupka**¹, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Yurii Bodoriak**,³ *Research Forensic*

¹ *Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Ternopil, Ukraine*

² *Central ukrainian national technical university, Kropyvnytskyi, Ukraine*

³ *Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, Ternopil, Ukraine*

Statistical Analysis of Road Traffic Accidents in Ternopil Region and Measures for Reducing Accident Rates

The aim of this study is to analyze the dynamics, causes, and consequences of road traffic accidents (RTAs) in the Ternopil region over the past five years. This analysis seeks to identify the primary types of RTAs, determine the most frequent causes, and propose effective measures to reduce the number of accidents and their severity. By understanding these factors, we aim to enhance road safety and minimize the socio-economic impacts associated with RTAs in this region.

In this study, a comprehensive statistical analysis of RTAs in the Ternopil region was conducted. This analysis revealed a significant increase in the number of accidents, which reached 2547 cases in 2023, an 11% rise compared to 2022. The primary types of accidents identified include collisions (50%), hitting obstacles (19%), hitting stationary vehicles (16%), and pedestrian accidents (8%). The study found that the highest mortality rates occur in pedestrian accidents (34%) and vehicle collisions (33%). Key causes of RTAs were identified as violations of maneuvering rules (40%), speeding (23%), failure to maintain a safe distance (10%), driving under the influence of alcohol (7%), and violations at intersections (5%). Based on these findings, several recommendations were made to enhance road safety. These include the implementation of artificial road

bumps, installation of traffic lights with adjustable timers, additional road signs, high-visibility and illuminated pedestrian crossings, and the use of surveillance cameras to monitor compliance with traffic rules and identify violators. Moreover, the study emphasizes the importance of developing and implementing methodologies for predicting accident rates using statistical methods and conflict zone analysis, as well as calculating accident-related economic and environmental losses to evaluate the effectiveness of proposed measures.

This study underscores the urgent need for improved road safety measures in the Ternopil region. Implementing the recommended strategies and methodologies will significantly reduce the number of RTAs, enhance overall road safety, decrease the risks of injuries and fatalities, and lower the economic costs associated with road traffic accidents. These findings provide a clear roadmap for policymakers and road safety authorities to take actionable steps towards a safer road environment.

road traffic accidents (RTA), road safety, causes of RTAs, accident reduction, traffic injuries, traffic violations, accident prediction

Одержано (Received) 19.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 30.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 659.136

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.106-111](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.106-111)

П.Б. Прогній, ст. вик., канд. техн. наук., **Р.В. Чорний**, канд. техн. наук., **О.В. Чорна**, доц., канд. екон. наук., **М.В. Буряк**, доц., канд. техн. наук., **В.С. Колодій**, асп., **І.Є. Величенко**, асп., **Ю.М. Петришин**, асп.

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

e-mail: rozoom_ruslan@ukr.net

До визначення способу регулювання гальмівних сил причіпної ланки автопоїзда

У статті проаналізовано спосіб покращення гальмівної динаміки автопоїзда. Запропоновано метод регулювання гальмівних сил на колесах причіпної ланки для усунення бортової нерівномірності при її виявленні в процесі сервісного обслуговування гальмівної системи транспортного засобу. Наведено залежність між величиною гальмівного моменту на колесі та плечем прикладання зусилля від гальмівної камери для барабанних гальмівних механізмів з пневматичним приводом. Обґрунтовано спосіб регулювання гальмівних сил, прикладених до колеса, зміною передаточного відношення гальмівного механізму, за рахунок зміни плеча прикладання гальмівного зусилля від гальмівної камери до важеля повороту розтискного кулачка.

гальмування, розподіл гальмівних сил, бортова нерівномірність гальмівних сил, передаточне відношення гальмівного механізму

Постановка проблеми. Із врахуванням умов сучасного функціонування економіки спостерігається зростання рівня вантажоперевезень із використанням автомобільного транспорту. Зокрема, відповідно до даних, наведених Міністерством інфраструктури України, приблизно 60% від усіх вантажних перевезень в Україні у 2021 році здійснено автомобільним транспортом [1]. Згідно із статистичними даними поданими в 2023 році Державною службою статистики України, частка перевезень вантажними автомобілями становила 36,4% від усього експорту та 71,2% від загального обсягу імпорту при транспортуванні товарів [2].

Варто зазначити, що значну частку в транспортних вантажоперевезеннях в Україні здійснюють із використанням дволанкових сідельних автомобільних поїздів, оскільки вони складають основу автопарку більшості вантажоперевізників. Для

ефективного використання автомобільних поїздів в умовах їх максимального завантаження, необхідно забезпечити дотримання ними основних експлуатаційних властивостей, що впливають на безпеку руху, особливо в гальмівних режимах. Зокрема, основну увагу слід звернути на зміни технічного стану автопоїздів, які виникають в умовах їх експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі покращення експлуатаційних властивостей автопоїздів, шляхом врахування змін технічного стану різних систем в умовах їх експлуатації присвячено багато робіт. Аналіз наукових досліджень [3-6] дозволив з'ясувати, що значна частка відмов, які виникають у тягачах та причіпних ланках автопоїздів в умовах експлуатації, припадає на гальмівну та ходову системи. Серед основних несправностей гальмівної системи найбільш часто виокремлюють порушення оптимальних показників регулювання та розподілу гальмівних сил по осях та бортах автопоїзда [7-9]. Поява таких відмов може значно вплинути на стійкість руху автопоїздів та безпеку їх використання. Саме тому, в процесі сервісного огляду причіпних ланок автопоїздів, необхідно забезпечити дотримання оптимальних показників розподілу гальмівних сил по осях та колесах транспортного засобу. Зокрема, більш детального аналізу потребує проблема регулювання гальмівних сил на колесах автопоїзда при виявленні бортової нерівномірності гальмівних сил в процесі сервісного обслуговування транспортних засобів.

Постановка завдання. Обґрунтування способу регулювання бортової нерівномірності гальмівних сил причіпної ланки автопоїзда.

Виклад основного матеріалу дослідження. В якості об'єкту дослідження оберемо тривісний напівпричіп KRONE – SDP 24. Цей напівпричіп оснащений осями виробництва компанії BPW, які мають барабанні гальмівні механізми типу "Simplex" з пневматичним приводом. Для кращого розуміння принципу роботи гальмівної системи, на рисунку 1 представлена схема барабанного гальмівного механізму.

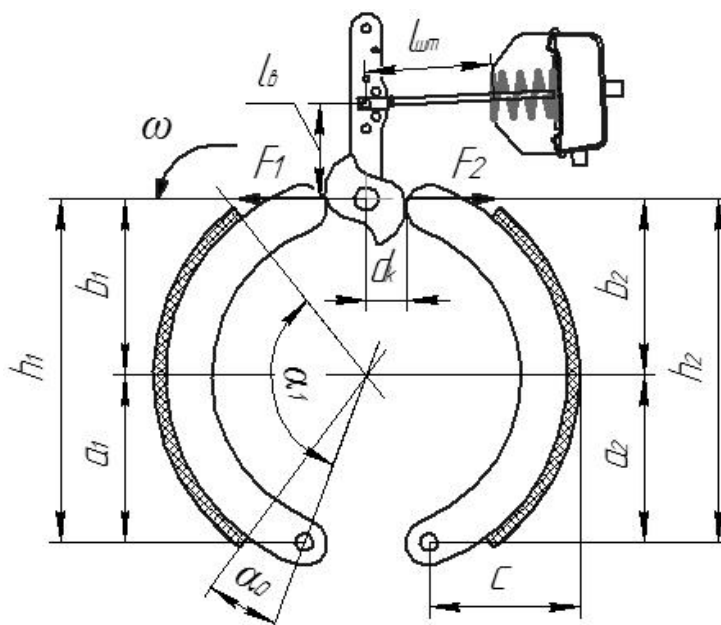


Рисунок 1 – Розрахункова схема гальмівного механізму

Джерело: [10]

Гальмівне зусилля на окремих колесах осей можна регулювати шляхом зміни довжини штока гальмівної камери або плеча, до якого прикладене зусилля гальмівним

циліндром, тобто розташування точки кріплення штока до важеля гальмівного механізму. При натискуванні на педаль гальм у гальмівному механізмі з пневматичним приводом, стиснуте повітря надходить у гальмівну камеру. Шток камери виходить, повертаючи важіль. На одному валу з важелем знаходиться розтискний кулачок колодок гальмівного механізму, який, повертаючись, розтискає колодки та притискає їх до барабана. Таким чином відбувається загальмовування колеса. Для регулювання гальмівного зусилля на колесі необхідно змінити кут повертання важеля. Досягти цього можна змінивши вихід штоку гальмівної камери, або відстань l_6 від осі розпірного кулачка до точки кріплення на важелі штока гальмівної камери.

Для регулювання першим способом, у корпусі важеля знаходиться черв'ячний регулювальний механізм. Закручуючи гвинт-черв'як чи відкручуючи його, відбувається регулювання виходу штоку, а це призводить до більшої чи меншої ступені повертання розпірного кулачка та відповідно сильнішого чи слабшого притискання гальмівних колодок до барабана, як результат, змінюється гальмівне зусилля, прикладене до колеса.

Для можливості регулювання другим способом, важіль виготовлений з отворами для кріплення штока, які по різному розміщені відносно осі. Завдяки різній відстані від осі отворів до осі повертання розтискного кулачка забезпечується можливість регулювання зусилля гальмівного циліндра шляхом зміни довжини плеча прикладання даного зусилля, що збільшує або зменшує гальмівний момент на колесі.

Проаналізуємо зв'язок між значенням гальмівного моменту M_g , який прикладається до колеса, та плечем l_6 прикладання зусилля $F_{гк}$, що створюється гальмівною камерою.

Згідно з прийнятими умовами, розрахуємо величину гальмівного моменту, що діє на колесо, за допомогою рівняння [10]:

$$M_g = \frac{l_6 \cdot F_{гк} \cdot \eta \cdot \mu \cdot (h_1 + h_2)}{d_k \cdot A}, \quad (1)$$

де l_6 – величина плеча прикладеного зусилля від гальмівного циліндра до важеля, м;

$F_{гк}$ – сила, що прикладена гальмівним циліндром, Н;

μ – коефіцієнт тертя гальмівної системи;

η – ККД розтискного кулачка, (0,6...0,7);

h_1, h_2 – плече прикладеного зусилля від кулачка до осі обох колодок, м;

d_k – плече кулачка, м;

A – зведений коефіцієнт, питомого тиску накладки та конструктивних параметрів гальмівного механізму.

Використовуючи рівняння (1), можна обчислити плече прикладання зусилля до важеля гальмівною камерою, знаючи значення гальмівного моменту:

$$l_6 = \frac{M_g \cdot d_k \cdot A}{F_{гк} \cdot \eta \cdot \mu \cdot (h_1 + h_2)}. \quad (2)$$

Отриману залежність можна використовувати для регулювання рівномірності гальмівних сил на колесах окремих осей причіпної ланки у випадку виявлення бортової нерівномірності гальмівних сил в процесі сервісного обслуговування гальмівної системи транспортного засобу.

Розглянемо випадок, коли гальмівні сили нерівномірно впливають на осі напівпричепа, і їх різниця за результатами діагностичного дослідження складає 13%. Приймемо, що до одного із колеса прикладено більший момент $M_г$, а до іншого колеса даний момент становить $0,87M_г$. Отже в даному випадку можна скористатись рівнянням:

$$l'_g = \frac{0,87M_g \cdot d_k \cdot A}{F_{зк} \cdot \eta \cdot \mu \cdot (h_1 + h_2)}. \quad (3)$$

Із рівнянь (2) і (3) визначаємо передаточне відношення важільного механізму приводу розтискного кулачка, яке забезпечує різницю гальмівних зусиль на колесах однієї осі в межах 13%:

$$l'_g / l_g = 0,87; \quad \text{або} \quad l'_g = 0,87l_g. \quad (4)$$

Скориставшись отриманим значенням передаточного відношення, розрахуємо довжину важеля $l_{вм}$, яку потрібно встановити для гальмівного механізму колеса, на якому розвивається менше гальмівне зусилля, щоби збільшити його та звести до мінімуму бортову нерівномірність гальмівних сил.

Виходячи із конструкції гальмівного механізму, шток гальмівного циліндра поєднаний із важелем розтискного кулачка за допомогою отвору 2 (рис. 2), це дозволяє забезпечити довжину плеча (l_g) рівну 130 мм. Залишимо цю довжину важеля для колеса із більшим гальмівним моментом. Довжина важеля $l_{вм}$ повинна бути збільшена відповідно до розрахованого передаточного відношення, рівняння (4), а тому:

$$l_{вм} = 130/0,87 = 149,4 \text{ мм.}$$

Цій довжині приблизно відповідає отвір №3 на важелі приводу розтискного кулачка (150 мм). Зміна точки кріплення штока гальмівної камери в отворі №3 поворотного важеля дозволить збільшити гальмівне зусилля на колесах та зменшити бортову нерівномірність гальмівних сил осі напівпричепа.

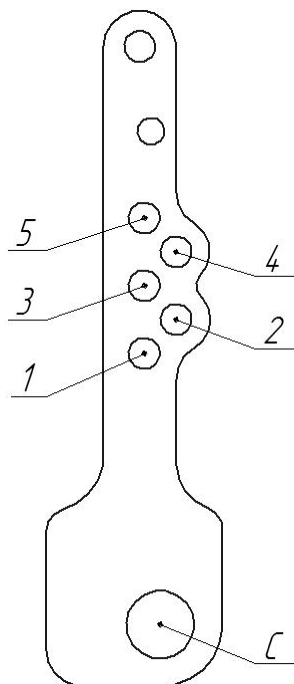


Рисунок 2 – Схема важеля приводу розтискного кулачка

Джерело: [10]

Висновки. Обґрунтовано спосіб регулювання гальмівних сил причіпної ланки автопоїзда в процесі виконання сервісного обслуговування. Даний спосіб дозволяє регулювати гальмівні зусилля на колесах кожної осі напівпричепа шляхом зміни передаточного відношення приводу гальмівного механізму. При цьому враховується гальмівне зусилля, яке розвиває гальмівний механізм кожного колеса осі. Такий підхід дозволяє звести до мінімуму нерівномірність гальмівних сил по бортах причіпної ланки, яка може виникнути в результаті відхилень в роботі гальмівних механізмів, що відбувається під впливом умов експлуатації, наприклад через нерівномірне стирання гальмівних накладок на окремих колесах чи появі відхилень у регулюванні приводу гальмівних механізмів.

Список літератури

1. Міністерство інфраструктури України, звіт за 2021 рік. URL : https://mtu.gov.ua/content/2021_rik.html. (дата звернення: 04.05.2023 р.)
2. Державна служба статистики України. Розподіл експорту-імпорту товарів за видами їх транспортування в 2023 році. URL : https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2024/zd/new/r_tr_23.xls. (дата звернення: 27.02.2024 р.)
3. Експлуатаційна надійність і роботоздатність вантажного автомобільного рухомого складу (scholar.google.com) / Розум Р. І. та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5 (36), ч. 2. С. 201–205.
4. Оцінка міцності та надійності автотранспортних засобів / Буряк М.В. та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2022. Том 15, № 1. С. 17–22
5. Кравченко О. П., Глайборода А. А. Аналіз надійності причіпного складу автопоїздів. *Вісник Східноукраїнського національного університету*. 2003. № 10 (68), ч.1. С. 94-97.
6. Кравченко О. П. Статистичні дослідження порушень роботоздатності причіпного складу автопоїздів європейського виробництва. *Вісник Східноукраїнського національного університету*. 2006. № 7 (101). С. 87-91.
7. Поляков В. М., Приходченко Д. Ю., Шарай С. М. Вплив експлуатаційних факторів на стійкість руху триланкового автопоїзда при гальмуванні. *Вісник СевНТУ*. 2011. Вип. 121. С. 61-64.
8. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 ч. Ч 3. Маневреність. Керованість. Стійкість : навч. посіб. / Сахно В.П. та ін. ЛАНДОН-XXI, 2015. 400 с.
9. Подригало М. А., Коробко А. І. Вплив бортової нерівномірності гальмівних сил на відхилення автомобіля. *Автомобільний транспорт*. 2009. № 24. С. 33-36.
10. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 ч. Ч 2. Плавність ходу та прохідність автотранспортних засобів : навч. посіб. / Сахно В.П. та ін. Вид-во «Ноулідж», 2014. 354 с.

References

1. Ministerstvo infrastruktury Ukrainy, zvit za 2021 rik [Ministry of Infrastructure of Ukraine, report for 2021]. Retrieved from: https://mtu.gov.ua/content/2021_rik.html. (Last accessed: 04.05.2023) [in Ukrainian].
2. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Rozpodil eksportu-importu tovariv za vydamy ikh transportuvannya v 2023 rotsi [State Statistics Service of Ukraine. Breakdown of exports and imports of goods by type of transportation in 2023]. Retrieved from: URL : https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2024/zd/new/r_tr_23.xls. (Last accessed: 27.02.2024) [in Ukrainian].
3. Rozum, R.I. et al. (2022). Ekspluatatsijna nadijnist' i robotozdatnist' vantazhnoho avtomobil'noho rukhomoho skladu [Operational reliability and efficiency of freight automobile rolling stock]. *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences*, 2, 5(36), 201-205 [in Ukrainian].
4. Buriak, M.V. et al. (2022). Otsinka mitsnosti ta nadijnosti avtotransportnykh zasobiv [Assessment of the strength and reliability of motor vehicles]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu – Bulletin of mechanical engineering and transport*, 15, 1, 17–22 [in Ukrainian].

5. Kravchenko, O. P. & Hlajboroda, A. A. (2003). Analiz nadijnosti prychipnoho skladu avtopoizdiv [Reliability analysis of trailed combination of road trains]. *Visnyk Skhidnoukrains'koho natsional'noho universytetu – Bulletin of the Eastern Ukrainian National University*, 10(68), 1, 94-97 [in Ukrainian].
6. Kravchenko, O.P. (2006). Statystychni doslidzhennia porushen' robozdatnosti prychipnoho skladu avtopoizdiv ievropejs'koho vyrobnytstva [Statistical studies of working capacity failures of European road train's trailers]. *Visnyk Skhidnoukrains'koho natsional'noho universytetu – Bulletin of the Eastern Ukrainian National University*, 7(101), 87-91 [in Ukrainian].
7. Poliakov, V. M., Prykhodchenko, D. Yu. & Sharaj, S. M. (2011). Vplyv ekspluatatsijnykh faktoriv na stijkist' rukhu trylankovoho avtopoizda pry hal'muvanni [Influence of operational factors on the stability of a three-unit road train during braking]. *Visnyk SevNTU – Bulletin of SevNTU*, 121, 61-64 [in Ukrainian].
8. Sakhno, V.P. et al. (2015). *Ekspluatatsijni vlastyivosti avtotransportnykh zasobiv. Manevrenist'. Kerovanist'. Stijkist' [Operational properties of motor vehicles. Maneuverability. Controllability. Stability]*. (Vols. 1-3; Vol. 3). LANDON-KhKhI [in Ukrainian].
9. Podryhalo, M. A. & Korobko, A. I. (2009). Vplyv bortovoi nerivnomirnosti hal'mivnykh syl na vidkhylennia avtomobilia [The effect of on-board non-uniformity of braking forces on vehicle deflection]. *Avtomobil'nyj transport - Automobile transport*, 24, 33-36 [in Ukrainian].
10. Sakhno, V.P. et al. (2014). *Ekspluatatsijni vlastyivosti avtotransportnykh zasobiv. Plavnist' khodu ta prokhdnist' avtotransportnykh zasobiv [Operational properties of motor vehicles. Smoothness of movement and passability of motor vehicles]*. (Vols. 1-3; Vol. 2). Vyd-vo «Noulidzh» [in Ukrainian].

Pavlo Prohni, Senior Lecturer, PhD tech. sci., **Ruslan Chorny**, Senior Lecturer, PhD tech. sci., **Olha Chorna**, Assoc. Prof., Ph.D of Economic sciences, **Mykola Buriak**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Viktor Kolodii**, post-graduate, **Ihor Velychenko**, post-graduate, **Yurii Petryshyn**, post-graduate
Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

Research of braking dynamics of a road train

The article analyzes the ways to improve the operational properties of road trains, by taking into account changes in the technical condition of various systems under their operating conditions.

It has been established that a significant proportion of failures that occur in tractors and trailer links of road trains in operating conditions fall on the braking and running systems, and among the main malfunctions of the braking system, violations of the optimal indicators of regulation and distribution of braking forces along the axles and sides of the road train are most often singled out. The appearance of such failures can significantly affect the stability of road trains and the safety of their use. That is why, during the service inspection of the trailer links of road trains, it is necessary to ensure compliance with the optimal indicators of the distribution of braking forces on the axles and wheels of the vehicle. A method of adjusting the braking forces on the wheels of the towing link is proposed to eliminate the on-board unevenness when it is detected in the process of servicing the braking system of the vehicle. The relationship between the magnitude of the braking moment on the wheel and the arm of applying force from the brake chamber for drum brake mechanisms with a pneumatic drive is given. The method of regulating the braking forces applied to the wheel by changing the gear ratio of the brake mechanism by changing the arm of applying the braking force from the brake chamber to the cam rotation lever is justified.

This approach allows you to minimize the unevenness of the braking forces along the sides of the trailer link, which can occur as a result of deviations in the operation of the braking mechanisms, which occurs under the influence of operating conditions, for example, due to uneven wear of the brake linings on individual wheels or the appearance of deviations in the adjustment of the drive of the braking mechanisms.

stability, braking, two-link road train, normal reactions of the bearing surface, straight-line motion, curved motion

Одержано (Received) 23.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 03.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 629.331

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.112-118](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.112-118)

О.П. Захарчук, доц., канд. техн. наук, **В.О. Кисіль**, здобувач вищої освіти гр. ТА-41, **О.С. Шевчук**, доц., канд. техн. наук, **Н.М. Фалович**, доц., канд. екон. наук, **В.Б. Захарчук**, асп.

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

e-mail: olenaskyba8500@gmail.com, kusi14321@gmail.com, oksana_shevchuk84@ukr.net, n.falovych@gmail.com, zaharchuk100182@gmail.com

Оцінка економічної ефективності оптимізації трансмісії пасажирських автобусів типу Setra S 417

Створення та впровадження технологій, спрямованих на підвищення паливної ефективності, стає центром уваги автовиробників. Це може передбачати вдосконалення двигунів, використання менш щільних матеріалів для створення автомобілів, впровадження альтернативних джерел енергії, а також розробку ефективних трансмісій. У статті запропоновано реконструкцію трансмісії, шляхом заміни шестерень головної передачі, з метою зміни передавального числа трансмісії пасажирського автобуса типу Setra S 417. Досліджуваний ТЗ експлуатується на автотранспортному підприємстві ФОП "TRAVELBUS TERNOPIL". Проведено тягово-швидкісний розрахунок автобуса із уніфікованою трансмісією розрахунок, розраховано паливно-економічну характеристику та встановлено зниження середніх витрат паливно-мастильних матеріалів. Ефективність проведеної уніфікації перевірено на різних напрямках, та встановлено, що найбільша економічність була досягнута на швидкісній трасі. На маршрутах із гірською місцевістю така уніфікація не доцільна.

трансмісія, головна передача, коробка перемикання передач, передавальне число, експлуатаційні характеристики пасажирського автобуса, паливна економічність

Постановка проблеми. Автомобільний транспорт має вирішальне значення для української економіки, він підтримує майже всі галузі економіки та населення. Ефективне функціонування цього сектора має вирішальне значення для стабілізації, розвитку та структурного реформування економіки. Технічна підготовка автомобільних пристроїв повинна забезпечувати їх перспективність і конкурентоспроможність на глобальному рівні, високу ефективність і відповідність екологічним нормам [1]. Одним із потенційних шляхів підвищення цих властивостей є впровадження оптимальних параметрів трансмісії в конструкції автомобілів. Ці параметри виводяться з числа передач і значення передавального числа для кожної з передач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Способами покращення паливної економічності, а також екологічної безпеки транспортних засобів, оснащених дизельними двигунами проаналізовані Абляскіним О. І., який відзначив найперспективніші напрямками розроблення покращеної системи подачі палива [7]. Грицук І. В. займався дослідженнями паливної економічності вантажних транспортних засобів залежно від умов експлуатації [8]. Його праці присвячені розрахунку оптимальних витрат паливно мастильних матеріалів вантажних автомобілів при транспортуванні ними за допомогою засобів інтелектуальних транспортних систем залежно від умов експлуатації. Розглядаючи пасажирські автобуси, які задіяні у міжміських перевезеннях, доцільно провести порівняльну характеристику залежності витрат палива транспортного засобу комплектованого трансмісіями з різним діапазоном передавальних чисел [2].

Постановка завдання. Розрахунок передавальних чисел трансмісії пасажирського

автобуса до та після заміни шестерень головної передачі. Розрахунок паливно-економічної характеристики автобуса до та після уніфікації трансмісії. Перевірка на практиці питомих витрат палива автобуса на різних маршрутах та встановлення у яких умовах експлуатації відзначається зниження середніх витрат палива.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянуто модель пасажирського автобуса Setra S 417 (рис. 1).



Рисунок 1 – Пасажирський автобус Setra S 417

Джерело: розроблено авторами

Setra S 417 — це високоякісний туристичний автобус, вироблений німецькою компанією Setra, яка є частиною концерну Daimler AG. Цей автобус відомий своєю надійністю, комфортом та інноваційними технологіями, що робить його популярним вибором для міжміських перевезень і тривалих подорожей. Досліджуваний транспортний засіб експлуатується на автотранспортному підприємстві ФОП “TRAVELBUS TERNOPIL” [9].

КПП (коробка перемикачів передач) Mercedes-Benz GO 190 [10] конструктивно виконана за традиційною три вальною схемою., є 6-ступеневою із передавальними числами u_{ki} у межах 8,31..1.

З метою зменшення витрат пального в умовах здійснення транспортним засобом дальніх рейсів проведено заміну головної передачі трансмісії на головну пару із меншим передавальним числом. За відомими формулами [3] поведено розрахунок передавальних чисел трансмісії U_j транспортного засобу до та після уніфікації та зведено у таблицю 1.

Таблиця 1 – передавальні числа КПП та трансмісії до та після уніфікації

передача	I	I	II	IV	V	VI
u_{ki}	8,31	4,65	2,79	1,81	1,25	1
U_j , до уніфікації	77.434	43.33	25.998	16.866	11.648	9.318
U_j , після уніфікації	59.129	33.087	19.852	12.879	8.894	7.115

Джерело: розроблено авторами

Заміна головного редуктора це процес непростий і зазвичай проводиться не виконується кінцевим користувачем, а у спеціалізованому автосервісі або майстерні. Цей процес полягає у тому, що потрібно видалити та замінити шестерні головної передачі пасажирського автобуса, для чого необхідно розбирати значну частину трансмісійної системи [4]. Важливо враховувати, що такі зміни можуть впливати на правильну роботу трансмісії та інших систем автомобіля. Вибір інших передавальних

чисел може змінити динаміку руху, ефективність пального, але також може створювати технічні проблеми, якщо не враховані всі аспекти [5]. Для виконання цієї роботи потрібне спеціальне обладнання та досвід. Одним із видів діяльності підприємства є “Технічне обслуговування та ремонт автотранспортних засобів” (45.20), тому є можливість провести заміну на підприємстві.

Практична ефективність експлуатації оптимізованої трансмісії практично досліджена для пасажирських автобусів автотранспортного підприємства, які задіяні на різних напрямках, зокрема за маршрутом Тернопіль–Харків. Динамічні характеристики автотранспортного засобу до та після проведення уніфікації коробки перемикачів швидкостей представлені у таблиці 2.

Розраховано вартість такої модернізації.

$$C = C_1 + C_2, \quad (1)$$

де C_1 – ціна запчастин, грн;

C_2 – витрати на роботу майстра, грн.

Скориставшись каталогом підраховано приблизну ціну запчастин $C_1 \sim 10800$ грн. На автотранспортному підприємстві ФОП “TravelBus Ternopil” заробітна плата механіка приблизно становить 410 грн/год. Реконструкція КПП тривала приблизно 5 годин, таким чином повна вартість проведеної реконструкції приблизно $C = 12850$ грн.

Розраховано техніко-економічні показники.

Витрати пального автобуса розраховано за із залежності [6]:

$$V_1 = \frac{L}{100} \cdot r_1 \cdot c; \quad (2)$$

$$V_2 = \frac{L}{100} \cdot r_2 \cdot c; \quad (3)$$

де c – вартість пального, грн;

L – довжина маршруту, км;

r_1 – середній розхід палива до уніфікації, л/100км;

r_2 – середній розхід палива після уніфікації, л/100км;

V_1 – витрати пального до уніфікації;

V_2 – витрати пального після уніфікації

Для порівняльного аналізу середні результати розрахунків витрати палива до та після модернізації трансмісії дослідних автомобілів на різних маршрутах зведені в таблицю 2. Встановлено, що найбільша економія досягається на трасі Тернопіль-Щецин, де переважають швидкісні маршрути. Найменша економія на маршруті Тернопіль-Харків, так як якість доріг на цьому напрямку нижча, тому на такий маршрут більше підходить тягова, а не швидкісна трансмісія.

Таблиця 2 – Витрати дизельного пального автобуса Setra S 417 до та після модернізації трансмісії на різних напрямках

Напрямок	Середні витрати дизельного пального л/100км	
	до модернізації	після модернізації
Тернопіль-Яремче	39	42,5
Тернопіль-Миколаїв	39,1	36,04
Тернопіль-Запоріжжя	39	36,3
Тернопіль-Щецин	36,9	34,8
Тернопіль-Сонячний берег	37	34,9
Тернопіль-Албена	37,3	35,1

Джерело: розроблено авторами

Середній розхід дизельного пального за напрямком Тернопіль-Миколаїв. Протяжність маршруту (через м. Київ) $L = 750$ км. Вартість дизельного палива для підприємств, $c = 62$ грн/л до удосконалення трансмісії $r_1 = 39,1$ л/100км, після модифікації середні витрати дизельного пального для даного автотранспортного засобу на маршруті становлять $r_2 = 36,04$ л/100км. Провівши розрахунки визначимо, що витрати дизельного пального до модернізації (3) $V_1 = 18181$ грн., а розхід уніфікованого автобуса на даному становлять $V_2 = 16758$ грн. (3)

Отже економія з одного рейсу:

$$E = V_1 - V_2 \quad (4)$$

$$E = 1423 \text{ грн.}$$

Визначимо термін, за який така модернізація себе окупить:

$$N = C/E \quad (5)$$

$$N = 7,58 \text{ рейсів.}$$

Таким чином удосконалення трансмісії на маршруті Тернопіль-Миколаїв окупиться за сім рейсів.

Проведемо розрахунок техніко-економічних показників за напрямком Тернопіль-Сонячний берег. Протяжність маршруту становить $L = 1240$ км. Витрати дизельного пального до реконструкції трансмісії всередньому $r_1 = 37$ л/100км, а середній розхід після зміни передавального числа трансмісії $r_2 = 34,9$ л/100км. Таким чином витрати дизельного пального після реконструкції трансмісії становить (2):

$$V_1 = 24041 \text{ грн.}$$

Витрати пального після модернізації становлять (3):

$$V_2 = 22676 \text{ грн.}$$

Розраховано економічну доцільність проведеної модернізації та визначено, що у розрахунок на один повний рейс перевізник економить (4):

$$E = 1365 \text{ грн.}$$

Розраховано терміни окупності даної модифікації:

$$N = 8,1 \text{ рейсів}$$

Таким чином ми можемо зробити висновок, що уніфікація коробки перемикачів та передач за маршрутом Тернопіль-Сонячний берег окупиться за вісім рейсів.

Проведено розрахунок паливно економічної характеристики транспортного засобу та під час його експлуатації різними маршрутами, та встановлено, що витрати пального були знижені на вісім відсотків, що підтвердило економічну доцільність проведеної оптимізації. В результаті проведених розрахунків визначено, що така уніфікація виправдає себе за вісім рейсів на маршруті Тернопіль-Миколаїв

Доцільність удосконалення трансмісії практично перевірена на різних маршрутах, таких як Тернопіль-Яремче, Тернопіль-Запоріжжя, Тернопіль-Албена, Тернопіль-Щецин, Тернопіль-Колбжег, Тернопіль-Сонячний берег. Визначено терміни окупності запропонованої уніфікації на різних маршрутах з різним рівнем витрат пального. На підставі проведених експериментальних та розрахункових досліджень підтверджено доцільність трансмісії на автобусах Setra S 417.

Висновки. У даній роботі досліджено та економічно обґрунтовано модифікацію трансмісії, замінивши шестерні головної передачі. Це спрямовано на підвищення передавального числа колінчастого вала та зменшення споживання пального. Обрано автобус Setra S 417, що здійснює 80% перевезень на автотранспортному підприємстві ФОП "TRAVELBUS TERNOPII", для впровадження покращень у трансмісії шляхом

уніфікації механічної трансмісії. В результаті вдосконалення підвищено швидкісні характеристики та досягнуто економію пального. Проведено порівняльні розрахунки динамічних та паливно-економічних показників до та після модернізації трансмісії, що підтверджують ефективність запропонованих змін. Доцільність удосконалення трансмісії практично перевірена на різних маршрутах, таких як Тернопіль-Яремче, Тернопіль-Запоріжжя, Тернопіль-Албена, Тернопіль-Щецин, Тернопіль-Колбжег, Тернопіль-Сонячний берег. Визначено терміни окупності запропонованої уніфікації на різних маршрутах з різним рівнем витрат пального. На підставі проведених експериментальних та розрахункових досліджень підтверджено доцільність трансмісії на автобусах Setra S 417. водночас середні витрати палива при здійсненні автобусного туру Карпатами на автобусі із уніфікованою трансмісією стали більшими, так як проведена уніфікація знижує тягові характеристики автотранспортного засобу, отже є недоцільною для транспортних засобів, котрі експлуатуються у гірській місцевості. Таким чином проведене покращення доцільне при особливих умовах експлуатації пасажирських автобусів, а саме таких, які здійснюють перевезення швидкісними трасами.

Список літератури

1. Rozum R.I., Buriak M. V., Zakharchuk O. P. Innovative engines in the history of automobile building. *Modern engineering and innovative technologies*. 2021. Issue 18. Part 2. P. 64–67. URL: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit18-02/meit18-02>
2. Захарчук О.П., Розум Р.І., Буряк М.В., Фалович Н.М., Чорна О.В. Оцінка економічної ефективності удосконалення трансмісії пасажирських автобусів типу Van Hool асрон 915 та NEOPLAN N316/3 U1 Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей: матеріали VII міжнарод. наук.-прак. конф. (м. Луцьк, 14-16 черв. 2022 р.). Луцьк, 2022. – 184 с. С.172-174 URL: <http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/15420/1/Muzykin.pdf>
3. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи для бакалаврів спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами транспорту)» за темою: «Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів» / О.В. Дерюгін, О.О. Третьяк, М.А. Весела ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ«ДП», 2020. – 21 с.
4. Lysenko S., Aulin V., Hrinkiv A., Dykha A., Chernovol M., Lyashuk O. Substantiation of diagnostic parameters for determining the technical condition of transmission assemblies in trucks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2, Issue No 1 (92) P. 4-13 <https://dspace.kntu.kr.ua/server/api/core/bitstreams/b16292ad-d714-405b-b73a-e5f163889f19/content>
5. Atiyeh Vaezipour, Andry Rakotonirainy, Narelle Haworth. Reviewing in-vehicle systems to improve fuel efficiency and road safety. 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015.- Procedia Manufacturing 3 (2015) P. 3192 – 3199
6. Динаміка автомобільних та інших транспортних засобів. Ч. 1. Тягово-швидкісні властивості автотранспортних засобів. Паливна економічність : навч. посіб. / Сохачький А. В., Трофімов О. В., Фірсов О. Д.. Дніпро : Університет митної справи та фінансів, 2018. 56 с.
7. Абляскін О.І., Курило Є. В. Методи підвищення паливної економічності та екологічної безпеки автомобілів з дизельними двигунами. *Вісник Національного технічного університету "ХПИ". Сер.: Транспортне машинобудування*. 2013. № 32. С. 3-9. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vcpitm_2013_32_3
8. Дослідження паливної економічності вантажних транспортних засобів в умовах експлуатації / Грицук І.В. та ін. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2023. №1 (20). С. 138-145
9. Пасажирські перевезення Тернопіль TravelBus : веб-сайт. URL: <http://travelbus.te.ua/>
10. Туристичні автобуси : веб-сайт. URL: <https://www.buskyiv.com/index.php/uk/>

References

1. Rozum, R.I., Buriak, M. V., Zakharchuk, O. P. (2021) Innovative engines in the history of automobile building. *Modern engineering and innovative technologies*. Sergeieva&Co Karlsruhe (Germany). – Issue 18. Part 2. P. 64 – 67. <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit18-02/meit18-02> [in English].

2. Zakharchuk, O.P., Rozum, R.I. Buryak, M.V., Falovych, N.M. & Chorna, O.V. (2022) Otsinka ekonomichnoi efektyvnosti udoskonalennia transmisii pasazhyrskikh avtobusiv typu Van Hool acron 915 ta NEOPLAN N316/ 3 UI [Evaluation of the economic effectiveness of improving the transmission of Van Hool acron 915 and NEOPLAN N316/3 UI passenger buses]. Scientific and applied aspects of automobile and transport and road industries: VII mizhnarod. nauk.-prak. konf. (14-16 cherv.) - VII International. science-practice conf. (pp. 172-174). Luts'k. Retrieved from: <http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/15420/1/Muzykin.pdf> [in Ukrainian].
3. Deriuhin, O.V., Tretiak, O.O. & Vesela, M.A. (2020). *Metodychni rekomendatsii do vykonannia kvalifikatsijnoi roboty dlia bakalavriv spetsial'nosti 275 «Transporti tekhnolohii (za vydamy transportu)» za temoiu: «Ekspluatatsijni vlastyvoli avtotransportnykh zasobiv» [Methodological recommendations for the performance of qualification work for bachelors of specialty 275 "Transport technologies (by types of transport)" on the topic: "Operational properties of motor vehicles"]*. Dnipro: NTU«DP» [in Ukrainian].
4. Lysenko S., Aulin V., Hrinkiv A., Dykha A., Chernovol M., Lyashuk O. (2018) Substantiation of diagnostic parameters for determining the technical condition of transmission assemblies in trucks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 2, Issue No 1 (92) P. 4-13 <https://dspace.kntu.kr.ua/server/api/core/bitstreams/b16292ad-d714-405b-b73a-e5f163889f19/content> [in English].
5. Atiyeh Vaezipour, Andry Rakotonirainy, Narelle Haworth. (2015) Reviewing in-vehicle systems to improve fuel efficiency and road safety. 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015.- *Procedia Manufacturing* 3 P. 3192 – 3199 https://www.researchgate.net/publication/280614079_Reviewing_In-vehicle_Systems_to_Improve_Fuel_Efficiency_and_Road_Safety [in English].
6. Sokhats'kyj, A. V., Trofimov, O. V. & Firsov, O. D. (2018). *Dynamika avtomobil'nykh ta inshykh transportnykh zasobiv. Ch. 1. Tiahovo-shvydkisni vlastyvoli avtotransportnykh zasobiv. Palyvna ekonomichnist' [Dynamics of automobiles and other vehicles. Part 1. Traction and speed properties of motor vehicles. Fuel efficiency]*. Dnipro: Universytet mytnoyi spravy ta finansiv https://document.kdu.edu.ua/info_zab/274_468.pdf [in Ukrainian].
7. Abliaskin, O.I. & Kurylo, Ye. V. (2013). *Metody pidvyschennia palyvnoi ekonomichnosti ta ekolohichnoi bezpeky avtomobiliv z dyzel'nymy dvyhunamy [Methods of increasing fuel efficiency and environmental safety of cars with diesel engines]*. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Ser.: Transportne mashynobuduvannia. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser.: Transport engineering, 32, 3-9*. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vcpitm_2013_32_3 [in Ukrainian].
8. Hrytsuk, I.V. et al. (2023). *Doslidzhennia palyvnoi ekonomichnosti vantazhnykh transportnykh zasobiv v umovakh ekspluatatsii [Research on the fuel efficiency of cargo vehicles under operating conditions]*. *Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti - Modern technologies in machine building and transport, 1 (20)*, 138-145 [in Ukrainian].
9. *Pasazhyrski perevezennia Ternopil' TravelBus [Passenger transportation Ternopil TravelBus]*. Retrieved from: <http://travelbus.te.ua/> [in Ukrainian].
10. *Turystychni avtobusy [Tourist buses]*. Retrieved from: <https://www.buskyiv.com/index.php/uk/> [in Ukrainian].

Olena Zakharchuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Victoria Kysil**, the recipient of higher education,

Oksana Shevchuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Nataliia Falovych**, Assoc. Prof., Ph.D econ. sci.,

Vasyl Zakharchuk, post-graduate

Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

Assessment of the Economic Effectiveness of Optimizing the Transmission of Setra S 417 Passenger Buses

The creation and implementation of technologies aimed at increasing fuel efficiency is becoming the focus of attention of car manufacturers. This may involve improving engines, using less dense materials to build cars, developing efficient transmissions, and implementing alternative energy sources. Changing the gear ratio of the main gear affects the force and speed of rotation of the car's wheels. When reducing the gear ratio (using a higher gear), the torque increases, but the speed of rotation of the wheels, which is used to overcome large obstacles or climb, decreases. Conversely, increasing the gear ratio (using a lower gear) decreases torque but increases wheel speed, resulting in higher speeds on flat surfaces.

The effect of changing the gear ratio on fuel performance can be a bit complex. Basically, using a lower gear ratio (higher gear) can help save fuel at high speeds or when driving on level roads, because the engine can

run more efficiently at lower rpm. However, in mountain conditions or when driving at low speeds, when more torque is needed, using a higher gear can result in more fuel consumption.

The article proposes the reconstruction of the transmission, by replacing the gears of the main transmission, in order to change the gear ratio of the transmission of the Setra S 417 type passenger bus. The vehicle under study is operated at the "TRAVELBUS TERNOPII" transport enterprise. The traction-speed calculation of a bus with a unified transmission was carried out, the fuel-economical characteristic was calculated, and a reduction in the average consumption of fuel and lubricants was established. The effectiveness of the conducted unification was tested in different directions, and it was established that the greatest efficiency was achieved on the expressway. Such unification is not advisable on routes with mountainous terrain.

transmission, main gear, gearbox, gear ratio, operational characteristics of a passenger bus, fuel efficiency

Одержано (Received) 25.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 04.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 629.331

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.118-126](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.118-126)

О. П. Захарчук, доц., канд. техн. наук, **А. О. Денис**, здобувач вищої освіти гр. ТАЗ-41, **О. С. Шевчук**, доц., канд. техн. наук, **Н. М. Фалович**, доц., канд. екон. наук, **В. Б. Захарчук**, асп.

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

e-mail: olenaskyba8500@gmail.com, nastadenis766@gmail.com, oksana_shevchuk84@ukr.net, n.falovych@gmail.com, zaharchuk100182@gmail.com

Удосконалення трансмісій міських пасажирських автобусів ЛАЗ-5208 LN

Важливу роль у функціонуванні міст та забезпеченні життєдіяльності населення відіграє міський пасажирський транспорт. Зміна передавального числа трансмісії може впливати на характеристики міських пасажирських автобусів у різних аспектах. Враховуючи специфічні роботи міського транспорту, мета і задачі дослідження було визначено як розробка і обґрунтування технічних вдосконалень вузлів і агрегатів автобусів ЛАЗ. У статті запропоновано провести реконструкцію коробки перемикачів передач (КПП) з метою оптимізації передавального числа трансмісії до спеціальних умов експлуатації міського транспорту, а саме руху в режимі старт-стоп. Проведено розрахунки динамічних властивостей та параметрів розгону транспортного засобу до та після реконструкції коробки перемикачів швидкостей. Було встановлено, що автобус із модернізованою трансмісією володіє кращими динамічними характеристиками, а саме швидкістю прискорення.

трансмісія, зчеплення, передавальне число, прискорення, експлуатаційні характеристики пасажирського автобуса

Постановка проблеми. Трансмісії міських пасажирських автобусів можуть мати деякі специфічні особливості, враховуючи їхнє призначення та умови експлуатації [1, 2]. Трансмісії міських автобусів можуть бути налаштовані для частого розгону та гальмування, що характерно для руху в міському трафіку з численними зупинками [9]. Враховуючи те, що міські автобуси часто рухаються з низькими швидкостями в густонаселених міських районах, трансмісії можуть бути оптимізовані для ефективності при низьких швидкостях. Деякі міські автобуси можуть бути обладнані автоматичними трансмісіями для полегшення водіївського процесу і підвищення комфорту пасажирів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням залежності часу розгону автомобілів від їхніх основних параметрів присвячені праці О.Б. Стефановського [4]. Осетров О.О. провів аналіз впливу маси автомобіля, номінальної потужності двигуна, режиму і часу перемикання передач, радіуса коліс, висоти автомобіля, коефіцієнта аеродинамічного опору на динаміку розгону автомобіля [5]. У попередніх працях авторів представлено методи уніфікації трансмісій пасажирських автобусів, з метою покращення швидкісних та паливно-економічних характеристик транспортного засобу [6]. Розглядаючи пасажирські автобуси, які експлуатуються в умовах міського руху, доцільно провести порівняльну характеристику залежності параметрів розгону транспортного засобу комплектованого трансмісіями з різним діапазоном передавальних чисел.

Постановка завдання. Розрахунок передавальних чисел трансмісії пасажирського автобуса до та після заміни трьох пар шестерень коробки передач. Розрахунок динамічних характеристик автобуса та параметрів розгону до та після уніфікації трансмісії.

Виклад основного матеріалу дослідження. ЛАЗ-5208 NL - це низькопідлоговий міський автобус, виготовлений Львівським автобусним заводом (ЛАЗ) в Україні. Модель розроблена з урахуванням сучасних вимог до міського транспорту, забезпечуючи комфорт та доступність пасажирів, включаючи людей з обмеженими можливостями.

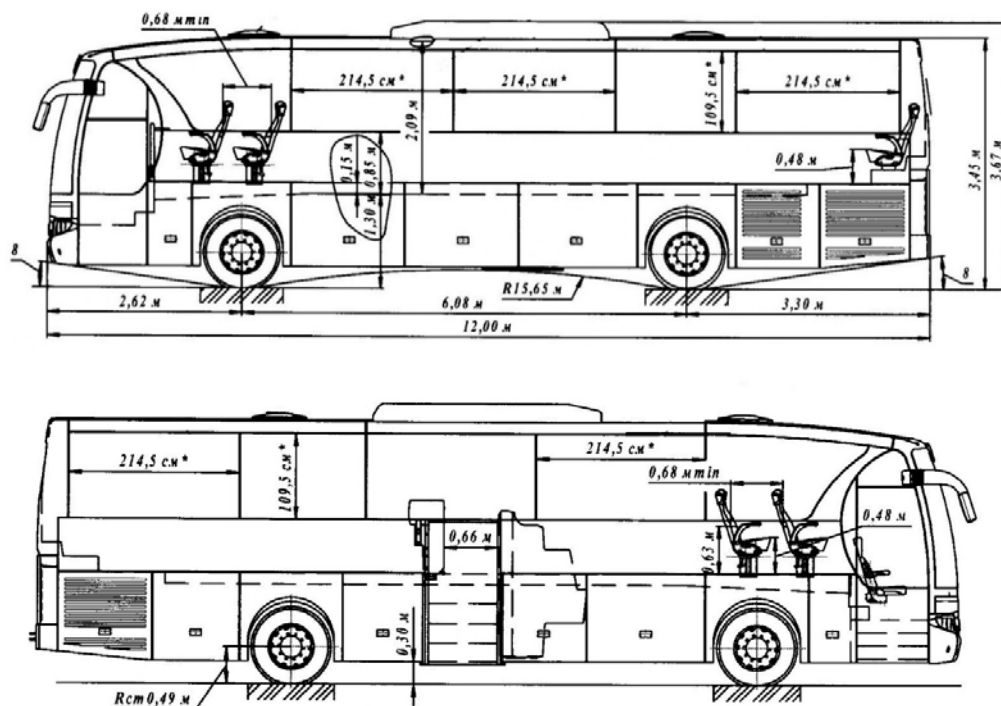


Рисунок 1 - Номінальні значення основних розмірів автобуса ЛАЗ-5208 NL

Джерело: складено авторами на підставі [7]

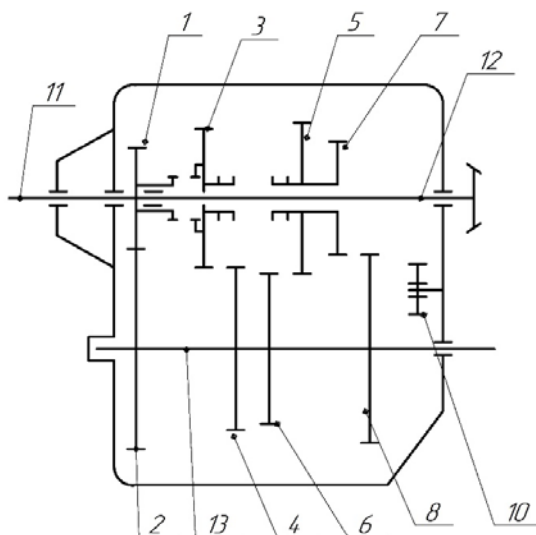
На досліджувальному транспортному засобі встановлено шестициліндровий дизельний двигун MAN D2866 LOH 29 є, який зазвичай використовується в автобусах і вантажівках.

Таблиця 1 - Основні характеристики двигуна MAN D2866 LOH 29

Параметр	Значення
Тип двигуна	Рядний 6-циліндровий дизельний двигун з турбонаддувом
Робочий об'єм	11.967 літрів (11 967 см ³)
Максимальна потужність	290 к.с. (213 кВт) при 2 200 об/хв
Максимальний крутний момент	1 160 Нм при 1 400 об/хв
Номінальна частота обертання, nN	1800 обертів на хвилину (об/хв).
максимальна потужність двигуна при номінальній частоті обертання $N_{\text{емax}}$,	158 кВт

Джерело: складено авторами на підставі [8]

На даний транспортний засіб встановлена тривальна механічна 8-ступінчата коробка перемикання передач ZF s8 1900 кінематична схема представлена на рис. 2 складається з співвісно розташованих первинного і вторинного валів і проміжного валу. Первинний вал і проміжний вал з'єднані парою циліндричних шестерень постійного зачеплення - провідною і веденою, що утворюють передатне число першого ступеня коробки передач. На кінці вторинного валу видобутку встановлено або виконана за одне з ним провідна кінцева шестерня 9 центральної передачі трансмісії.



1..10 – шестерні; 11 – первинний вал; 12 - вторинний вал; 13 – проміжний вал

Рисунок 2 – Кінематична схема КПП ZF s8 1900

Джерело: розроблено авторами на підставі [9]

На проміжному валу жорстко закріплені провідні шестерні переднього ходу. У зачеплення з ними входять зубчасті вінці ведених кареток вторинного валу, утворюючи тим самим передавальні числа другого ступеня цієї коробки передач. На проміжному валу закріплена провідна шестерня передачі заднього ходу, що знаходиться в постійному зачепленні з однорядна «паразитною» шестернею.

На шліцах вторинного валу встановлені типові однорядна і дворядна 6 каретки і комбінована однорядна каретка з зубчастою блокувальною напівмуфтою. Остання при переміщенні каретки вліво входить в зачеплення з зубчастою напівмуфтою в торці валу. Оскільки потужність, що передається, мине в цьому випадку шестеренні передачі, така передача називається прямою.

Таблиця 2 - Параметри шестерень коробки перемикачів передач до та після уніфікації

Позиція	Кількість зубів до уніфікації	Кількість зубів після уніфікації	Вал
1	29	29	Первинний
2	31	31	Проміжний
3	27	29	Вторинний
4	33	23	Проміжний
5	34	33	Вторинний
6	27	19	Проміжний
7	39	38	Вторинний
8	21	16	Проміжний
9	35	35	Вторинний
10	19	19	Паразитна шестерня

Джерело: розроблено авторами

З метою забезпечення кращих показників розгону пасажирського автобуса було прийняте рішення замінити три пари шестерень проміжному та вторинному валах з метою підвищення загального передавального числа трансмісії. У уніфікованій КПП найвища передача стала прямою, а в стандартній КПП найвище передача передавальне число було менше за одиницю.

Розрахуємо передавальне число коробки перемикачів передач як відношення числа зубів веденої шестерні до числа зубів ведучої шестерні:

$$u_i = \frac{n_{\text{веденої}}}{n_{\text{ведучої}}} \quad (1)$$

Передавальні числа КПП до заміни шестерень знаходяться в діапазоні 6,5..0,82. Передавальні числа КПП після заміни шестерень знаходяться в діапазоні 8,12..1.

Для подальших розрахунків визначимо передавальне число трансмісії. Передавальне число трансмісії (передаточне число) - це відношення числа обертів вхідного валу до числа обертів вихідного валу. Воно визначає, як змінюється швидкість і крутний момент між вхідним і вихідним валами в трансмісії та розраховується із залежності:

$$U_i = u_{ki} \cdot u_0 \cdot u_{pk} \cdot u_d \quad (2)$$

де u_{ki} – передавальне число i -тої передачі;

u_0 – передавальне число головної передачі;

u_{pk} – передавальне роздаткової коробки;

u_d – передавальне демультіплікатора.

Передавальні числа трансмісії до заміни шестерень знаходяться в діапазоні 64,4..8,12.

Передавальні числа трансмісії після заміни шестерень знаходяться в діапазоні 81,14..9,9.

Розрахуємо крок зміни інтервалів частот обертання колінвалу двигуна за формулою (3) для того, щоб на обраних діапазонах здійснювати наступні обрахунки.

$$\Delta n = \frac{n_N - n_{min}}{6} \quad (3)$$

Отримаємо сім точок та розрахуємо по них швидкісні характеристики двигун. Приймаємо мінімальні частоту обертання колінвалу базового двигуна $n_{\min}=600$ об/хв, так як вона має знаходитися в інтервала від 400 до 800 об/хв

$$\Delta n = \frac{1800-600}{6} = \frac{1200}{6} = 200 \text{ об/хв}$$

За відомими формулами [3] здійснили розрахунок поточного значення потужності двигуна N та відповідних значень крутного моменту двигуна M_e на кожному із обраних інтервалів частот обертання колінвалу. При розрахунку динамічної характеристики АТС для кожної i -ї передачі та поточних значень частоти обертання валу двигуна визначено швидкість АТС – V , км/год, силу тяги на колесах – P_k , Н, силу опору повітря – P_w , Н, динамічний фактор – D

Результати розрахунку внесли до таблиці 3. Побудовані графічні залежності показують зростання динамічного фактору автобуса з модифікованою коробкою перемикання передач (рис.3).

Розрахуємо прискорення j для різних передач та швидкостей із наступної залежності:

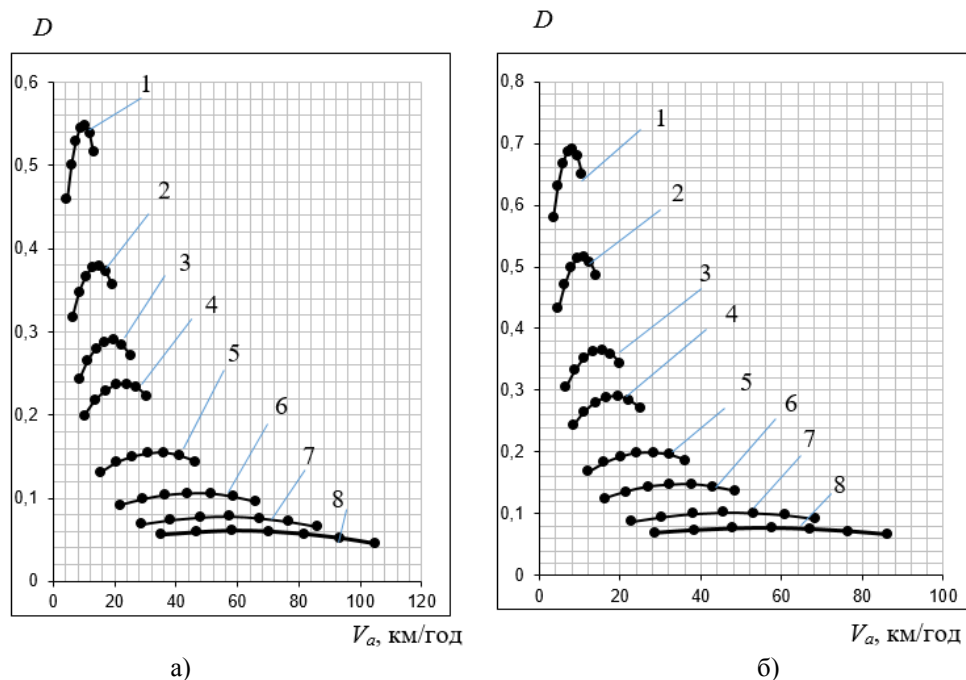
$$j = \frac{(D-\psi) \cdot g}{\delta_t}, \quad (4)$$

де D – динамічний фактор автомобіля;

ψ – коефіцієнт дорожнього опору;

g – прискорення вільного падіння;

δ_t – коефіцієнт впливу обертових мас.



а) до уніфікації; б) після уніфікації; 1-8 - передачі

Рисунок 3 – Динамічна характеристика автобуса

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 3 – Характеристики автобуса з базовою КПП

Параметри		Значення параметрів						
n, об/хв		600	800	1000	1200	1400	1600	1800
N _e , кВт		46,81	68,05	89,94	111,15	130,47	146,51	158
M _e , Н·м		745,44	812,74	859,33	885,21	890,39	874,86	838,62
1 передача	V, км/год	4,416	5,888	7,361	8,833	10,305	11,777	13,249
	D	0,459	0,501	0,529	0,545	0,548	0,539	0,516
	j, м/с ²	1,125	1,143	1,134	1,116	1,062	0,99	0,9
2 передача	V, км/год	6,379	8,505	10,632	12,758	14,884	17,011	19,137
	j, м/с ²	1,161	1,188	1,179	1,152	1,098	1,026	0,927
	D	0,318	0,347	0,366	0,377	0,379	0,373	0,357
3 передача	V, км/год	8,345	11,126	13,908	16,689	19,471	22,253	25,034
	j, м/с ²	1,053	1,071	1,071	1,044	0,999	0,927	0,837
	D	0,243	0,265	0,28	0,288	0,29	0,284	0,272
4 передача	V, км/год	10,179	13,572	16,965	20,359	23,752	27,145	30,538
	j, м/с ²	0,846	0,864	0,864	0,837	0,792	0,738	0,657
	D	0,199	0,217	0,229	0,236	0,237	0,233	0,222
5 передача	V, км/год	15,433	20,577	25,722	30,866	36,01	41,155	46,299
	j, м/с ²	0,738	0,747	0,747	0,72	0,684	0,63	0,558
	D	0,131	0,143	0,15	0,154	0,155	0,151	0,144
6 передача	V, км/год	21,913	29,217	36,522	43,826	51,13	58,435	65,739
	j, м/с ²	0,477	0,486	0,477	0,459	0,432	0,387	0,333
	D	0,092	0,099	0,104	0,106	0,106	0,102	0,096
7 передача	V, км/год	28,707	38,276	47,845	57,414	66,983	76,552	86,121
	j, м/с ²	0,306	0,306	0,297	0,279	0,252	0,216	0,162
	D	0,069	0,074	0,077	0,078	0,076	0,072	0,066
8 передача	V, км/год	35,007	46,676	58,345	70,014	81,682	93,351	105,02
	j, м/с ²	0,162	0,153	0,144	0,117	0,09	0,045	0,009
	D	0,056	0,059	0,061	0,06	0,057	0,052	0,045

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 4 – Характеристики автобуса з уніфікованою КПП

Параметри		Значення параметрів						
n, об/хв		600	800	1000	1200	1400	1600	1800
N _e , кВт		46,81	68,05	89,94	111,15	130,47	146,51	158
M _e , Н·м		745,44	812,74	859,33	885,21	890,39	874,86	838,62
1 передача	V, км/год	3,505	4,673	5,842	7,01	8,178	9,347	10,515
	j, м/с ²	1,30	1,3205	1,311	1,2825	1,2255	1,1495	1,045
	D	0,579	0,631	0,667	0,687	0,691	0,679	0,651

Продовження таблиці 4

2 передача	V, км/ГОД	4,691	6,254	7,818	9,381	10,945	12,508	14,072
	j, м/с ²	1,349	1,368	1,368	1,3395	1,273	1,1875	1,083
	D	0,432	0,471	0,498	0,513	0,516	0,507	0,486
3 передача	V, км/ГОД	6,63	8,839	11,049	13,259	15,469	17,679	19,889
	1/j, с ² /м	0,7315	0,722	0,722	0,741	0,779	0,836	0,931
	D	0,306	0,333	0,352	0,363	0,365	0,359	0,343
4 передача	V, км/ГОД	8,345	11,126	13,908	16,689	19,471	22,253	25,034
	j, м/с ²	0,988	1,007	1,007	0,9785	0,931	0,8645	0,7695
	D	0,243	0,265	0,28	0,288	0,29	0,284	0,272
5 передача	V, км/ГОД	12,061	16,082	20,102	24,123	28,143	32,164	36,184
	j, м/с ²	0,855	0,874	0,874	0,8455	0,798	0,741	0,6555
	D	0,168	0,183	0,193	0,199	0,199	0,196	0,187
6 передача	V, км/ГОД	16,127	21,503	26,878	32,254	37,629	43,005	48,381
	j, м/с ²	0,5605	0,57	0,57	0,5415	0,513	0,4655	0,399
	D	0,125	0,136	0,144	0,147	0,148	0,144	0,137
7 передача	V, км/ГОД	22,782	30,376	37,97	45,563	53,157	60,751	68,345
	j, м/с ²	0,361	0,3705	0,361	0,342	0,304	0,266	0,209
	D	0,088	0,095	0,1	0,102	0,101	0,098	0,092
8 передача	V, км/ГОД	28,707	38,276	47,845	57,414	66,983	76,552	86,121
	j, м/с ²	0,1995	0,1995	0,1805	0,1615	0,1235	0,076	0,019
	D	0,069	0,074	0,077	0,078	0,076	0,072	0,066

Джерело: розроблено авторами

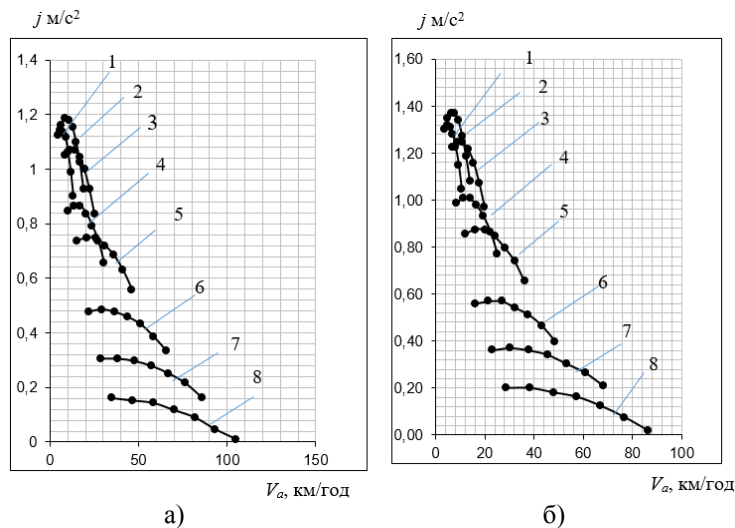


Рисунок 4 – Графік прискорень автобуса: а) до уніфікації; б) після уніфікації; 1-8 –передачі

Джерело: розроблено авторами

На основі проведених розрахунків побудуємо графічні залежності прискорень автобуса на кожній передачі від швидкості руху автобуса до та після уніфікації трансмісії (рис. 4)

На основі проведених розрахунків та побудованих графічних представлень параметрів розгону транспортного засобу із стандартною коробкою перемикачів передач, та пасажирського автобуса з модифікованою трансмісією, можемо зробити висновок, що автобус після уніфікацію володіє кращими динамічними характеристиками та параметрами розгону.

Висновки. Дана робота присвячена проблемам експлуатації пасажирських автобусів ЛАЗ-5208LN на міських маршрутах. Наявність заторів в умовах міського руху, необхідність частих розгонів гальмувань та зупинок спричиняє надмірне навантаження на трансмісію транспортного засобу. З метою забезпечення оптимальної ефективності на низьких швидкостях було прийнято рішення оптимізувати коробку перемикачів швидкостей до спеціальних умов експлуатації. Розраховано оптимальні передавальні числа восьми ступеневої механічної коробки перемикачів передач ZF s8 190 з метою підвищення передавального числа трансмісії. Проведено розрахунки оптимальних передавальних чисел КПП. Було розраховано тягово-швидкісні та динамічні характеристики міського автобуса ЛАЗ до та після уніфікації трансмісії на основі яких побудовано графіки розгону ТЗ. Визначено, що модернізована трансмісія дає можливість досягнути кращих динамічних характеристик та параметрів розгону.

Список літератури

1. L Eboli, G Mazzulla, G Pungillo Transportation Research Part C: Emerging Technologies Volume 68, July 2016, Pages 113-125 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968090X16300067>
2. Rozum R.I., Buriak M. V., Zakharchuk O. P. Innovative engines in the history of automobile building. Modern engineering and innovative technologies. Sergeieva&Co Karlsruhe (Germany) 2021. Issue 18. Part 2. P. 64 – 67. <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit18-02/meit18-02>
3. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи для бакалаврів спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами транспорту)» за темою: «Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів» / Дерюгін О.В., Третяк О.О., Весела М.А.; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ«ДП», 2020. – 21 с.
4. Стефановський О.Б., Гуйва С.Д. Про залежність характерного часу розгону автомобілів від їхніх основних параметрів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2014. №14, т. 3. С. 225-228 https://nauka.tsatu.edu.ua/print-journals-tdatu/14-3/14_3/24.pdf
5. Осетров О.О., Чучуменко Б. С. Моделирование влияния параметров легкового автомобиля на процесс його розгону. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2021. Вип. 20. С. 45-53 <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/830377c0-3680-4c15-b0bc-170f08d27755/content>
6. Обґрунтування доцільності удосконалення трансмісії пасажирських автобусів типу VAN HOOL ACRON 915 TA NEOPLAN N316/3 UL / Захарчук О., Фалович Н. та ін. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2022. № 18, т. 1. С.81-87.
7. Туристичні автобуси: веб-сайт. URL: <https://www.buskyiv.com/index.php/uk/>
8. Офіційна сторінка MAN: веб-сайт. URL: <https://www.man.eu/engines/en/homepage.html>
9. Литвин, В., Таран, І. Вплив режимів руху міських автобусів на паливну економічність та екологічну безпеку. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2019. 1(12), 92-97. <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal-mbf/article/view/39>
10. Офіційна сторінка ZF Friedrichshafen AG: веб-сайт. URL: <https://www.zf.com/mobile/de/homepage/homepage.html>

References

1. Rozum, R.I., Buriak, M. V., Zakharchuk O. P. (2021) Innovative engines in the history of automobile building. Modern engineering and innovative technologies. Sergeieva&Co Karlsruhe (Germany). – Issue 18. Part 2. P. 64– 67. <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit18-02/meit18-02> [in English].
2. Rozum, R.I., Buriak, M. V., Zakharchuk, O. P. (2021) Innovative engines in the history of automobile building. Modern engineering and innovative technologies. Sergeieva&Co Karlsruhe (Germany). – Issue

18. Part 2. P. 64 – 67. <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit18-02/meit18-02> [in English].
3. Deriuhin, O.V., Tretiak, O.O. & Vesela, M.A. (2020). Metodychni rekomendatsii do vykonання kvalifikatsijnoi roboty dlia bakalavriv spetsial'nosti 275 «Transporti tekhnolohii (za vydamy transportu)» za temoiu: «Ekspluatatsijni vlastyvoli avtotransportnykh zasobiv» [Methodological recommendations for the performance of qualification work for bachelors of specialty 275 "Transport technologies (by types of transport)" on the topic: "Operational properties of motor vehicles"]. Dnipro: NTU«DP» [in Ukrainian].
4. Stefanovs'kyj, O.B. & Hujva, S.D. (2014). Pro zalezhnist' kharakternoho chasu rozghonu avtomobiliv vid ikhnikh osnovnykh parametriv [On the dependence of the characteristic acceleration time of cars on their main parameters]. Pratsi Tavrijs'koho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu - Proceedings of the Tavri State Agro-Technological University, 14, 3, 225-228 https://nauka.tsatu.edu.ua/print-journals-tdatu/14-3/14_3/24.pdf [in Ukrainian].
5. Osetrov, O.O (2021). Modeliuvannia vplyvu parametriv lehkovo avtomobilia na protses joho rozghonu [Modeling the influence of car parameters on the acceleration process]. Avtomobil' i elektronika. Suchasni tekhnolohii – Car and electronics. Modern technology, 20, 45-53 <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/830377c0-3680-4c15-b0bc-170f08d27755/content> [in Ukrainian].
6. Zakharchuk, O. et al. (2022). Obhruntuvannia dotsil'nosti udoskonalennia transmisii pasazhyr'skykh avtobusiv typu VAN HOOL ACRON 915 TA NEOPLAN N316/3 UL [Justification of the feasibility of improving the transmission of VAN HOOL ACRON 915 AND NEOPLAN N316/3 UL passenger buses]. Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti - Modern technologies in mechanical engineering and transport, 18, 1, 81-87 [in Ukrainian].
7. Turystychni avtobusy [Tourist buses]. Retrieved from: <https://www.buskyiv.com/index.php/uk/> [in Ukrainian].
8. Ofitsijna storinka MAN [MAN URL Official Page]. Retrieved from: <https://www.man.eu/engines/en/homepage.html>. [in English].
9. Lytvyn, V., & Taran, I. (2019). Vplyv rezhymiv rukhu mis'kykh avtobusiv na palyvnu ekonomichnist' ta ekolohichnu bezpeku [The influence of city bus driving modes on fuel efficiency and environmental safety]. Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti - Modern technologies in mechanical engineering and transport, 1(12), 92-97. <https://forum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal-mbf/article/view/39> [in Ukrainian].
10. Ofitsijna storinka ZF Friedrichshafen AG [Official website of ZF Friedrichshafen AG]. Retrieved from: <https://www.zf.com/mobile/de/homepage/homepage.html> [in English].

Olena Zakharchuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Anastasia Denis**, the recipient of higher education, **Oksana Shevchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Nataliia Falovych**, Assoc. Prof., Ph.D econ. sci., **Vasyl Zakharchuk**, post-graduate

Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

Improvement of transmissions of city passenger buses LAZ-5208 LN

Urban passenger transport plays an important role in the functioning of cities and ensuring the livelihood of the population. Changing the gear ratio of the transmission can affect the characteristics of city passenger buses in various aspects. Changing the gear ratio of the transmission can affect the performance of urban passenger buses in various ways. If the transmission has a shorter gear ratio, it can allow the bus to accelerate faster at low speeds, which is useful in urban traffic with many stops. Therefore, the choice of transmission ratio usually depends on the type of vehicle, driving conditions and fuel efficiency and dynamic performance requirements.

Transmissions of city passenger buses may have some specific features, taking into account their purpose and operating conditions. City bus transmissions can be set up for frequent acceleration and braking, which is characteristic of driving in city traffic with many stops. Given that city buses often travel at low speeds in densely populated urban areas, transmissions can be optimized for low speed efficiency. Some city buses can be equipped with automatic transmissions to facilitate the driving process and increase the comfort of passengers.

Taking into account the specific works of urban transport, the purpose and tasks of the study were defined as the development and justification of technical improvements of LAZ bus units and units. The article proposes to carry out the reconstruction of the gearbox in order to optimize the gear ratio of the transmission for the special operating conditions of city transport, namely, movement in the start-stop mode. The dynamic properties and acceleration parameters of the vehicle were calculated before and after the reconstruction of the gearbox. It was established that the bus with the modernized transmission has better dynamic characteristics, namely acceleration speed.

transmission, clutch, gear ratio, acceleration, operational characteristics of a passenger bus

Одержано (Received) 26.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 05.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

П.Б. Прогній, канд. техн. наук, **П.В. Попович**, проф., д-р техн. наук, **О.С. Шевчук**, доц., канд. техн. наук, **І.О. Лоїк**, здобувач вищої освіти, **С.А. Мишко**, асп., **Ю.Б. Коваль**, асп., **М.О. Вітрук**, асп.

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

e-mail: rozoom_ruslan@ukr.net

До аналізу викидів від зносу автомобільних шин, як екологічної складової використання автомобільного транспорту

У роботі проведено дослідження негативного впливу на довкілля транспортних засобів, а саме викидів від зносу автомобільних шин. В результаті чого, в навколишнє середовище виділяється шинний пил, який осідає на дорогах, або ж потрапляє в повітря та переноситься на значні відстані. Проаналізовано дослідження європейських та американських вчених щодо зносу шин транспортних засобів в процесі їх руху та шкідливість даних викидів на здоров'я людини. Досліджено механізм зносу протектора автомобільних шин, визначено його види та встановлено фактори, які впливають на стирання протектора автомобільних шин. На основі аналізу наукових досліджень, визначено вплив встановлених факторів на зміну концентрації твердих частинок PM_{10} та $PM_{2,5}$ у викидах від стирання автомобільних шин. З'ясовано, що агресивна манера водіння сприяє значному зростанню (у 78 разів) концентрації твердих частинок у викидах при стиранні автомобільних шин. На підвищення рівня викидів впливає також збільшення навантаження на шини, зростання швидкості руху. Визначено, що для нових автомобільних шин характерне підвищення концентрації викидів твердих частинок, що пояснюється певним періодом їх припрацювання. Встановлено також зростання концентрації твердих частинок при використанні зимових шипованих шин у порівнянні із нешипованими та літніми. Запропоновано можливі кроки для поглиблення досліджень проблеми викидів твердих частинок від зносу шин та їх впливу на навколишнє середовище. Серед яких: чітке дотримання індексу навантаження при виборі шин, дотримання швидкісних режимів руху, забезпечення відповідності матеріалів шин нормам щодо зносостійкості, врахування особливостей впливу матеріалів та граничних розмірів їх компонентів на знос автомобільних шин при проектуванні покриттів для нових автомобільних шляхів та модернізації існуючих.

автомобільна шина, стирання протектора, викиди від зносу шин, тверді частинки PM_{10} та $PM_{2,5}$

Постановка проблеми. У наш час автомобіль став невід'ємним атрибутом людства. Завдяки автомобільному транспорту ми можемо швидко та комфортно дістатися у необхідне місце або перевезти вантажі. Використання новітніх конструкційних матеріалів та комп'ютерних технологій у автомобілебудуванні забезпечує високий рівень комфорту та безпеки при керуванні транспортним засобом. Завдяки цьому, щорічно на дорогах збільшується кількість транспортних засобів.

Проте, не зважаючи на значну кількість переваг, у сучасних автомобілів є також ряд недоліків. Основним із них є негативний вплив на довкілля, зокрема значні викиди вуглекислого газу, важких металів та інших шкідливих речовин разом із відпрацьованими газами, що є продуктами згорання паливних сумішей у двигунах внутрішнього згорання. Для подолання даної проблеми на сьогодні розроблено нормативні документи та встановлено певні стандарти, які регулюють вміст шкідливих речовин у автомобільних вихлопах, а відповідно до їх вимог вдосконалюються характеристики двигунів внутрішнього згорання. Також ведуться розробки щодо створення гібридних автомобілів та електромобілів, що дозволяє зменшити рівень викидів вихлопних газів, або ж скоротити його до нуля.

Попри це, іншим важливим недоліком автомобіля є забруднення довкілля викидами від зносу шин. Відомо, що під час руху, під впливом різних факторів, відбувається стирання протектора шини. В результаті цього, в навколишнє середовище виділяється шинний пил, який осідає на дорогах, або ж потрапляє в повітря та переноситься на значні відстані. Донедавна ніхто не звертав особливої уваги на такі викиди. Але після досліджень, проведених європейськими та американськими вченими, які довели шкідливість даних викидів на здоров'я людини, інтерес до них зріс.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі зносу автомобільних шин присвячено багато робіт. Проте, раніше дослідники в першу чергу розглядали економічний аспект зносу шин, як втрату їх ресурсу. Тому основні напрацювання були спрямовані на підвищення ресурсу шин для збільшення термінів їх експлуатації. Відповідно, більш детально досліджувалася проблема взаємодії коліс з опорною поверхнею для описання механізмів їх стирання, аналізу факторів та чинників, які впливають на даний процес, розроблялися методики щодо відновлення ресурсу шин для продовження термінів їх експлуатації [1-5]. Згодом дослідження почали включати екологічну складову. Вчені сконцентрували увагу над структурним аналізом викидів від зносу шин, дослідженням їх впливу на довкілля [6-12].

Зокрема, дані наведені у Звіті експертів Імперського коледжу в Лондоні [6], опублікованому в лютому 2023 року, показують, що викиди від зношення шин у містах можуть становити в 4 рази більший ризик для довкілля, ніж інші види мікропластику. Дослідниками встановлено, що з продуктами зношення шин викидається: близько 50% бенз(а)пірену, 100% N-нітрозамінів, 70% загального обсягу канцерогенів, 15% твердих речовин. Близько 60% частинок, що утворюються внаслідок зношення шин (шинний пил) настільки малі, що можуть глибоко проникати в легені людини. Залежно від розмірів фракції у складі шинного пилу виділяють тверді частинки PM_{10} та $PM_{2.5}$. Згідно із визначенням ВООЗ PM_{10} – пилові частинки з аеродинамічним діаметром 10 мкм та менше. $PM_{2.5}$ – пилові частинки з аеродинамічним діаметром 2,5 мкм та менше [13]. Більш небезпечними для здоров'я людини є $PM_{2.5}$, тому що вони можуть досягати нижніх дихальних шляхів.

Досліджуючи проблему зносу автомобільних шин, вчені із Швеції та Фінляндії наводять такі показники річних викидів шинного пилу в навколишнє середовище для різних країн [7]: у Великобританії $57 \cdot 10^6$ кг (1999 р), Німеччині $60 \cdot 10^6$ кг (1998 р), Італії $50 \cdot 10^6$ кг (2004 р), Швеції $10 \cdot 10^6$ кг (2003 р), Данії $7,3 \cdot 10^6$ кг (2002 р), США $500 \cdot 10^6$ кг (2004 р). За інформацією дослідників значна кількість від загальних викидів відбувається у формі відносно великих частинок, які осідають на дорогах та поблизу них. Менше 5% від викидів переноситься у повітрі, та менше 1% виділяється у вигляді газоподібних викидів.

Постановка завдання. Актуальність та важливість даної проблеми обумовлює мету роботи, яка полягає в аналізі викидів від зносу автомобільних шин. Для досягнення поставленої мети, необхідно вирішити такі завдання:

- дослідження механізму зносу протектора шин для прогнозування його показників;
- виокремлення факторів, які впливають на збільшення рівня викидів від зносу шин;
- аналіз останніх досліджень, щодо викидів від зносу автомобільних шин, окреслення шляхів боротьби із даною проблемою.

Виклад основного матеріалу дослідження. Автомобільна шина є важливим структурним елементом транспортного засобу, оскільки вона забезпечує зв'язок із дорожнім покриттям, передає зусилля та сприймає реакції опорної поверхні. Під час

Їзди шина поглинає певну кількість коливань, пом'якшуючи рух транспортного засобу, сприймає нормальні, тангенціальні та бокові навантаження. З огляду на це до автомобільної шини ставлять високі вимоги. Вона повинна володіти значним запасом стійкості проти стирання, деформацій і водночас залишатися достатньо еластичною, мати низький опір коченню та високий коефіцієнт зчеплення з дорогою. Для того, щоби надати шині потрібних властивостей, її виготовляють із суміші матеріалів, тому вона є композиційним виробом (рис. 1) [8]. Це пов'язано із тим, що не можливо підібрати такий однорідний матеріал, який би відповідав усім вимогам поставленим перед шиною.

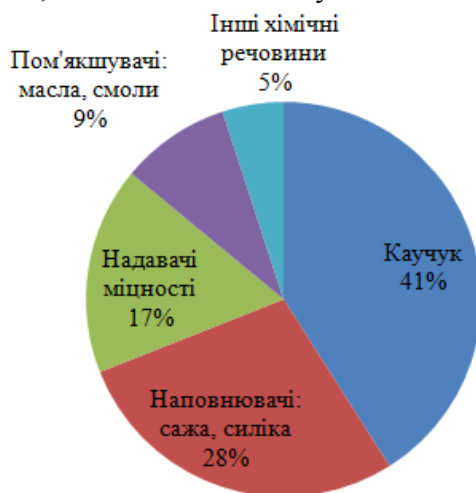


Рисунок 1 – Компоненти шини

Джерело: розроблено [8]

Всю сукупність вимог до сучасної шини об'єднують у три групи [1, 4, 5]:

1. Вимоги щодо безпеки руху. Шини повинні забезпечувати цілісність їх структурних елементів та стійкість курсу заданого водієм.

2. Економічність. Дана група вимог характеризується вартістю та довговічністю шин при великій несучій здатності колеса, високій транспортній швидкості та низькому опору коченню. Також сюди відносять ціну й ефективність засобів технічного огляду та ремонту шин.

3. Комфортність. Ця група включає вимоги щодо плавності руху без істотних поштовхів та коливань, маневреності й стійкості руху автомобіля.

Під величиною зносу протектора шини розуміють об'єм або вагу всієї гуми, знятої внаслідок взаємодії шини з опорною поверхнею. Знос шини відбувається внаслідок виконання нею роботи по подоланні сили тертя в умовах нормального кочення колеса. Під дією сили тертя в зоні контакту виділяється температура, яка для неметалевих предметів у верхніх шарах може сягати 500-700 °С. Дослідження зношеного протектора дозволяють виявити на його поверхні підвищений вміст сажі, що засвідчує можливість вигорання каучуку при нагріві гуми [1].

Проведений аналіз дозволив виділити три основні види зносу гуми [4, 5]:

- втомний,
- скачування,
- абразивний.

Автомобільна шина, яка працює в звичних умовах, найчастіше зазнає втомного зносу. При ньому руйнування поверхневого шару гуми відбувається внаслідок багаторазових деформацій протектора при контакті з поверхнею дороги. Характерним для даного виду зносу є те, що на поверхні бігової доріжки шини не утворюються видимі сліди стирання. Інтенсивність втомного зносу підвищується зі збільшенням

коефіцієнта тертя і модуля пружності та зменшується при збільшенні міцності та зносостійкості матеріалу. Значний вплив на даний вид зносу чинить навантаження на шину.

Знос скачуванням можна спостерігати в м'яких гумах, особливо при підвищенні температури та навантаження. Даний вид зносу характеризується появою тріщин та надривів, які утворюються через дію сил тертя, коли напруження зсуву перевищують механічні характеристики гуми, наприклад міцність. При цьому підвищується температура в зоні контакту колеса з дорогою, гума стає м'якшою, прилипає до поверхні дороги та скачується у валки. В результаті такого стирання, на поверхні дороги можна побачити сформований з цих валків рисунок, який складається із вершин та впадин, що чергуються між собою. Варто зазначити, що знос шин скачуванням може відбуватися лише при поєднанні відповідних умов зовнішнього середовища та властивостей гумової суміші.

Абразивний знос характерний для протектора з високою твердістю. Його в основному можна спостерігати на шинах, які працюють у важких умовах – на дорогах із кам'яним покриттям, при великих навантаженнях. Даний вид зносу протектора характеризується появою царапин, надрізів, надривів на біговій доріжці. Усі вони формують так званий рисунок зносу на поверхні тертя.

В реальних умовах руху неможливо спостерігати чітко один із видів зносу, всі вони комбінуються, тому знос протектора шин набуває змішаного характеру.

Наслідки від зносу протектора шин містять у собі економічну та екологічну складові. Економічна полягає у втраті шиною працездатності та необхідності її заміни, що призводить до додаткових фінансових витрат. Екологічна ж складова полягає у викидах в навколишнє середовище продуктів стирання шин, які негативно впливають на довкілля та здоров'я людей зокрема.

Саме з цих причин, зусилля багатьох науковців спрямовані на зменшення рівня стирання протектора шин. Дослідження механізмів зносу протектора шин дозволили з'ясувати фактори, які спричиняють підвищений знос автомобільних покришок. До таких факторів відносять: тиск в шинах, навантаження, дотичні сили, розвал і сходження коліс, конструкцію шин, радіус бігової доріжки, ширину профілю, рисунок протектора, кут розміщення ниток корда, ширину обода колеса, тип автомобіля, стиль водіння, тип і стан дороги, та ін.

Загалом усі фактори що впливають на знос протектора шин можна об'єднати у декілька груп [1, 3-5]:

1. Конструктивні особливості шини.
2. Умови експлуатації шин.
3. Технічний стан автомобіля.
4. Тип і стан дорожнього покриття.
5. Стиль водіння.
6. Вплив зовнішніх чинників.

Проаналізуємо роботи науковців, щодо дослідження зносу шин та впливу визначених факторів на його інтенсивність та зміну концентрації твердих частинок від зносу шин.

За результатами дослідження [4] встановлено, що знос шини зменшується при збільшенні щільності протектора. Тому шини із рисунком підвищеної прохідності на дорогах з асфальтобетонним покриттям стираються вдвічі швидше від шин із дорожнім рисунком протектора. Знос протектора знижує також використання широких ободів. Встановлено, що ободи висотою 80% від ширини профілю покришки дозволяють зменшити знос протектора на 22% у порівнянні зі зносом при використанні ободів висотою 65% від ширини профілю шини.

У роботі [9] автори описують дослідження викидів від зносу автомобільних шин, проведені у Швеції та Фінляндії із використанням двох різних систем для збору та аналізу викидів у ході дорожніх випробувань. Науковці порівнюють значення викидів для літніх, зимових нешипованих та зимових шипованих шин. За результатами дослідження встановлено, що найбільше викидів припадає на зимові шиповані шини, максимальна концентрація PM_{10} сягає значення $2,7 \text{ мг/м}^3$. Для зимових нешипованих шин, концентрація PM_{10} знижується у 3,4 рази ($0,8 \text{ мг/м}^3$) і ще менший рівень викидів від зносу автомобільних шин зафіксовано для літніх шин ($0,3 \text{ мг/м}^3$). Варто зауважити, що збільшення концентрації твердих частинок для шипованих шин може бути викликане підвищенням зносом дорожнього покриття через вплив шипів.

Подібні результати отримані авторами роботи [10]. Дослідження викидів від зносу автомобільних шин проведено в лабораторних умовах, із використанням спеціального обладнання VTI, яке імітувало рух колеса по дорозі. Експеримент із використанням дорожнього тренажера VTI дозволив з'ясувати, що викиди PM_{10} від шипованих шин у десять разів вищі ніж у нешипованих. У ході дослідження з'ясовано, що викиди твердих частинок від літніх шин незначні у порівнянні зі зимовими.

В дослідженнях [9, 10] автори повідомляють також про підвищення рівня викидів твердих частинок при зростанні швидкісних режимів руху. В роботі [9] зазначено, що при збільшенні швидкості з 50 до 80 км/год, відносна концентрація твердих частинок збільшилася на 30-170% залежно від типу шин і розмірів частинок. В роботі [10] відмічено зростання концентрації твердих частинок при збільшенні швидкості з 30 до 70 км/год. При чому більша концентрація викидів характерна для зимових шипованих шин, дещо менша для зимових нешипованих шин і найменший рівень зафіксовано в літніх шинах. На рисунку 2 наведено результати отримані у дослідженні [10].

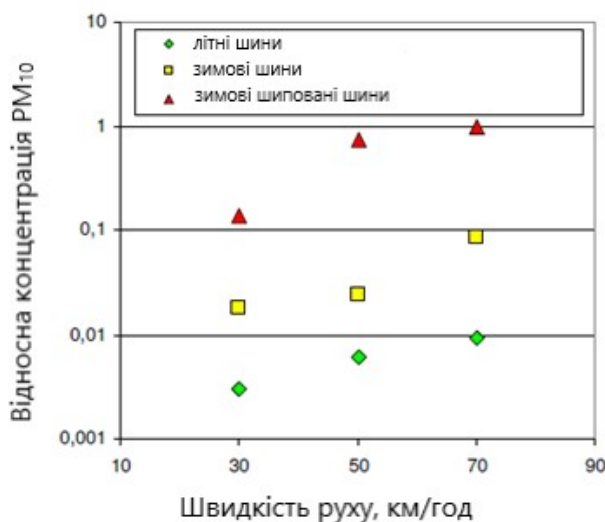


Рисунок 2 – Відносна концентрація PM_{10} в залежності від типу шини та швидкості руху
Джерело: розроблено [10]

Група науковців із Emissions Analytics навела результати досліджень викидів від стирання автомобільних шин. Дані були представлені засновником, Ніком Молденом, на п'ятій сесії Цільової групи ЄЕК ООН присвяченій проблемі викидів від стирання шин 30 вересня 2022 року [11]. Науковці провели дослідження викидів при стиранні для 14 різних марок шин. Дослідження проводилися у два етапи. Спочатку в дорожніх умовах використовувалися нові шини, які тестували на спеціально обладнаному

автомобілі, що рухався із середньою динамікою по трасі із максимально дозволеною швидкістю, навантаження автомобіля було мінімальним. Згодом дослідження проводили для максимально навантаженого автомобіля, який рухався по трасі із максимально дозволеною швидкістю та швидким проходженням поворотів. Пізніше такі ж дослідження провели для цих же шин, які уже мали пробіг 4500 км. За результатами дослідження встановлено, що близько 11% від загальних викидів від зносу шин становлять частинки із розміром $PM_{2,5}$. Дослідники зауважують, що концентрація частинок зростає при збільшенні швидкості руху транспортного засобу, при агресивній манері водіння, а також зі збільшенням навантаження на шини. Зокрема, при спокійній манері водіння транспортного засобу, викиди від зносу нових шин склали 73 мг/км, а для користованих шин – 36,5 мг/км. Що свідчить про зменшення зносу шин після їх припрацювання. При агресивній манері водіння на максимально дозволених швидкостях, науковці зафіксували зростання концентрації твердих частинок більше ніж у 78 разів. Збільшення навантаження транспортного засобу на 500 кг спричинило зростання викидів від зносу шин на 10,5%.

Отримані дані, щодо зниження інтенсивності зносу нових шин після припрацювання співпадають із результатами дослідження [2]. Аналізуючи інтенсивність та характер зносу автомобільних шин, автори приходять до висновку, що з точки зору мінливості інтенсивності зношування, повний пробіг шини можна розділити на три етапи: зону припрацювання, зону усталеного (стабільного) зносу та зону критичного зносу. На основі дослідження встановлено, що в період припрацювання середня величина зносу шин склала 0,5036 мм/1000 км, а в період усталеного зносу зменшилася до 0,147 мм/1000 км.

У роботі [10] дослідники аналізують також вплив дорожнього покриття на зміну концентрації твердих частинок PM_{10} у викидах від зносу автомобільних шин. У процесі дослідження із використанням дослідної установки VTІ моделювався рух зимових шипованих шин із швидкістю 70 км/год впродовж однієї години по дорозі із асфальто-гранітним покриттям, фракція граніту розміром менше 16 мм; асфальто-кварцитним покриттям із фракцією кварциту менше 16 мм та менше 11 мм. Результати дослідження наведено на рисунку 3.

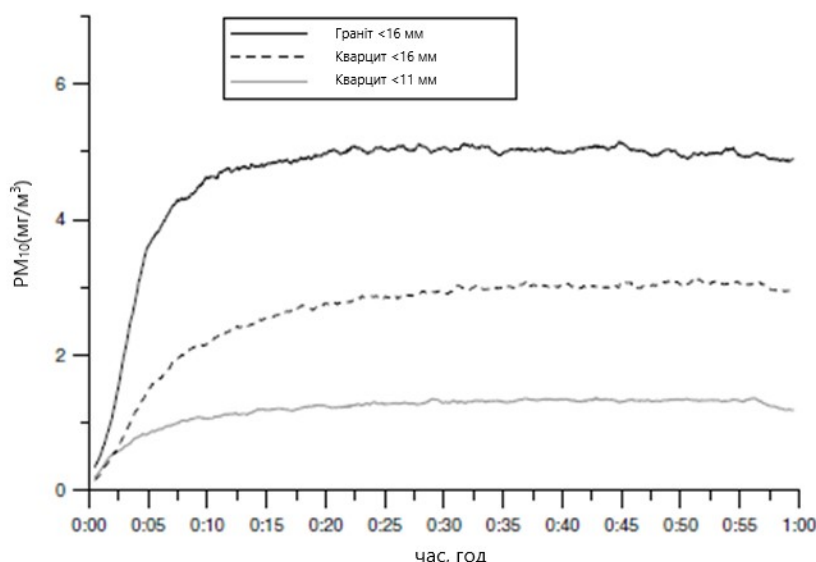


Рисунок 3 – Вимірювання концентрації PM_{10} при симуляції руху колеса по різних типах дорожнього покриття

Джерело: розроблено [10]

Як бачимо, із отриманих даних (рис 3.), при однаковій максимальній фракції компонентів, гранітне покриття створює концентрацію твердих частинок PM_{10} майже на 70% вищу, порівняно із кварцитним. У той же час, використання дрібнішої фракції наповнювача провокує меншу концентрацію твердих частинок. Як бачимо, зменшення фракції наповнювача дорожнього покриття на 30% викликає скорочення викидів від зносу шин приблизно на 65%. Отримані дані можуть бути корисними при розробленні заходів, щодо скорочення викидів твердих частинок від зносу шин у процесі проектування доріг. Адже результати дослідження показують, що правильний вибір матеріалів покриття та максимального розміру наповнювачів дозволяє скоротити до мінімуму рівень викидів твердих частинок.

Зважаючи на шкідливий вплив твердих частинок PM_{10} та $PM_{2,5}$ на довкілля та організм людини, виникає необхідність у ґрунтовних дослідженнях механізмів їх регулювання та регламентації. Зокрема, з цією метою урядом ЄС ухвалено директиву 2008/50/ЄС від 21 травня 2008 року «Про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи», у якій встановлено критерії щодо якості повітря та норми вмісту шкідливих речовин, серед яких граничні норми вмісту PM_{10} та $PM_{2,5}$. Проте, даний документ не регламентує концентрації твердих частинок, які утворюються при зносі автомобільних шин.

З огляду на це, науковці із Emissions Analytics, Імперського коледжу та інших наукових установ закликають запровадити механізми регламентації викидів твердих частинок від стирання автомобільних шин та врахувати їх вплив при розробці нових екологічних стандартів для транспортних засобів. Відповідно до цих рекомендацій, нові екологічні правила «Євро 7» з 2025 року повинні стати першими в світі стандартами викидів, які будуть встановлювати обмеження щодо викидів твердих частинок від зносу гальмівних накладок та зносу автомобільних шин. Варто зазначити, що ці стандарти впливатимуть також на електромобілі, адже для них характерні підвищені викиди від зносу автомобільних шин, що спричинено збільшеною масою через наявність важких акумуляторних батарей.

Таку ініціативу Європейської Комісії підтримали також в Європейській асоціації виробників шин та РТІ (ETRMA), де зазначили, що необхідно розробити надійну методику для вимірювання зносу шин. При цьому, надзвичайно важливо, щоб методика випробувань була розроблена до того, як будуть визначені ліміти зношування шин та затверджені відповідні стандарти. В ETRMA наголосили, що розроблена методика повинна окрім характеристик шин включати такі фактори, як параметри дорожнього покриття, погоду, стиль водіння та тип автомобілів, особливо, якщо йдеться про електромобілі [12].

На основі проведеного аналізу, окреслимо можливі кроки для поглиблення досліджень проблеми викидів твердих частинок від зносу шин та їх впливу на навколишнє середовище:

- Проведення стандартизації способів вимірювання рівня зносу шин у навколишньому середовищі та їхньої токсичності.
- Забезпечення зменшення шкоди довкіллю та здоров'ю людей, шляхом посилення обмежень на використання шкідливих компонентів у матеріалах шин.
- Організація глобальних досліджень для більш детального вивчення короткострокового і довгострокового впливу твердих частинок різного розміру на довкілля та здоров'я людини.
- Більш ґрунтовні дослідження механізмів зношування шин для кращого розуміння його основ та закономірностей.

Розроблення стратегій та рекомендацій щодо зменшення рівня викидів від зношування шин. Наприклад, чітке дотримання індексу навантаження при виборі шин та врахування ваги транспортного засобу; дотримання швидкісних режимів руху та використання передових методів водіння; забезпечення відповідності матеріалів шин нормам щодо зносостійкості; врахування особливостей впливу матеріалів та граничних розмірів їх компонентів на знос автомобільних шин при проектуванні покриттів для нових автомобільних шляхів та модернізації існуючих.

Висновки. На основі проведеного дослідження проаналізовано механізм зносу протектора автомобільних шин, визначено види зносу та основні фактори, які впливають на стирання протектору шин. На основі аналізу наукових робіт, досліджено вплив виокремлених факторів на зміну концентрації твердих частинок PM_{10} та $PM_{2,5}$ у викидах від зносу шин.

Встановлено, що значний вплив на підвищення викидів твердих частинок від зносу автомобільних шин має манера водіння, збільшення швидкості руху, навантаження на шини, тип дорожнього покриття. Визначено, що для нових автомобільних шин характерне підвищення концентрації викидів твердих частинок, що пояснюється певним періодом їх припрацювання. Встановлено також зростання концентрації твердих частинок при використанні зимових шипованих шин у порівнянні із нешипованими та літніми.

Запропоновано можливі кроки для поглиблення досліджень проблеми викидів твердих частинок від зносу шин та їх впливу на навколишнє середовище.

Список літератури

1. Макаров В. А. Особливості експлуатації та випробування еластичної шини автомобіля: монографія. Донецьк : Ноулідж, 2010. 150 с.
2. Кравченко О.П. До аналізу надійності автомобільних шин в умовах експлуатації / Кравченко О.П. та ін. *Машинознавство*. 2010, №8 (158). С. 35-38.
3. Дослідження видів зносу та ушкоджень пневматичних шин спеціалізованого автотранспорту / Кравченко О.П. та ін. *Логістика промислових регіонів: Матер. третьої міжнар. наук.-практ. конф.* Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2011. С. 384-388.
4. Динаміка колеса автомобіля: монографія / Абдулгасіс А.У. та ін.; за ред. Подригало М.А. та Полянського О.С. Х.:ХНАДУ, 2019. 199 с.
5. Колісні вузли сучасних автомобілів / Ларін А. Н. та ін. Харків: С.А.М., 2004. 260 с.
6. Tan Z, Berry A, Charalambides M, Mijic A, Pearse W, Porter A, Ryan M, Shorten R, Stettler M, Tetley T, Wright S, Masen M. (2023) Tyre wear particles are toxic for us and the environment. Imperial College London. doi: <https://doi.org/10.25561/101707>
7. Wik A. When the rubber meets the road. Ecotoxicological hazard and risk assessment of tire wear particles: Doctoral thesis for the degree of Doctor of Philosophy in Applied Environmental Science / Anna Wik.– Göteborg, 2008. 34 p.
8. Sadiksis I, Bergvall Chr., Johansson Chr., Westerholm R. (2012) Automobile tires – a potential source of highly carcinogenic dibenzopyrenes to the environment. *Environmental Science & Technology*. Vol. 46. P. 3326-3334.
9. Pirjola L., Johansson Chr., Kupiainen K., Stojiljkovic A., Karlsson H., Hussein T. (2010) Road dust emissions from paved roads measured using different mobile systems. *Journal of the Air & Waste management association*. Vol. 60. P. 1422-1433.
10. Sjodin A., Ferm M., Bjork A., Rahmberg M., Gudmundsson A., Swietlicki E., Johansson Chr., Gustafsson M., Blomqvist G. (2010) Wear particles from road traffic - a field, laboratory and modelling study. Final report B1830. Swedish Environmental Research Institute. 97 P.
11. Nick Molden Tyre wear measurement approaches (2022). Emissions Analytics. – Made of access: URL: <https://www.emissionsanalytics.com/s/TA-05-04%20Emissions%20Analytics%20UNECEEU%20presentation%2030%20September%202022.pdf>.
12. У ЄС можуть запровадити вимоги до викидів мікрочастинок автомобільних шин (2022). Режим доступу: URL : <https://ua.motofocus.eu/news/45276,%D1%83-%D1%94%D1%81-%D0%BC%D0%BE%D0%B6%D1%83%D1%82%D1%8C-%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D1%80%D0%>

- BE%D0%B2%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D1%82%D0%B8-%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B3%D0%B8-%D0%B4%D0%BE-%D0%B2%D0%B8%D0%BA%D0%B8.
13. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. Кабінет Міністрів України. Постанова від 14 серпня 2019 р. № 827. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text>.

References

1. Makarov, V.A. (2010). *Osoblyvosti ekspluatatsii ta vyprovuvannia elastychnoi shyny avtomobilia [Features of operation and testing of an elastic car tire]*. Donets'k : Noulidzh [in Ukrainian].
2. Kravchenko, O.P. et al. (2010). Do analizu nadijnosti avtomobil'nykh shyn v umovakh ekspluatatsii [To the analysis of the reliability of car tires under operating conditions]. *Mashynoznavstvo - Mechanical engineering*, 8 (158), 35-38 [in Ukrainian].
3. Kravchenko, O.P. et al. (2011). Doslidzhennia vydiv znosu ta ushkodzen' pnevmatychnykh shyn spetsializovanoho avtotransportu [Research of types of wear and damage of pneumatic tires of specialized vehicles] . Logistics of industrial regions: *Tretia mizhnar. nauk.-prakt. konf. - Third international science and practice conf (pp. 384-388)*. Donets'k: LANDON-KhKhI [in Ukrainian].
4. Abdulhazis, A.U. et al. (2019). *Dynamika koleasa avtomobilia [Dynamics of a car wheel]*. Podryhalo, M.A. & Polians'kyj, O.S. (Eds.). Kh.:KhNADU [in Ukrainian].
5. Larin, A.N. et al. (2004) *Kolisni vuzly suchasnykh avtomobiliv [Wheel units of modern cars]*. Kharkiv: S.A.M. [in Ukrainian].
6. Tan, Z., Berry, A., Charalambides, M. et al. (2023) Tyre wear particles are toxic for us and the environment. *Imperial College London*. [in English]. <https://doi.org/10.25561/101707>
7. Wik, A. (2008). *When the rubber meets the road. Ecotoxicological hazard and risk assessment of tire wear particles: Doctoral thesis for the degree of Doctor of Philosophy in Applied Environmental Science*. Göteborg [in English].
8. Sadiqsis, I., Bergvall, Chr., Johansson, Chr. et al. (2012). Automobile tires – a potential source of highly carcinogenic dibenzopyrenes to the environment. *Environmental Science & Technology*. 46. 3326–3334. [in English].
9. Pirjola, L., Johansson, Chr., Kupiainen, K. et al. (2010) Road dust emissions from paved roads measured using different mobile systems. *Journal of the Air & Waste management association*. 60. 1422-1433. [in English].
10. Sjodin, A., Ferm, M., Bjork, A. et al. (2010) *Wear particles from road traffic – a field, laboratory and modelling study. Final report B1830*. Swedish Environmental Research Institute. [in English].
11. Nick Molden (2022). *Tyre wear measurement approaches. Emissions Analytics*. [in English]. URL: <https://www.emissionsanalytics.com/s/TA-05-04%20Emissions%20Analytics%20UNECEEU%20presentation%2030%20September%202022.pdf>.
12. U YeS mozhut' zaprovadyty vymohy do vykydiv mikrochastynok avtomobil'nykh shyn [The EU may introduce requirements for microparticle emissions from car tires] (2022). URL : <https://ua.motofocus.eu/news/45276,%D1%83-%D1%94%D1%81-%D0%BC%D0%BE%D0%B6%D1%83%D1%82%D1%8C-%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D1%82%D0%B8-%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B3%D0%B8-%D0%B4%D0%BE-%D0%B2%D0%B8%D0%BA%D0%B8> [in Ukrainian].
13. Postanova Kbinetu Ministriv Ukrainy vid 14 serpnia 2019 № 827 "Deiaki pytannia zdijsnennia derzhavnoho monitorynhu v haluzi okhorony atmosferneho povitria" [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 14, 2019 № 827 "Some issues of state monitoring in the field of atmospheric air protection"]. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text>. [in Ukrainian].

Pavlo Prohni, Senior Lecturer, PhD, **Pavlo Popovich**, Prof., DSc., **Oksana Shevchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ihor Loik**, post-graduate, **Serhii Myshko**, post-graduate, **Yurii Koval**, post-graduate, **Maksym Vitruk**, post-graduate

Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

To the analysis of emissions from the wear of automobile tires as an environmental component of the use of road transport

In the work, a study of the negative impact of vehicles on the environment, namely emissions from the wear of automobile tires, was carried out. As a result, tire dust is released into the environment, which settles on the roads, or gets into the air and is carried over considerable distances. The research of European and American scientists on the wear and tear of vehicle tires during their movement and the harmfulness of these emissions to human health is analyzed. The mechanism of tire tread wear has been studied, its types have been determined, and the factors affecting wear of the tire tread have been determined. Based on the analysis of scientific research,

the influence of the established factors on the change in the concentration of PM_{10} and $PM_{2.5}$ solid particles in emissions from car tire wear was determined. It was found that an aggressive driving style contributes to a significant increase (by 78 times) in the concentration of solid particles in emissions during tire wear. An increase in the level of emissions is also influenced by an increase in the load on the tires and an increase in the speed of movement. It was determined that new car tires are characterized by an increase in the concentration of particulate emissions, which is explained by a certain period of their running-in. An increase in the concentration of solid particles was also established when using studded winter tires compared to non-studded and summer ones. Possible steps for deepening research on the problem of solid particle emissions from tire wear and their impact on the environment are proposed. Among them: clear compliance with the load index when choosing tires, compliance with speed regimes, ensuring compliance of tire materials with wear resistance standards, taking into account the specifics of the impact of materials and the limit sizes of their components on the wear of automobile tires when designing coatings for new automobile roads and modernization of existing ones.

automobile tire, tread abrasion, emissions from tire wear, PM_{10} and $PM_{2.5}$ particulate matter

Одержано (Received) 01.05.2024

Прорецензовано (Reviewed) 10.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 629.113

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.136-145](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.136-145)

П.Б. Прогній¹, ст. вик., канд. техн. наук, **Д.П. Попович²**, здобувач вищої освіти, **О.В. Чорна¹**, доц., канд. екон. наук, **Р.І. Розум¹**, доц., канд. техн. наук, **М.В. Буряк¹**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Бірючинський¹**, асп., **М.Р. Башуцький¹**, асп.

¹Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

²Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського, Тернопіль, Україна

e-mail: rozoom_ruslan@ukr.net

Дослідження гальмівної динаміки автопоїзда

У статті проведено аналіз динамічних характеристик гальмівного процесу дволанкового сідельного автопоїзда під час прямолінійного та криволінійного руху. Одержано залежності для розрахунку значення нормальних реакцій, що діють на колесах транспортного засобу. Встановлено, що під час зміни величини маси напівпричепа відбувається найбільше довантаження на вісь напівпричепа, найменше – передньої осі автомобіля-тягача. Під час гальмування в процесі прямолінійного руху, при підвищенні інтенсивності гальмування здійснюється зменшення навантаження задньої осі тягача, а також осей напівпричепа за рахунок збільшення навантаження на передню вісь автомобіля-тягача. Необхідно відмітити, що одночасно із розвантаженням осей напівпричепа відбувається збільшення навантаження на опорно-зчпний пристрій транспортного засобу, результатом чого, в свою чергу, є підвищення навантаженості осей тягача. Гальмівна динаміка автопоїзда у криволінійному русі показує, що підвищення інтенсивності гальмування супроводжується перерозподілом величин нормальних опорних реакцій та довантаження передньої осі тягача. Разом з тим, більша величина нормальної реакції є характерною для коліс, що перебувають на зовнішньому колі відносно центру повороту. Даний ефект пояснюється впливом відцентрових сил. Максимальна величина бортового відхилення нормальних опорних реакцій спостерігається на задній осі тягача.

стійкість, гальмування, дволанковий автопоїзд, нормальні реакції опорної поверхні, прямолінійний рух, криволінійний рух

Постановка проблеми. Підвищення попиту на вантажні перевезення автомобільним транспортом безпосередньо впливає на тенденцію щодо зростання швидкісних режимів руху та збільшення рівня завантаження сучасних автопоїздів. Це в свою чергу вимагає підвищення безпеки їх використання та покращення експлуатаційних властивостей.

Однією із найважливіших техніко-експлуатаційних характеристик транспортних засобів, які характеризують безпеку руху останніх, на нашу думку, є стійкість, перш за все під час гальмівного режиму. Оскільки втрата стійкості автопоїздом може спричинити виникнення дорожньо-транспортної пригоди, що, в свою чергу, призводить до матеріальних і нематеріальних втрат.

Для поліпшення експлуатаційних властивостей автопоїздів необхідне вивчення впливу всієї множини факторів, які виникають в реальних умовах їх руху. Автомобільний поїзд це складна механічна система, яка містить велику кількість елементів, що взаємодіють один з одним. В зв'язку з цим, проведення досліджень динамічних характеристик гальмівного процесу є складним і трудомістким.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Доведено [1-10], що найбільший показник ефективності гальмівного процесу автопоїзда спостерігається під час повного завантаження усіх осей, тобто, тоді коли усі колеса одночасно знаходяться на межі блокування. При цьому, стійкість руху автопоїзда в гальмівному режимі залежить від пропорційності гальмівних зусиль величині нормальних реакцій на кожному колесі та характеру взаємодії ланок в опорно-зчїпному пристрої. Адже відомо, що рух автомобільного поїзда у гальмівному режимі може супроводжуватися виникненням додаткових реакцій в опорно-зчїпному пристрої та суттєвою зміною опорної реакції. Розвиток колісних транспортних засобів з їхньою трансформацією у складні мехатронні системи спричиняє те, що необхідним є перегляд базових підходів а також окремих положень відомої теорії експлуатаційних властивостей автотранспортних засобів.

Постановка завдання. Визначити нормальні реакції на колесах осей автопоїзда у гальмівному режимі з урахуванням їх перерозподілу при прямолінійному та криволінійному русі, провести аналіз їх зміни залежно від завантаження автопоїзда та інтенсивності гальмування, дослідити характер взаємодії ланок автопоїзда в опорно-зчїпному пристрої.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проведемо дослідження дволанкового сидельного автопоїзда, в який входить двовісний автомобіль-тягач і тривісний напівприцеп, під час процесу гальмування. З метою розрахунку величин нормальних опорних реакцій, аналогічно до [1], умовно розділимо автопоїзд на ланки та відобразимо сили їх дії на опорно-зчїпний пристрій по осі Z (рис. 1). Формуємо систему рівнянь рівноваги та моментів сил, які виникають у ланках автопоїзда по вертикальній осі. Отримаємо.

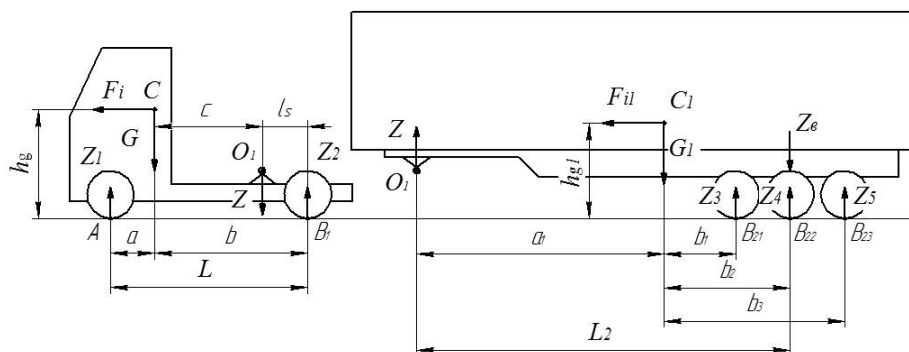


Рисунок 1 – Розрахункова схема автопоїзда під час режиму гальмування

Джерело: [10]

$$\begin{aligned}
 \sum F_{(Z)} &= Z_1 + Z_2 - G - Z = 0; \\
 \sum M_A &= Z_2 L - G a - Z(a + c) + F_i h_g = 0; \\
 \sum M_{B1} &= F_i h_g - Z_1 L + G b + Z(b - c) = 0.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Для напівпричепа:

$$\begin{aligned}\sum F_{(Z)} &= Z_6 - G_1 + Z = 0; \\ \sum M_{B22} &= G_1 b_2 + F_{i1} h_{g1} - Z L_2 = 0; \\ \sum M_{O1} &= F_{i1} h_{g1} - G_1 a_1 + Z_6 L_2 = 0.\end{aligned}\quad (2)$$

де Z_1, Z_2 – величини нормальних опорних реакцій на передню та задню вісь тягача, відповідно;

Z_B – величина навантаження на осі напівпричепа;

Z – значення вертикальної складової навантаження на опорно-зчпний пристрій;

G, G_1 – сила тяжіння;

F_i, F_{i1} – величини сил інерції під час гальмування автотягача й напівпричепа в процесі прямолінійного руху, відповідно;

h_g, h_{g1} – висота розміщення центру мас автотягача й напівпричепа, відповідно.

Приймаємо, що навантаження, яке діє на напівпричеп Z_B є рівномірно розподіленим по його осях. Звідси:

$$Z_3 = Z_4 = Z_5 = \frac{1}{3} Z_6. \quad (3)$$

Із рівнянь (1) та (2), з урахуванням (3) одержуємо рівняння для розрахунку величини нормальних опорних реакцій, що діють на осі автопоїзда:

$$\begin{aligned}Z_1 &= \frac{Gb + Z(b - c) - G \frac{V}{g} h_g}{L}; \\ Z_2 &= \frac{Ga + Z(a + c) + G \frac{V}{g} h_g}{L}; \\ Z_3 = Z_4 = Z_5 &= \frac{1}{3} \frac{G_1(a_1 + \frac{V_1}{g} h_{g1})}{L_2}.\end{aligned}\quad (4)$$

Величину вертикальної складової навантаження, що діє на опорно-зчпний пристрій розраховуємо наступним чином:

$$Z = \frac{G_1(b_2 - \frac{V_1}{g} h_{g1})}{L_2}. \quad (5)$$

В процесі зміни завантаженості транспортного засобу, відповідно, відбувається зміна величин сил, які діють як на опорно-зчпний пристрій так і на його осі, що, в свою чергу, зумовлює перерозподіл нормальних опорних реакцій по кожній із осей. Графічна залежність величини навантаженості осей та опорно-зчпного пристрою при різній завантаженості транспортного засобу показана на рисунку 2. З даної залежності ми бачимо, що в процесі зміни величини маси напівпричепа відбувається найменше довантаження передньої осі транспортного засобу, а максимальне – осі напівпричепа.

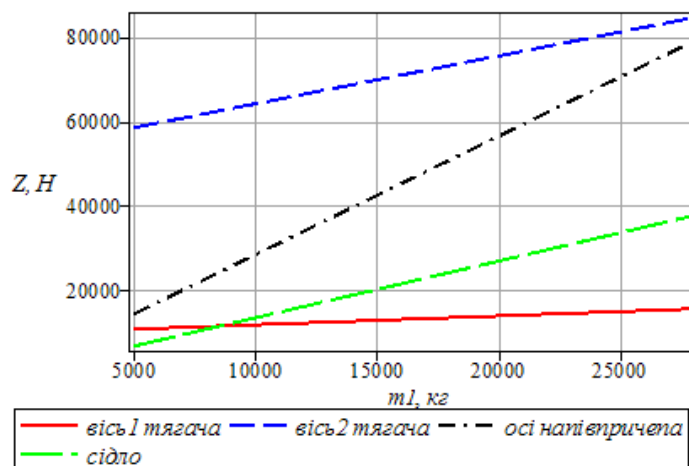


Рисунок 2 – Графік зміни величини навантаженості осей та опорно-зчіпного пристрою при різній завантаженості транспортного засобу

Джерело: розроблено авторами

В процесі руху автотранспортного засобу відбувається зміна величини нормальних реакцій у колесах. Такого роду зміни зумовлені низкою зовнішніх чинників, до яких відносяться: стан дорожнього полотна, режими руху транспортного засобу, його конструктивні особливості тощо. Відомим є факт, що під час розгону, гальмування або криволінійного руху, проходить перерозподіл величини вертикальних навантажень між осями та бортами елементів автопоїзда. Так для прикладу, в процесі руху по круговій траєкторії, у зв'язку із впливом сил інерції з'являються відцентрові сили, точка прикладання яких знаходиться в центрі мас кожної ланки транспортного засобу та направлені в сторону від центра повороту [1-7]. Наслідком чого стає перерозподіл величин нормальних опорних реакцій. Що, в свою чергу зумовлює те, що зовнішні, відносно центру кругового руху, колеса отримують додаткове вертикальне навантаження, а внутрішні – розвантажуються.

Відповідно до [6] проведемо розрахунок додаткових зусиль по осях транспортного засобу, зумовлені дією відцентрових сил:

$$\begin{aligned} P_1 &= m_1 v \omega; & P_2 &= m_2 v \omega; \\ P_3 &= m_3 v_1 \omega_1; & P_4 &= m_4 v_1 \omega_1; & P_5 &= m_5 v_1 \omega_1, \end{aligned} \quad (6)$$

де m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 – значення мас, що діють на відповідну вісь.

Значення бічних зусиль, зумовлених дією відцентрових сил розраховуємо наступним чином:

$$\begin{aligned} P_{j1y} &= P_1 \cos\left(\frac{(\theta - \delta_1) + (\theta' - \delta_1')}{2}\right); & P_{j2y} &= P_2 \cos\left(\frac{(\beta_2 + \delta_2) + (\beta_2 + \delta_2')}{2}\right); \\ P_{j3y} &= P_3 \cos\left(\frac{(\beta_3 + \delta_3) + (\beta_3 + \delta_3')}{2}\right); & P_{j4y} &= P_4 \cos\left(\frac{(\beta_4 + \delta_4) + (\beta_4 + \delta_4')}{2}\right); \\ P_{j5y} &= P_5 \cos\left(\frac{(\beta_5 + \delta_5) + (\beta_5 + \delta_5')}{2}\right). \end{aligned} \quad (7)$$

Враховуючи умову статичної рівноваги транспортного засобу, та користуючись динамічними залежностями, отримуємо рівняння для розрахунку величин нормальних опорних реакцій, що діють на колесах.

Проведемо розгляд руху транспортного засобу у режимі гальмування враховуючи діючі сили інерції під час поступального й колового рухів. По аналогії з [3, 6, 7, 10] в процесі опису руху ігноруємо силами опору повітря, так як в процесі експлуатації моменти від даних сил є надзвичайно малими у порівнянні із іншими моментами сил, що діють на транспортний засіб. Також ігноруємо моментами, що виникають від сил опору кочення.

Враховуючи прийняті припущення одержимо наступну систему рівнянь: для тягача (рис. 3):

$$\begin{aligned} \sum F_Z = 0 &: Z_1 + Z_1' + Z_2 + Z_2' - G - Z = 0; \\ \sum \text{mom}_{ox} F_i = 0 &: (Z_2 + Z_2')L - Ga - Z(a + c) + P_{jx}h_g = 0; \\ P_{jx}h_g + Z(b - c) + Gb - (Z_1 + Z_1')L &= 0; \\ \sum \text{mom}_{oy} F_i = 0 &: 2Z_1'H_1 - GH_1 - P_{j1y}h_g = 0; \\ 2Z_2'H_2 - GH_2 - P_{j2y}h_g &= 0, \end{aligned} \tag{8}$$

для напівпричепа (рис. 4):

$$\begin{aligned} \sum F_Z = 0 &: Z_3 + Z_3' + Z_4 + Z_4' + Z_5 + Z_5' - G_1 + Z = 0; \\ \sum \text{mom}_{ox} F_i = 0 &: G_1b_2 + P_{j1x}h_{g1} - ZL_2 - (Z_3 + Z_3')(b_2 - b_1) + (Z_5 + Z_5')(b_3 - b_2) = 0; \\ P_{j1x}h_{g1} - G_1a_1 + (Z_4 + Z_4')L_2 &= 0; \\ \sum \text{mom}_{oy} F_i = 0 &: 2Z_3'H_3 - G_1H_3 - P_{j3y}h_{g1} = 0. \end{aligned} \tag{9}$$

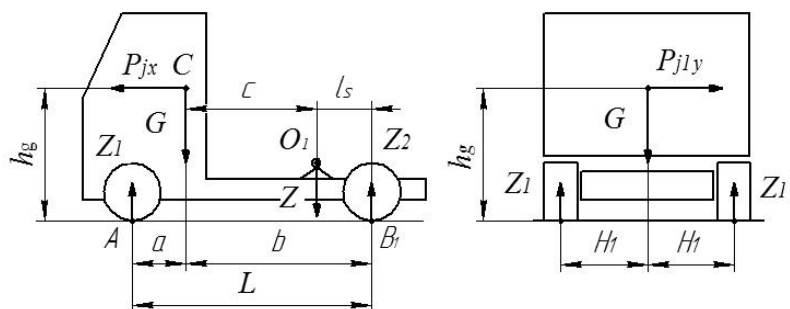


Рисунок 3 – Схема сил, що діють на тягач

Джерело: [10]

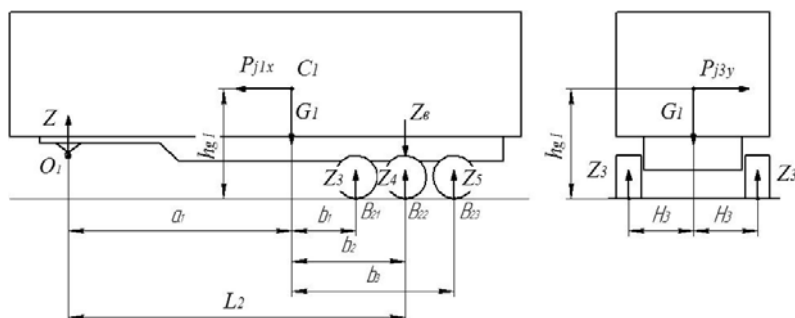


Рисунок 4 – Схема сил, що діють на напівпричіп

Джерело: [10]

Після проведення обчислення та перетворени систем рівнянь (8) і (9) одержуємо систему рівнянь для розрахунку величини нормальних реакцій по кожній з осей транспортного засобу:

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= G \frac{b}{2L} + G_1 \frac{b_2(b-c)}{2 \cdot L \cdot L_2} + P_{j1x} \frac{h_{g1}(b-c)}{2 \cdot L \cdot L_2} + P_{jx} \frac{h_g}{2L} - P_{j1y} \frac{h_g}{2H_1}; \\
 Z_1' &= G \frac{b}{2L} + G_1 \frac{b_2(b-c)}{2 \cdot L \cdot L_2} + P_{j1x} \frac{h_{g1}(b-c)}{2 \cdot L \cdot L_2} + P_{jx} \frac{h_g}{2L} + P_{j1y} \frac{h_g}{2H_1}; \\
 Z_2 &= G \frac{a}{2L} + G_1 \frac{b_2(a+c)}{2 \cdot L \cdot L_2} + P_{j1x} \frac{h_{g1}(a+c)}{2 \cdot L \cdot L_2} - P_{jx} \frac{h_g}{2L} - P_{j2y} \frac{h_g}{2H_2}; \\
 Z_2' &= G \frac{a}{2L} + G_1 \frac{b_2(a+c)}{2 \cdot L \cdot L_2} + P_{j1x} \frac{h_{g1}(a+c)}{2 \cdot L \cdot L_2} - P_{jx} \frac{h_g}{2L} + P_{j2y} \frac{h_g}{2H_2}; \\
 Z_3 &= G_1 \frac{a_1}{6L_2} - P_{j1x} \frac{h_{g1}}{6L_2} - P_{j3y} \frac{h_{g1}}{2H_3}; \\
 Z_3' &= G_1 \frac{a_1}{6L_2} - P_{j1x} \frac{h_{g1}}{6L_2} + P_{j3y} \frac{h_{g1}}{2H_3}; \\
 Z_4 &= G_1 \frac{a_1}{6L_2} - P_{j1x} \frac{h_{g1}}{6L_2} - P_{j4y} \frac{h_{g1}}{2H_4}; \\
 Z_4' &= G_1 \frac{a_1}{6L_2} - P_{j1x} \frac{h_{g1}}{6L_2} + P_{j4y} \frac{h_{g1}}{2H_4}; \\
 Z_5 &= G_1 \frac{a_1}{6L_2} - P_{j1x} \frac{h_{g1}}{6L_2} - P_{j5y} \frac{h_{g1}}{2H_5}; \\
 Z_5' &= G_1 \frac{a_1}{6L_2} - P_{j1x} \frac{h_{g1}}{6L_2} + P_{j5y} \frac{h_{g1}}{2H_5}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Величину навантаження, що діє на опорно-зчпний пристрій транспортного засобу визначимо за допомогою рівняння:

$$Z = G_1 \frac{b_2}{L_2} + P_{j1x} \frac{h_{g1}}{L_2}. \tag{11}$$

Використовуючи систему рівнянь (10), беручи до уваги залежності (6), (7) проводимо розрахунок величин нормальних опорних реакцій по кожній з осей транспортного засобу (табл. 1) в процесі гальмування під час прямолінійного руху та будуюмо графічні залежності величин нормальних реакцій, що діють на колеса осей, від величини сповільнення. В процесі розрахунку користуємося технічними характеристиками транспортного засобу, що складається із тягача DAF XF 95.430 і напівпричепа KRONE SDP 24. Значення маси автопоїзда приймаємо рівною спорядженому стану (14390 кг).

Таблиця 1 – Розрахунок нормальних реакцій

j, м/с ²	Нормальна реакція, Н										Σ, Н
	1		2		3		4		5		
	Z ₁	Z ₁ '	Z ₂	Z ₂ '	Z ₃	Z ₃ '	Z ₄	Z ₄ '	Z ₅	Z ₅ '	
0	14390	14390	27393	27393	9600	9600	9600	9600	9600	9600	141166
Σ	28780		54786		19200		19200		19200		141166
1	17517	17517	26219	26219	8949	8949	8949	8949	8949	8949	141166
Σ	35034		52438		17898		17898		17898		141166
3	23771	23771	23871	23871	7647	7647	7647	7647	7647	7647	141166
Σ	47542		47742		15294		15294		15294		141166
6	33152	33152	20346	20346	5695	5695	5695	5695	5695	5695	141166
Σ	66304		40692		11390		11390		11390		141166

Джерело: розроблено авторами

На рис. 5 відображено графічні залежності зміни величини нормальних реакцій по осях транспортного засобу в процесі гальмування під час прямолінійного руху. З даних залежностей бачимо, що при підвищенні інтенсивності гальмування здійснюється довантаження на передню вісь тягача та розвантаження його задньої осі й осей напівпричепа.

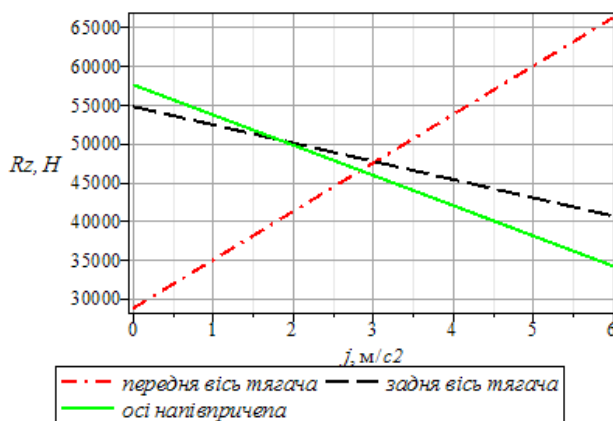


Рисунок 5 – Залежність нормальних реакцій опорної поверхні на осях автопоїзда від сповільнення у прямолінійному русі

Джерело: розроблено авторами

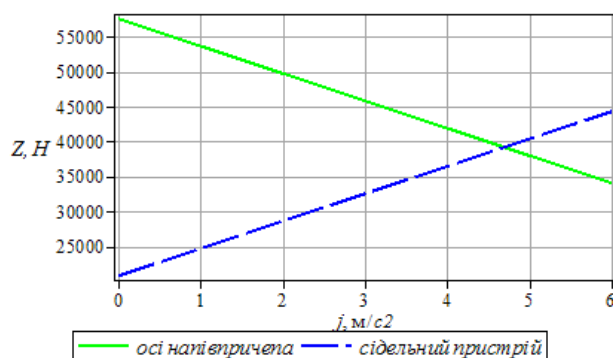


Рисунок 6 – Графічні залежності зміни навантаження на осі напівпричепа та опорно-зчпний пристрій під час гальмування транспортного засобу

Джерело: розроблено авторами

На рис. 6 показано графічні залежності зміни навантаження на осі напівпричепа та опорно-зчпний пристрій під час гальмування транспортного засобу. Звідси бачимо, що зменшення навантаження на осі напівпричепа забезпечується з рахунок підвищення навантаженості опорно-зчпного пристрою, наслідком чого є підвищення навантаження осей тягача.

З метою проведення дослідження бортового розподілу нормальних опорних реакцій на кожній із осей транспортного засобу в процесі гальмування під час прямолінійного руху, використаємо графічні залежності, відображені на рисунку 7. На даному рисунку по горизонталі відображено осі транспортного засобу, починаючи із передньої осі автомобіля-тягача, індекс r вказує на колеса правого борту. Прийнято, що маса транспортного засобу є рівна спорядженій масі (14390 кг). Із залежностей ми бачимо, що в процесі гальмування транспортного засобу під час прямолінійного руху відбувається рівномірне навантаження коліс як правого так і лівого бортів.

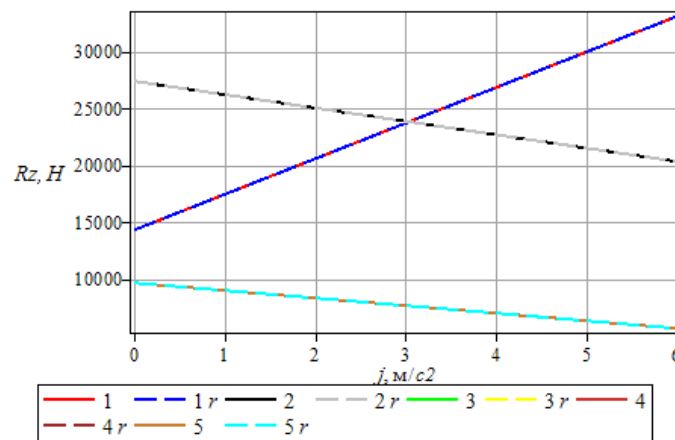


Рисунок 7 – Графічні залежності зміни нормальних опорних реакцій на кожній із осей транспортного засобу в процесі гальмування під час прямолінійного руху

Джерело: розроблено авторами

На рисунку 8 відображено величину зміни нормальних реакцій, які діють на колеса осей транспортного засобу, в процесі гальмування під час криволінійного руху. На даному рисунку по горизонталі відображено осі транспортного засобу, починаючи із передньої осі автомобіля-тягача, індекс r вказує на колеса правого борту. Прийнято, що маса транспортного засобу є рівна спорядженій масі (14390 кг).

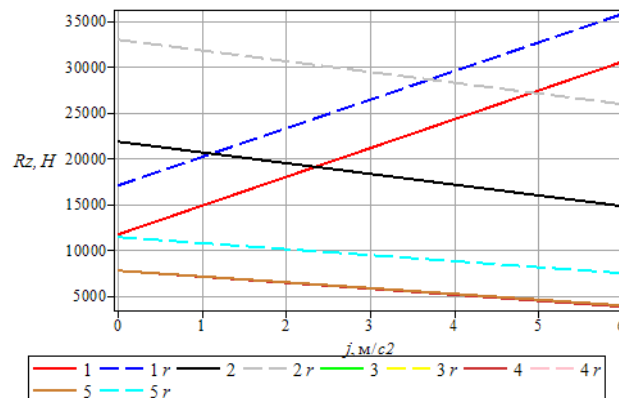


Рисунок 8 – Графічні залежності зміни нормальних опорних реакцій на кожній із осей транспортного засобу в процесі гальмування під час криволінійного руху

Джерело: розроблено авторами

Як бачимо, із одержаних даних (рис. 8), у випадку підвищення інтенсивності гальмування проходить перерозподіл нормальних опорних реакцій між осями та бортами транспортного засобу. Відбувається довантаження передньої осі тягача, що, в свою чергу, зумовлює збільшення відповідних опорних реакцій. Разом з тим, вище значення нормальної реакції є характерним для зовнішніх коліс (відносно центра повороту). Нормальна опорна реакція на передньому внутрішньому колесі є трохи меншою, при порівнянні із режимом гальмуванням під час прямолінійного руху, що можна пояснити його розвантаженням за рахунок впливу відцентрової сили. Найбільшим бортовим відхиленням нормальних опорних реакцій є на задній осі тягача. У зв'язку із впливом відцентрової сили, здійснюється зміщення навантаження із внутрішнього колеса на зовнішнє. Подібні процеси відбуваються між колесами осей напівпричепа.

Висновки. На основі проведеного дослідження отримано аналітичні рівняння, які описують гальмівну динаміку дволанкового сідельного автопоїзда. Отримані рівняння дозволяють визначити величину нормальних опорних реакцій на колесах автопоїзда з урахуванням їх перерозподілу в процесі гальмування під час прямолінійного та криволінійного руху, а також з'ясувати характер взаємодії ланок автопоїзда в опорно-зчипному пристрої при різній інтенсивності гальмування та зміні завантаження транспортного засобу. Результати проведеного дослідження дозволять в майбутньому здійснити оцінку впливу зміни нормальних реакцій опорної поверхні на колесах автопоїзда та характеру їх розподілу по осях та бортах транспортного засобу на його стійкість у гальмівному режимі.

Список літератури

1. Прикладна теорія руху автопоїзда / Сахно В. П., Поляков В. М., Шарай С. М., Босенко В. М. К. : НТУ, 2016. 232 с.
2. До визначення показників стійкості автопоїзда / Сахно В. П., Тімков О. М., Гуменюк П. О., Файчук М. І. *Вісник Національного транспортного університету*. 2013. Вип. 27. С. 31-39.
3. Кравчук П. М., Нілов Р. Ю., Бабін Ю. В. Нормування гальмівних властивостей колісних транспортних засобів в Україні. *Науково-виробничий журнал Автомобільний транспорт: У реаліях міжнародного права*. 2014. № 2(238). С. 8-10.
4. Сахно В. П., Поляков В. М., Тімков О. М. Стійкість сідельних автопоїздів з урахуванням кутів встановлення осей напівпричепа: монографія. К. : LAMBERT Academic Publishing, 2018. 156 с.
5. Heavy Truck Axle Alignment Evolution – From the Truck Manufacturer to the User. URL: <http://papers.sae.org/933046>.
6. Маневреність і гальмівні властивості колісних машин / Подригало М. А. та ін.; за ред. М. А. Подригало. Харків : ХНАДУ, 2003. 403 с.
7. Підвищення стійкості та керованості колісних машин в гальмівних режимах : монографія / Олександров Е. Е., Волков В. П., Волонцевич Д. О. та ін.; за ред. Д. О. Волонцевича. Харків : НТУ «ХП», 2007. 320 с.
8. Подригало М. А. Нове в теорії експлуатаційних властивостей автомобілів і тракторів : монографія. Харків. 2013. 220 с.
9. Прогній П. Б. До аналізу процесу гальмування сідельного автопоїзда без блокування коліс. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. 2014. Вип. 13. С. 139-146.
10. Прогній П. Б. Поліпшення стійкості автомобільного поїзда у гальмівному режимі : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.02 / Київ, 2016. 176 с.

References

1. Sakhno, V. P., Poliakov, V. M., Sharaj, S. M. & Bosenko, V. M. (2016). *Prykladna teoriia rukhu avtopoizda [Applied theory of road train movement]*. Kyiv [in Ukrainian].
2. Sakhno, V. P., Timkov, O. M., Humeniuk, P. O. & Fajchuk M. I. (2013). Do vyznachennia pokaznykiv stijkosti avtopoizda [To determine the stability indicators of the road train]. *Visnyk Natsional'noho transportnoho universytetu - Bulletin of the National Transport University* 27, 31-39 [in Ukrainian].

3. Kravchuk, P. M., Nilov, R. Yu. & Babin, Yu. V. (2014). Normuvannia hal'mivnykh vlastyvoestej kolisnykh transportnykh zasobiv v Ukraini [Standardization of braking properties of wheeled vehicles in Ukraine]. *Naukovo-vyrobnychyj zhurnal Avtomobil'nyj transport: U realiiakh mizhnarodnoho prava - Scientific and industrial journal Automotive transport: In the realities of international law*, 2(238), 8-10 [in Ukrainian].
4. Sakhno, V. P., Poliakov, V. M. & Timkov O. M. (2018). *Stijkist' sidel'nykh avtopoizdiv z urakhuvanniam kutiv vstanovlennia osey napivprychepa [Stability of semi-trailer trucks taking into account the installation angles of semi-trailer axles]*. Kyiv: LAMBERT Academic Publishing [in Ukrainian]
5. Fred Wheeler, Ellis Johnson Heavy (1993) *Truck Axle Alignment Evolution – From the Truck Manufacturer to the User* URL: <http://papers.sae.org/933046> [in English].
6. Podryhalo, M. A. et al. (2003). *Maneuverability and braking properties of wheeled vehicles*. Podryhalo M. A. (Ed). Kh.:KhNADU [in Ukrainian].
7. Oleksandrov, E. E., Volkov, V. P. & Volontsevych, D. O. et al. (2007). *Pidvyschennia stijkosti ta kerovanosti kolisnykh mashyn v hal'mivnykh rezhymakh [Increasing the stability and controllability of wheeled vehicles in braking modes]*. Volontsevych D. O. (Ed.). Kharkiv : NTU «KhPI» [in Ukrainian] .
8. Podryhalo, M. A. (2013). *Nove v teorii ekspluatatsijnykh vlastyvoestej avtomobiliv i traktoriv [New in the theory of operational properties of cars and tractors]*. Kharkiv [in Ukrainian].
9. Prohnij, P. B. (2014). Do analizu protsesu hal'muvannia sidel'noho avtopoizda bez blokuвання kolis [To the analysis of the braking process of a semi-trailer truck without locking the wheels]. *Upravlinnia proektamy, systemnyj analiz i lohistyka - Project management, system analysis and logistics*, 13, 139-146 [in Ukrainian]
10. Prohnij, P. B. (2016). Polipshennia stijkosti avtomobil'noho poizda u hal'mivnomu rezhymi [Improvement of lorry convoy stability in braking mode]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

Pavlo Prohni¹, Senior Lecturer, PhD tech. sci., **Danylo Popovych²**, student of higher education, **Olha Chorna¹**, Assoc. Prof., Ph.D of Economic sciences, **Ruslan Rozum¹**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mykola Buriak¹**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vitalii Biriuchynskyi¹**, post-graduate, **Mykhailo Bashutskyi¹**, post-graduate

¹Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

²Ternopil National Medical University named after I.Ya. Gorbachevskii, Ternopil, Ukraine

Research of braking dynamics of a road train

The article analyzes the dynamic characteristics of the braking process of a two-link road train during straight and curvilinear movement. It has been proven that the greatest indicator of the efficiency of the braking process of a road train is observed during full loading of all axles, that is, when all wheels are on the verge of blocking at the same time, and the stability of the movement of the road train in the braking mode depends on the proportionality of the braking forces to the value of the normal reactions on each wheel and the nature of the interaction of the links in the support-coupling device. Dependencies for calculating the value of the normal reactions acting on the wheels of the vehicle have been obtained. It was established that when the weight of the semi-trailer changes, the largest additional load occurs on the axle of the semi-trailer, the smallest - on the front axle of the tractor. During braking in the process of straight-line movement, with increased braking intensity, the load on the rear axle of the tractor, as well as the axles of the semi-trailer, is reduced by increasing the load on the front axle of the tractor. It should be noted that simultaneously with the unloading of the axles of the semi-trailer, there is an increase in the load on the support-coupling device of the vehicle, which, in turn, results in an increase in the load on the axles of the tractor. Braking dynamics of a road train in curvilinear movement shows that an increase in the intensity of braking is accompanied by a redistribution of the values of normal support reactions and additional loading of the front axle of the tractor. At the same time, a larger value of the normal reaction is characteristic of the wheels located on the outer circle relative to the center of rotation. This effect is explained by the influence of centrifugal forces. The maximum value of lateral deviation of normal support reactions is observed on the rear axle of the tractor.

stability, braking, two-link road train, normal reactions of the bearing surface, straight-line motion, curved motion

Одержано (Received) 03.05.2024

Прорецензовано (Reviewed) 03.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, **М.С. Магопець**, магістр

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: AulinVV@gmail.com, magmish@ukr.net

Формування мікроклімату в салонах автотранспортних засобів підігрівачами різної конструкції

Стаття присвячена обґрунтуванню раціональної технології формування мікроклімату в салонах автотранспортних засобів, що експлуатуються в кліматичній зоні України, при низьких температурних показниках навколишнього середовища на основі застосування підігрівачів різної конструкції.

Визначено вплив високих та низьких температур у салоні автомобіля на стан водія та пасажирів. Визначено, що оптимальні температурні показники становлять +16...+26 °С і повинні забезпечуватись системою вентиляції, опалення та кондиціонування повітря. Несправність цих систем має виключати подальшу експлуатацію автомобіля. Для опалення використовується теплова енергія двигуна через нагріту охолоджувальну рідину, що проходить через теплообмінник. Ця конструкція є простою та надійною, проте час прогріву салону залежить від температури навколишнього середовища та прогріву двигуна, особливо в зимовий період.

Проведено оцінювання ефективності роботи автономних підігрівачів різних типів (паливних рідинних, паливних повітряних, електричних повітряних, електричних рідинних вбудованих та електричних рідинних дротових) та їх впливу на рівень забруднення навколишнього середовища. Всі типи автономних підігрівачів ефективно виконують свою функцію прогріву охолоджувальної рідини або повітря в салоні автомобіля. Показано, що порівняно з системами дистанційного запуску двигуна, передпускові підігрівачі є більш доцільними для забезпечення необхідного мікроклімату взимку. Використання паливних передпускових підігрівачів зменшує загальний відсоток токсичних викидів, особливо у старіших автомобілях. Крім підвищення комфорту та зменшення викидів, передпусковий підігрів двигуна знижує його знос та витрату палива.

Обґрунтовано доцільність застосування автономних підігрівачів для автотранспортних засобів. Для автомобілів з ДВЗ це дозволяє забезпечити комфортний мікроклімат, а для електромобілів - збільшити запас ходу на 25-50% у сильні морози. З фінансової точки зору, підігрівачі є більш економічними порівняно зі штатною системою опалення, хоча початкова вартість пристроїв значна.

автотранспортні засоби, салон, мікроклімат, обігрів салону, підігрівач, охолоджувана рідина, теплова енергія двигуна, теплообмінник

Постановка проблеми. Чисельність парку автотранспортних засобів в Україні щорічно зростає. За даними Інституту досліджень авторинку, складає близько 10 мільйонів одиниць. Щорічний приріст їх кількості лише у категорії М1 становить близько 80 тис. од. Середній вік автотранспортних засобів (АТЗ) перевищує 22 роки, що беззаперечно свідчить про застарілість автомобільної техніки в Україні. Такі автомобілі мають низький клас екологічної відповідності (Euro-3), більший рівень споживання палива під час першого пуску двигуна і його подальшого прогріву та значні часові інтервали прогріву.

Це призводить до збільшених у зимовий період витрат часу на очікування водієм досягнення необхідних температурних режимів основних систем автомобіля та збільшує фінансові витрати на спожите паливо. Сучасний зимовий клімат в Україні є досить помірним, проте доволі часто спостерігаються різкі перепади температур від +5 до -10 °С й нижче, що призводить до появи обледеніння автомобіля та суттєво ускладнює можливість швидкого початку його експлуатації. Для покращення показників екологічності та швидкості прогріву, власник АТЗ може встановити

передпусковий підігрівач, який дозволяє заощадити час та зменшити викиди токсичних речовин до атмосфери, а також позитивно вплине на зменшення рівня зносу його двигуна. На ринку України представлені різні види автономних підігрівачів, які відрізняються за типами, характеристиками, вартістю та складністю застосування. Це надає власнику автомобіля можливість обрання раціонального варіанту, який найкращим чином задовольняє саме його вимогам та потребам.

На поточний момент спостерігається значне підвищення попиту на передпускові підігрівачі, що зумовлює доцільність та перспективність фахового надання послуг із оснащення автомобілів такими системами із подальшим їх експлуатаційним обслуговуванням. В той час, слід зазначити, що у регіоні, серед провідних автосервісних підприємств, відсутні сертифіковані дилерські представники такої продукції відомих світових брендів, а послуги із монтажу підігрівачів надає лише декілька з них. Це свідчить про незаповненість даного сегменту ринку та створює підґрунтя для запровадження на підприємстві такого виду послуг, за умови попередньої сертифікації та навчання виробничого персоналу.

Аналіз даної проблематики показав, що при виборі підігрівача власники автомобілів, в першу чергу, виходять із наявної у них купівельної спроможності й орієнтуються на рівень потрібних фінансових витрат, інколи відмовляючись від придбання певного приладу з-за складності виконання процедури його технічної інтеграції до конструкції автомобіля. Іншим, не менш важливим стримуючим фактором виступає й вірогідність виходу із ладу такого пристрою у гарантійний період його експлуатації. Єдиним виходом із такої ситуації є здійснення обґрунтованого вибору конструкції підігрівача, яка б у повній мірі відповідала індивідуальними експлуатаційним умовам кожного автомобіля при фаховому проведенні монтажних та сервісних операцій.

Зазначене потребує проведення ґрунтовних досліджень особливостей конструкції та робочих характеристик таких приладів, виконання порівняльної оцінки ефективності їх роботи та визначення доцільності застосування. Лише при виконанні таких умов можливе забезпечення правильного й обґрунтованого вибору пристрою для конкретного автомобіля з урахуванням умов його експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження питань, що стосуються характеристики процесів формування мікроклімату в салонах автотранспортних засобів на сьогодні ще не знайшли належного висвітлення у науковій літературі. Окремі проблеми, які стосуються систем забезпечення мікроклімату салону легкового автомобіля з елементами мехатронних систем відображені в роботах Решетила А.О., Решетила О.М., Гуменюка П. О., Маркіної Л. М. [1]. Питання, що стосуються впливу передпускового підігріву двигуна на характеристики його роботи в умовах підвищених обертів холостого ходу знайшли відображення у публікаціях Сітовського О.П., Деркача В.Л. [2].

Загальновідомо, що системи вентиляції, кондиціонування та підігріву повітря салонів АТЗ призначені для підтримання належного стану повітряного середовища та мікроклімату в салоні автомобіля в залежності від потреби водія та пасажирів [3].

Знаходячись у салоні (кабіні) автомобіля, людина відчуває себе комфортно лише у певному діапазоні значень температури й вологості навколишнього повітря. При цьому самопочуття водія є найважливішим фактором, що визначає його готовність і здатність забезпечити процес керування автомобілем, що вирішальним чином впливає на безпеку дорожнього руху (БДР). Комфортна температура повітря в салоні автомобіля безпосередньо залежить від температури навколишнього (зовнішнього) середовища й величини повітрообміну між ним й простором салону АТЗ.

Дослідженнями науковців доведено, що організм людини на відкритому повітрі найбільш комфортно відчувається за температури 16...18 °С. Разом із тим, для салонів АТЗ рекомендовані більш високі температурні показники, оскільки вони представляють собою закритий простір. Спеціалісти зазначають, що оптимальною температурою в салонах автотранспортних засобів є температура $+22\pm 2$ °С, яка є найбільш комфортною для людини (в першу чергу водія) й сприяє найбільшій його концентрації за кермом [4].

Некомфортні для водія температури також впливають на його психологічний стан та можуть викликати відчуття дискомфорту, підвищеної дратівливості й призводити до погіршення працездатності і концентрації водія та врешті стати причиною виникнення дорожньо-транспортної пригоди (ДТП) .

На даний час єдиного нормативного документа, який би встановлював температурні показники в салонах автомобілів різних класів не існує. У США Національна рада безпеки дорожнього руху (NHTSA) рекомендує дотримуватися значень температури повітря в салонах автомобілів не меншими за +16 °С й не вищими за +26 °С. Такі рекомендації базуються на дослідженнях, які показали, що при температурі в салоні автомобіля нижче +16°С люди можуть відчувати себе дискомфортно та не можуть зосередитися на керуванні автомобілем [5].

Все вище зазначене свідчить про важливість розгляду питань, пов'язаних із формуванням комфортного мікроклімату в салонах АТЗ. Проте, комплексних досліджень, спрямованих на обґрунтування раціональної технології формування мікроклімату в салонах автотранспортних засобів, що експлуатуються в зимовий період нині не здійснюються.

Постановка завдання. Метою даної статті є обґрунтування раціональної технології формування мікроклімату в салонах автотранспортних засобів, що експлуатуються в кліматичній зоні України, при низьких температурних показниках навколишнього середовища, що зумовлює вирішення наступних завдань:

- провести аналіз основних факторів, що впливають на забезпечення та підтримку необхідного рівня мікроклімату в салонах автотранспортних засобів та існуючих методик їх реалізації;
- виконати порівняльний аналіз існуючих методик та технічних рішень, які застосовуються для швидкого прогріву двигунів та салонів автомобілів;
- виконати порівняльну оцінку ефективності роботи різних видів автономних підігрівачів та дослідити їх вплив на навколишнє середовище;
- визначити умови застосування автономних підігрівачів різних типів в конструкціях автотранспортних засобів та виконати порівняльний аналіз економічної доцільності від їх використання.

Виклад основного матеріалу. Аналіз результатів попередніх досліджень свідчить, що для створення комфортного мікроклімату в салоні АТЗ автовиробниками забезпечуються наступні заходи:

- температура поверхонь внутрішніх елементів салону АТЗ змінюється від температури повітря в салоні на ± 3 °С;
- салон повинен бути обладнаним засобами захисту від механічних дій та сонячної радіації, теплозахисту від працюючого двигуна, коли забезпечується залишкове теплове опромінення водія салону - не більше 35 Вт/м² та від вікон - не більше 100 Вт/м²;
- системи вентиляції, опалення й кондиціонування повітря забезпечують оптимальне регулювання руху повітряних потоків у салоні транспортного засобу і усувати запотівання та обмерзання скляних елементів;

- контроль за станом повітряного середовища в салоні АТЗ здійснюється з урахуванням виду палива, на якому працює його силова установка (двигун) і забезпеченням концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони водія при роботі ДВЗ на бензині не більше: вуглеводнів С - 300 мг/м³, окису вуглецю - 20 мг/м³, окислів азоту - 5 мг/м³, свинцю - 0,01 мг/м³ (середньозмінна ГДК не вище 0,07 мг/м³) для етилованого бензину; метанолу - 5 мг/м³, формальдегіду - 0,5 мг/м³ для метилованого бензину або чистого метанолу; акролеїну - 0,2 мг/м³ для дизельного палива;

- АТЗ не допускається до експлуатації, якщо його салон не має утеплювачів чи килимків, що передбачені технічною документацією;

- загальна освітленість у салоні (кабіні) АТЗ на рівні панелі приладів не менше 10 лк;

- рівні шуму (звуку) й еквівалентні рівні шуму (звуку) в салоні АТЗ не більші 60 дБА [5].

Оцінка значень температурних показників в салонах автомобілів може здійснюватися за допомогою різних методик. Однією із цих методик передбачено використання спеціальних датчиків, які вимірюють температуру в салоні. Дані датчиків збираються у продовж певного періоду часу та на основі отриманих даних розраховується середня температура в салоні автомобіля [6].

Сучасні автомобілі оснащені кліматичними системами із уже вбудованими датчиками температури, що дозволяє автоматично визначати й розраховувати температуру повітря, що подається. Методика, яка передбачає застосування тепловізорів, є кращою, так як дозволяє проводити виміри температур у декількох автомобілів одночасно й може бути застосована для діагностування технічного стану та ефективності функціонування кліматичної системи.

Система опалення, вентиляції та кондиціонування повітря АТЗ включає до 20 різних серводвигунів, два рідинні клапани системи обігріву, компресор кондиціонера (для охолодження та зниження рівня вологості), а також вентилятор (для інтенсифікації процесів постачання повітряних потоків до об'єму салону). Додатково блок управління може керувати підігрівом вітрового та заднього скла, контролювати та активувати роботу інших підсистем; так, наприклад, існують кліматичні системи, блок керування яких контролює понад 100 контактів для обробки вхідних та вихідних сигналів.

Більшість автовиробників для опалення салону використовують енергію, що генерується двигуном (у разі, якщо ним є ДВЗ) автомобіля, через простоту конструкції, низьку вартість й надійність роботи даної системи. У найбільш простому й поширеному конструктивному виконанні, тепло (енергія) від ДВЗ відводиться охолоджувальною рідиною із системи його охолодження до системи опалення салону (кабіни), яка є їх складовою частиною загальної системи.

Виявлено, що основні фактори, що впливають на забезпечення та підтримку необхідного рівня мікроклімату в салонах автомобілів, є зовнішні та внутрішні. До зовнішніх факторів відносять: температуру навколишнього середовища, умови стоянки автомобіля, вологість повітря, швидкість вітру. У складі внутрішніх факторів доцільно виділити: тип силової установки (двигуна) АТЗ (бензиновий, дизельний, електричний або гібридний) – визначає час його прогріву, герметичність та щільність елементів кузова, наявність додаткових підігрівачів двигуна та салону, теплоізоляція кузова, кількість пасажирів, діяльність пасажирів.

Оскільки вплив температурних показників повітря та елементів салону автомобіля на стан водія та на час його реакції є вирішальним, то для виключення або мінімізації цього впливу, мікроклімат салону повинен бути сприятливим та стабільним. Разом з тим, не завжди штатна система опалення салону може забезпечити оптимальні температурні умови та ще й у короткі часові інтервали, враховуючи її пряму залежність

від температури охолоджувальної рідини двигуна. В таких випадках доцільним буде застосування спеціальних пристроїв - передпускових підігрівачів двигуна та/або салону автомобіля, але для цього потрібно провести ряд досліджень щодо оцінки та порівняння їх техніко-економічних характеристик.

На ринку технічних засобів наявні передпускові підігрівачі для легкових та вантажних автомобілів. В більшості вони є додатковим видом обладнання та дозволяють виконувати комплекс заходів. Передусім вирішується як із підігріву силової установки автомобіля забезпечити кращі пускові умови (зниження навантаження на акумуляторну батарею та стартер) та оптимізацію початкових режимів роботи трибоспряджень деталей двигуна (за рахунок зменшення сил тертя та забезпечення присутності на їх поверхнях плівки оливи) так й покращення рівня комфорту водія та пасажирів в салонах [7].

Наявність передпускових підігрівачів дозволяє забезпечити: підвищений комфорт і безпеку руху; попередній нагрів зменшує викиди токсичних речовин ДВЗ автомобіля. Запуск холодного двигуна та його прогрів супроводжуються більшими токсичними викидами. Прогрітий ДВЗ автомобіля споживає менше пального, а попередній підігрів суттєво зменшує зношування трибоспряджень деталей.

Виявлено, що з огляду на різні принципи організації та реалізації робочих процесів у передпускових підігрівачах різних типів, доцільним є визначення ефективності їх роботи та проведення порівняльної оцінки їх основних техніко-економічних показників.

Найбільш розповсюджені системи передпускового підігріву поділяються за типом джерела енергії – електричні, що працюють від батареї або штатної електромережі автомобіля та рідинні, які використовують різні види рідкого палива.

Рідинні системи передпускового підігріву є найбільш поширеними, а їх конструкцією передбачена робота на тому ж паливі, що й ДВЗ автомобіля із під'єднанням до основного паливного баку автомобіля. Це забезпечує уникнення низки проблем, серед яких основними є: необхідність використання у автомобілі додаткового паливного баку, який потребує певного простору для його розміщення (під капотом, в нішах крил, багажному відділенні тощо) та втручання у систему паливоподачі, оскільки паливо закачується у камеру згорання підігрівача додатковим (власним) насосом, який знаходиться або безпосередньо у самому пристрої, або монтується окремо. В камері згорання такого пристрою паливо-повітряна суміш займається внаслідок контакту із керамічним стрижнем електроду нагрітим від штатної акумуляторної батареї (АКБ) автомобіля до високих температур.

Виділена теплова енергія передається на теплообмінник й нагріває рідину (антифриз) системи охолодження ДВЗ та далі прокачується насосом по всій системі охолодження й досягає теплообмінника (радіатора) штатної системи опалення салону автомобіля.

Це дозволяє прогрівати одночасно не тільки ДВЗ, а й салон автомобіля. Режими обігріву визначаються та контролюються блоком керування підігрівача, який відповідає за роботу штатного вентилятора системи опалення салону автомобіля та забезпечує початок його роботи при досягненні температурних показників антифризу $+25...+30$ °C.

При досягненні заданого значення температури антифризу, підігрівач знижує потужність та переходить в режим очікування й підтримки температури (не нижче заданої). Такі системи, як правило, оснащені й модулями дистанційного керування, що дозволяє водію керувати прогрівом автомобіля за допомогою пульта дистанційного керування або модулю GPS із власного смартфона, знаходячись на певному віддаленні

від автомобіля. Більш дешеві версії комплексу передпускового обладнання не мають в своїй конфігурації пульту дистанційного керування, який замінюють таймером та блоком керування, що програмується на увімкнення у певний час, та дозволяють керувати установкою безпосередньо із салону автомобіля.

Недоліками рідинних підігрівачів є складність розміщення обладнання на автомобілі та необхідність регламентного обслуговування цієї системи. З'ясовано, що не можна допускати потрапляння повітря в систему, адже це може спричинити вихід із ладу підігрівача й стати навіть причиною займання автомобіля.

Слід також відзначити, що страхові компанії можуть відмовити у страхуванні автомобіля, у разі відсутності відповідної дозвільної документації про нормативність встановлення та фаховість обслуговування передпускового підігрівача сертифікованими підприємствами. Обслуговування рідинних підігрівачів повинно проводитись кожні 2 роки й лише у спеціалізованих сервісних центрах та передбачає ряд обов'язкових операцій, серед яких: перевірку контактів електричного ланцюга, герметичності системи, роботу насосу, відсутності бруду в системі або охолоджуючій рідині тощо.

Більшість таких підігрівачів під'єднується й споживає енергію від штатної електричної мережі автомобіля, тому її АКБ повинен підтримувати функції багатократних «заряд/розрядів», й мати певний запас резервної ємкості задля забезпечення його потужності як на забезпечення роботи підігрівача, так й на запуск ДВЗ. Виробники передпускових підігрівачів рекомендують встановлювати АКБ, що виготовлені за технологією AGM із підвищеною ємкістю (від 70 А/год) та здатні витримувати великі циклічні навантаження й добре тримають заряд [8].

Іншим видом такого виду пристроїв, є повітряні підігрівачі, призначення яких полягає лише у обігріві салону автомобіля - вони користуються попитом переважно у країнах із помірним кліматом та коштують дешевше ніж паливні рідинні підігрівачі. Повітряні підігрівачі поділяються на декілька груп. До першої групи відносяться ті, що живляться від зовнішніх джерел електроструму, а до другої – що використовують електричну мережу автомобіля та споживають енергію від його АКБ; треті – є автономними пристроями та працюють на рідких видах палива.

Перевагою перших є те, що вони є універсальними й не потребують заміни базової АКБ автомобіля на більш потужну, не вимагають додаткового обслуговування й не впливають на екологічні показники автомобіля. Основним їх недоліком можна вважати меншу зручність використання, адже щоразу потрібно підключати підігрівач до джерела зовнішнього струму, а потім відключати його після прогріву салону автомобіля. Тому даний вид підігрівачів є більш актуальним для власників АТЗ, які мешкають у приватних будинках та/або мають власні гаражі.

Перевагою пристроїв другої групи є можливість запуску у будь-яких експлуатаційних умовах, так як вони живляться безпосередньо від електромережі самого автомобіля. Разом із тим, їх робота вимагає заміни штатної АКБ на більш потужну, що можна віднести до недоліків.

Основною перевагою пристроїв третьої групи є їх автономність за рахунок вбудованої власної енергетичної установки, відсутність перевантаження електромережі автомобіля та/або внесення змін до її конфігурації. До недоліків цієї групи пристроїв, відносять підвищені показники вартості, необхідність правильного облаштування системи відведення відпрацьованих газів, негативний вплив на оточуюче середовище та, при неправильній організації роботи – погіршення самопочуття водія та пасажирів й навіть можливість виникнення нещасних випадків під дією шкідливих речовин, що містяться у їх відпрацьованих газах.

До останньої групи підігрівачів відносяться пристрої призначені для підігріву лише охолоджуючої рідини системи охолодження ДВЗ, натомість як здійснення функції опалення салону ними загалом не передбачається. Проте, навіть такі підігрівачі можуть покращити рівень комфорту водія та пасажирів – після запуску двигуна та ввімкнення штатної системи опалення салону, за рахунок попередньо підігрітої охолоджуючої рідини до салону автомобіля одразу надходить вже тепле повітря. Даний вид підігрівачів є найбільш бюджетним варіантом; контроль за часом та температурою нагріву охолоджуючої рідини покладається лише на водія автомобіля й визначає основний ризик - необхідність обов'язкового контролю роботи підігрівача, оскільки існує висока ймовірність перегріву рідини та ДВЗ й можливість виникнення осередків займання. На сьогодні на ринку вже реалізуються й більш дорогі версії приладів такого типу, які оснащені таймером та датчиком контролю рівня підігріву охолоджуючої рідини із функцією автоматичного вимикання [9].

Також не можна не відмітити, що сучасні охоронні системи автомобілів мають функцію дистанційного запуску ДВЗ, яка дозволяє віддалено прогріти автомобіль і його салон. Функція активується у разі, якщо перед встановленням на охорону автомобіля водій налаштує кондиціонер на підігрів та виставить необхідні температурні показники. Дана функція корисна не тільки взимку для прогріву, а й влітку - дистанційний запуск двигуна автомобіля та системи кондиціонування дозволить охолодити салон до встановленої температури.

Перевагами цього способу є відносна дешевизна системи та можливість її створення власноруч. Доведено, що за допомогою комунікації із автомобілем через GSM-модуль та смартфон забезпечується можливість дистанційного запуску ДВЗ автомобіля на досить великих відстанях [9].

Недоліками даної системи є безпекові й екологічні обмеження щодо запуску й тривалості роботи ДВЗ автомобіля, до яких відносяться:

1. Штрафні санкції, які діють у країнах Євросоюзу (ЄС) та категорично забороняють роботу двигуна автомобіля при відсутності безпосереднього контролю з боку водія, що робить використання такого методу прогріву недоречним.

2. Важіль коробки передач (КП) повинен бути встановлений у положення «Parking» (для автомобілів із автоматичними трансмісіями) або у «нейтральному» положенні (для механічних КП) та активованим стоянковим гальмом. Дотримання цих вимог може бути порушено через людський фактор, що призведе або до унеможливлення запуску ДВЗ (на автомобілях із автоматичними трансмісіями), або до випадкового руху автомобілів (із класичними типами трансмісій) із високою вірогідністю виникнення ДТП та травмування людей.

3. Необхідність розміщення автомобіля лише на відкритому майданчику задля запобігання отруєння водія, пасажирів та оточуючих шкідливими речовинами, що містяться у відпрацьованих газах ДВЗ.

4. Підвищений рівень споживання палива двигуном в режимі прогріву навіть у порівнянні із рівнем палива спожитим за аналогічний період часу автономним передпусковим паливним підігрівачем.

5. Підвищена токсичність відпрацьованих газів на режимі прогріву, що обумовлена запізненням їх нейтралізації у каталітичному нейтралізаторі системи випуску ДВЗ, який починає ефективний процес знешкодження лише після прогріву до температури 350 °C й вищої.

6. Недостатній рівень нагріву салону автомобіля (до комфортних значень температур) так як регламентована та обмежена тривалість роботи пристрою становить близько 10 хв.

7. Неузгодженість взаємодії із базовою (штатною) охоронною системою автомобіля, яка вирішується лише при встановленні додаткової охоронної системи.

8. На деяких автомобілях існує необхідність встановлення модулів обходу штатного іммобілайзера для реалізації дистанційного запуску без ключа запалення, або необхідність залишання ключа в замку запалення (всередині автомобіля), що негативно впливає на рівень його захищеності від угону. В разі викрадення такого автомобіля більшість страхових компаній не погодяться на відшкодування компенсації власнику з причини порушення його безпеки.

9. Система автозапуску ефективна при температурах навколишнього середовища до -10°C ; при більш низьких температурах повітря можливий ускладнений запуск ДВЗ через розрядження АКБ, підвищені в'язкості моторної оливи та палива (особливо дизельного) та збільшення зносу двигуна.

Перераховані недоліки використання охоронних систем із автозапуском переважають існуючі переваги та не в змозі ефективно вирішити проблему покращення мікроклімату салону автомобіля.

На сьогодні найбільш поширені на ринку автономних передпускових підігрівачів є системи підігріву компанії «Webasto» моделі «Thermo Top», в залежності від комплектації та функцій керуючого пристрою мають більш високий ціновий діапазон від 25,0 до 35,0 тис. грн. (без вартості установки).

В процесі проведення даного дослідження виявлено вплив автономних підігрівачів різних типів на навколишнє середовище, дослідження виконували в декілька етапів.

На першому етапі була проведена порівняльна оцінка рівнів токсичності відпрацьованих газів ДВЗ для двох варіантів його роботи: без попереднього підігріву та із підігрівом. При проведенні аналізу до уваги не бралися викиди самого підігрівача, так як є можливість використання їх конструкцій із автономним електричним живленням.

З точки зору екологічної ефективності, електричний автономний підігрівач визначено оптимальним варіантом, це можливо обґрунтувати тим, що попередній електричний нагрів може зменшити викиди твердих часток C_nH_m від бензинових автомобілів до 92%, значно покращуючи якість повітря, особливо в умовах міста, а викиди NO_x - для бензинових автомобілів до 52% й для дизельних - до 38%.

В той час як зниження у відсотковому відношенні є більш суттєвим для бензинових автомобілів, ефект (г/км) буде більш значним для дизельних автомобілів (-37 г/км проти -18 г/км) через їх вищі викиди NO_x . Електричний попередній нагрів може зменшити викиди CO_2 бензинових автомобілів до 17% й дизельних - до 22% з більш вираженим ефектом саме для дизельних автомобілів, незважаючи на їх менші викиди CO_2 (-56 г/км для дизельних у порівнянні із - 53 г/км для бензинових). Крім того, попередній підігрів майже усуває викиди C_nH_m й CO , які є шкідливими забруднювачами атмосфери.

Враховуючи той факт, що значні обсяги електроенергії в Україні генеруються на ТЕС й продовжує експлуатуватися чимала кількість автомобілів із експлуатаційними термінами понад 25 років, можна стверджувати, що шкідливі викиди від роботи паливних передпускових підігрівачів автомобілів не погіршать екологічну ситуацію навіть при їх масовому використанні.

Обґрунтовано, що передпусковий підігрівач є дійсно ефективним приладом, який дозволяє зменшити як вміст токсичних речовин у відпрацьованих газах ДВЗ, мінімізувати процес його зношування, забезпечити помірні витрати палива й суттєво підвищити рівень комфорту для водія та пасажирів автомобіля

Оцінюючи умови створення оптимального для водія та пасажирів легкового автомобіля мікроклімату в салоні, в першу чергу розглядають саме його температурні показники, через те, що холодне повітря салону автомобіля знижує реакції водія, а тактильні дотики до охолоджених засобів керування (рульового колеса, важеля перемикачів КП, важеля стоянкового гальма та ін.) лише підвищують рівень дискомфорту. До того ж, холодне повітря салону визначає появу мікрокрапель вологи, яка виділяється під час дихання людини й неминуче конденсується на найбільш охолоджених поверхнях, якими в першу чергу є внутрішні поверхні скла, покриваючи їх непрозорим шаром інею. Це створює додаткові перешкоди для можливості початку руху автомобіля й вимагає проведення процедури прогріву салону. Зазначене інтенсифікується із зниженням температури навколишнього середовища та тривалим часом простою автомобіля при таких температурах після зупинки ДВЗ.

Загальновідомо, що час прогріву двигуна для кожного автомобіля є його індивідуальною характеристикою, яка визначається конструктивними параметрами (типом ДВЗ та його технічними станом, видом палива, що споживається та ін.) та експлуатаційними факторами (режимами роботи ДВЗ, температурними режимами повітря та ін.). При цьому одні автомобілі прогріваються швидше, в той час як інші прогріті дуже важко, особливо при роботі в режимі холостого ходу.

Для визначення часових діапазонів потрібних для прогріву ДВЗ до температур, що забезпечують оптимальні умови руху у нормальному експлуатаційному режимі та салонів автомобілів до $+20^{\circ}\text{C}$ за різних температур навколишнього середовища, необхідні оціночні дослідження. Для об'єктивності розв'язання даного питання, до експерименту були залучені легкові автомобілі компанії «Skoda» із різними потужностями ДВЗ та різним паливом, що споживається: «Skoda Octavia III 2.0 TDI» (дизель), «Skoda Octavia I 1.8 TSI» (бензин) та «Skoda Fabia III 1.2 TSI» (бензин). Результати проведеного дослідження підтверджують, що час потрібний на опалення салону сучасного автомобіля при роботі штатної системи опалення, яка передбачає запуск й роботу двигуна, порівнюється до часових інтервалів прогріву салону автомобіля автономними паливними підігрівачами. Якщо ж розглянути менш досконалі й більш старі автомобілі (випуску до 2000 р.) у сегменті А-С класів, які мають конструктивно гірші характеристики роботи систем опалення їх салонів, то можна визнати, що час прогріву без використання попереднього підігріву буде значно більший.

Що ж стосується автомобілів класу М1 оснащених електричними силовими установками, то за результатами проведених тестів було встановлено, що більшість із них взагалі не здатні самостійно нагріти салони до температури $+20^{\circ}\text{C}$ менш ніж за 1 год. при температурі навколишнього середовища -10°C [10]. Як виявилось популярні електромобілі «Renault Zoe» та «Tesla Model Y» забезпечують прогрів салону лише до $+15^{\circ}\text{C}$ лише через 40 хв. роботи, при цьому це є граничною величиною температури - подальший прогрів не забезпечує її зростання. Подібні результати встановлені й для електромобілів компанії «Volkswagen» (моделі ID), які забезпечують температуру в салонах до $+20^{\circ}\text{C}$ за 24,5 хв. роботи.

Разом з тим, не слід забувати про те, що використання штатних систем опалення на електромобілях суттєво скорочує початковий запасу їх ходу (пробігу). Дослідженнями встановлено, що скорочення пробігу для автомобілів із електричними двигунами «Volkswagen ID» складає 25...40%, а для найбільш масових й популярних в Україні «Nissan Leaf» цей показник загалом становить 37...50%, що фактично є критичним для умов зимової експлуатації, особливо за межами міста.

Доцільність встановлення додаткових обігрівачів салонів для власників електромобілів є навіть більш актуальною, ніж для власників автомобілів із ДВЗ.

Оптимальним варіантом для автомобілів на електроприводі є електричні провідні повітряні, які до речі залишають незмінною саму основну концепцію електромобілів - нульові експлуатаційні викиди до атмосфери. Разом із тим, застосування паливних повітряних підігрівачів є більш ефективним, так як його робота не зменшує запас ходу електромобіля, однак для її реалізації потрібно встановлювати додатковий паливний бак.

Визначаючи ефективність роботи автономних підігрівачів повітря в салонах автомобілів потрібно оцінювати різні складові витрат до яких відносяться: витрати пов'язані із придбання приладу, витрати на його установку та енергоносії, які споживаються ним в процесі виконання функціонального призначення.

Вартість витрат на монтаж автономних підігрівачів повітря, за даними автосервісних підприємств України, є змінною й визначається трудомісткістю й складністю технологічних операцій й коливається у діапазоні 1,5...10,0 тис. грн. Витрати пов'язані із безпосереднім робочим процесом підігрівачів залежать від часу їх роботи, обсягів спожитого ресурсу та його виду (електроенергія, дизельне паливо або бензин). На першому етапі визначимо витрати палива на прогрів салону автомобіля штатною системою опалення, яка задіяна від робочого процесу двигуна, без інтегрованого у систему автономного підігрівача. Так як, салон середньостатистичного автомобіля лише при роботі його ДВЗ прогріватиметься за 20 хв., усереднені показники витрати палива складатимуть близько 0,5 л (наприклад, бензину) [11], що оцінюється 28 грн. на додаткову витрату палива (з розрахунку вартості 1 л. бензину А95 на рівні 56,0 грн./л).

Розрахунок вартості прогріву салонів АТЗ із використанням підігрівачів різних типів проводять за залежностями:

$$- \text{для паливних підігрівачів} \quad C_1 = T \cdot Q \cdot F + P \cdot D; \quad (1)$$

$$- \text{для електричних підігрівачів} \quad C_2 = T \cdot P \cdot D, \quad (2)$$

де T – час роботи приладу, год.;

Q – витрата палива, л/год.;

F – вартість палива, грн./л.;

P – витрати електронагрівача, кВт/год.;

D – вартість електроенергії, грн./кВт.

Оцінка визначених витрат коштів на роботу автономних підігрівачів різних типів впродовж 20 хв. (0,33 год.) на основі їх технічних характеристик (рис. 1).

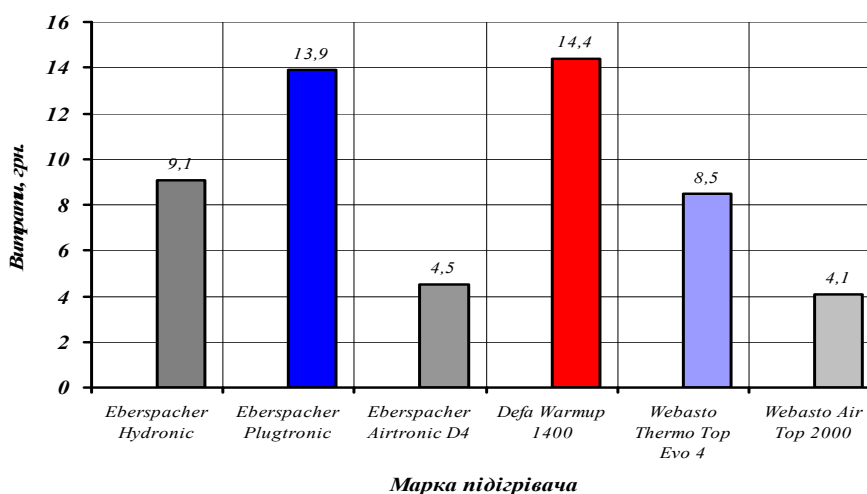


Рисунок 1 – Порівняльні витрати коштів на 20 хв. роботи автономних підігрівачів різних типів

Джерело: розроблено авторами

Можна бачити, що вартість однократного підігріву електричними підігрівачами є на 50% більшою ніж паливним підігрівачем. Якщо ж визначати економічність таких приладів в більш тривалому часовому вимірі то слід підрахувати мінімальну кількість можливих активацій підігрівачів за весь зимовий період впродовж одного року. Визначено, що середньостатистичний водій АТЗ після довгої стоянки запускає двигун автомобіля в середньому не частіше 2 разів за добу (зранку вдома та після закінчення роботи) у робочі дні та лише 1 раз у вихідні – маємо 12 запусків на тиждень. При цьому, прогрів без підігрівача 12 разів коштуватиме $C = 12 \cdot 28,0 = 336,0 \text{ грн.}$, тоді як із використанням, наприклад, комплекту «Webasto Thermo Top Evo 4» тиждень використання, становитиме $C = 12 \cdot 8,5 = 102,0 \text{ грн.}$, що на 234,0 грн. дешевше, а за місяць економія складе 936,0 грн.

Підсумовуючи результати дослідження можна стверджувати, що використання автономних підігрівачів є більш економічним, порівняно зі штатною системою опалення.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

1. В процесі дослідження визначено оптимальні температурні показники для створення комфортного мікроклімату в салоні легкового АТЗ. Обґрунтовано, що альтернативою опалення салону АТЗ є використання автономних підігрівачів.

2. На основі оцінювання ефективності роботи автономних підігрівачів різних типів, встановлено, що всі вони ефективно виконують свою функцію прогріву охолоджувальної рідини або повітря в салоні автомобіля та здатні забезпечити необхідний мікроклімат в салоні АТЗ взимку. Доведено, що використання паливних передпускових підігрівачів зменшує загальний відсоток токсичних викидів в атмосферне повітря, знижує знос двигуна АТЗ, витрати палива та, відповідно фінансові витрати в процесі їхньої експлуатації.

3. Перспективи подальших досліджень вбачаємо у визначенні параметрів практичної інтеграції автономних підігрівачів до штатної системи охолодження двигуна автомобіля та обґрунтуванні економічної ефективності й термінів окупності найбільш популярних автономних пристроїв для підігріву салонів автотранспортних засобів з урахуванням складових витрат щодо їх придбання, установки та умов експлуатації.

Список літератури

1. Решетило А. О., Решетило О. М., Гуменюк П. О., Маркіна Л. М. Системи забезпечення мікроклімату салону легкового автомобіля. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2017. №26. С. 227-232.
2. Сітовський О.П., Деркач В.Л. Визначення впливу передпускового підігріву на характеристику роботи двигуна з підвищеними обертами холостого ходу. *Наукові нотатки*. 2014. №44. С. 282-285.
3. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія. / Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. та ін. Кропивницький: Видавництво ТОВ «КОД», 2017. 370 с.
4. What is the most suitable temperature for the vehicle interior? Avtotachki : веб-сайт. URL: <https://uk.avtotachki.com/>.
5. Winter weather driving tips. NHTSA: веб-сайт. URL: <https://www.nhtsa.gov/winter-driving-tips>.
6. How do air conditioning systems work in a car? Universal Technical Institute : веб-сайт. URL: <https://www.uti.edu/blog/automotive/air-conditioning>.
7. What is Webasto? Advantages and disadvantages and installation cost. Moje Auto : веб-сайт. URL: <https://www.moje-auto.pl/en/blog/tips/what-is-webasto>
8. Preheater types. Powerheat : веб-сайт. URL: <https://powerheat.nl/preheater-types/>.
9. The pros and cons of remote starters. Car RC : веб-сайт. URL: https://www.carreviewsncare.com/the-pros-and-cons-of-remote-starters/#google_vignette.
10. Elektroauto im Winter: So wirkt sich Kälte auf Verbrauch und Reichweite aus. ADAC : веб-сайт. URL: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-reichweite-winter/>.
11. Автомобілістам розповіли, скільки пального витрачає машина під час прогріву. TSN : веб-сайт. URL: <https://tsn.ua/auto/news/avtomobilistam-rozpozvili-skilki-palnogo-vitrachaye-mashina-pid-chas-progrivu-1729891.html>

References

1. Reshetylo, A.O., Reshetylo, O.M., Humeniuk, P.O., & Markina, L.M. (2017). Systemy zabezpechennia mikroklimatu salonu lehkovoho avtomobilia [Microclimate systems for passenger car interior]. *Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii: osvita, nauka, vyrobnytstvo - Computer-integrated technologies: education, science, production*, 26, 227-232 [in Ukrainian].
2. Sitovskyi, O.P., & Derkach, V.L. (2014). Vyznachennia vplyvu peredpuskovoho pidihryvu na kharakterystyky roboty dvyhuna z pidvyshchenymy obertamy kholostoho khodu [Determination of the influence of pre-start heating on the performance characteristics of the engine at high idle speeds]. *Naukovi notatky - Scientific notes*, 44, 282-285 [in Ukrainian].
3. Aulin, V.V., Holub, D.V., & Hrynkiv A.V. (2017). Metodolohichni i teoretychni osnovy zabezpechennia ta pidvyshchennia nadiinosti funktsionuvannia avtomobilnykh transportnykh system [Methodological and theoretical foundations of ensuring and improving the reliability of the functioning of automobile transport systems] Kropyvnytskyi: Vydavnytstvo TOV «KOD» [in Ukrainian].
4. Site Avtotachki. What is the most suitable temperature for the vehicle interior? Retrieved from: <https://uk.avtotachki.com/> [in English].
5. Site NHTSA. Winter weather driving tips. Retrieved from: <https://www.nhtsa.gov/winter-driving-tips> [in English].
6. Site Universal Technical Institute. How do air conditioning systems work in a car? Retrieved from: <https://www.uti.edu/blog/automotive/air-conditioning> [in English].
7. Site Moje Auto. What is Webasto? Advantages and disadvantages and installation cost. Retrieved from: <https://www.moje-auto.pl/en/blog/tips/what-is-webasto> [in English].
8. Site Powerheat. Preheater types. Retrieved from: <https://powerheat.nl/preheater-types/> [in English].
9. Site Car RC. The pros and cons of remote starters. Retrieved from: https://www.carreviewsncare.com/the-pros-and-cons-of-remote-starters/#google_vignette [in English].
10. Site ADAC. Elektroauto im Winter: So wirkt sich Kälte auf Verbrauch und Reichweite aus. Retrieved from: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-reichweite-winter/> [in English].
11. Sait TSN. Avtomobilistam rozpovily, skilky palnoho vytrachaie mashyna pid chas prohrivu [Site TSN. Motorists were told how much fuel the car consumes during warm-up]. Retrieved from: <https://tsn.ua/auto/news/avtomobilistam-rozpovily-skilki-palnogo-vitrachaye-mashina-pid-chas-progrivu-1729891.html> [in Ukrainian].

Viktor Aulin, Prof., DSc., **Mykhailo Mahopets**, Master

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Formation of the microclimate in the cabins of motor vehicles by heaters of various designs

The article is devoted to the substantiation of the rational technology of microclimate formation in the cabins of motor vehicles operated in the climatic zone of Ukraine, at low temperature indicators of the environment based on the use of heaters of various designs.

The impact of high and low temperatures in the car interior on the condition of the driver and passengers was determined. It was determined that the optimal temperature values are +16...+26 °C and must be provided by a ventilation, heating and air conditioning system. Failure of these systems should preclude further operation of the vehicle. For heating, the thermal energy of the engine is used through the heated coolant passing through the heat exchanger. This design is simple and reliable, but the time it takes to warm up the interior depends on the ambient temperature and engine warm-up, especially in winter.

The efficiency of autonomous heaters of various types (fuel-liquid, fuel-air, electric-air, electric-liquid built-in and electric-liquid wired) and their impact on the level of environmental pollution were evaluated. All types of autonomous heaters effectively perform their function of heating the coolant or air in the car interior. It is shown that compared to remote engine start systems, pre-start heaters are more appropriate for providing the necessary microclimate in winter. The use of fuel preheaters reduces the overall percentage of toxic emissions, especially in older vehicles. In addition to increasing comfort and reducing emissions, pre-heating the engine reduces its wear and tear and fuel consumption.

The expediency of using autonomous heaters for motor vehicles is substantiated. For cars with internal combustion engines, this allows for a comfortable microclimate, and for electric cars - to increase the range by 25-50% in severe frosts. From a financial point of view, heaters are more economical compared to a standard heating system, although the initial cost of the devices is significant.

motor vehicles, interior, microclimate, interior heating, heater, coolant, thermal energy of the engine, heat exchanger

Одержано (Received) 07.05.2024

Прорецензовано (Reviewed) 07.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 62-713.3

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.158-163](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.158-163)

В.В. Розум, асп., В.В. Кудінов, асп., І.В. Кудінов, асп., О.І. Попович, асп., В.О. Дрожай, асп., Р.І. Розум, доц., канд. техн. наук, Р.В. Чорний, ст. вик., канд. техн. наук
Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна
e-mail: rozzoom_ruslan@ukr.net

Охолоджуючі рідини для ДВЗ: огляд

В роботі висвітлено проблематику використання охолоджуючих рідин у транспортних засобах оснащених двигунами внутрішнього згорання, а також їх сумісності між собою. Оскільки проблема вибору останніх пов'язана з тим, що на ринку асортимент охолоджувальних рідин є надзвичайно широким. Кожен вид містить в собі певний комплект присадок, що впливають на основні його характеристики: температури замерзання і кипіння, щільність тощо. І один колір охолоджуючої рідини не дає гарантії, що дані антифризи належать до однієї групи. Проведено аналіз праць провідних вітчизняних та зарубіжних вчених присвячених проблемі вибору та використання охолоджуючих рідин для ДВЗ транспортних засобів, який показав, що актуальною проблемою є правильний підбір охолоджуючої рідини для конкретного транспортного засобу та відповідних умов його експлуатації. Виділено основні чинники, які впливають на використання охолоджуючих рідин для ДВЗ, а також їх сумісність між собою. Дано рекомендації щодо вибору охолоджуючих рідин та їх використання, основним чинником для підбору охолоджувальної рідини для ДВЗ є стандарт, відповідно до якого виготовлена рідина. Не потрібно прив'язуватися лише до кольору, а підбирати тип – відштовхуючись від допусків автовиробника конкретного транспортного засобу. Показано, що на питання, який антифриз є кращим – чіткої і однозначної відповіді не існує. Очевидним є факт, що лобридні охолоджуючі рідини є оптимальним варіантом, однак необхідно в першу чергу брати до уваги вимоги автовиробника. Асортимент охолоджуючих рідин на автомобільному ринку України є величезним. Окрім того, що кожен вид рідин містить власний комплекс присадок, він також відрізняється по основних характеристиках: щільністю, температурою кипіння та замерзання. Тому, напрошується очевидна відповідь – використовуйте лише рекомендовані автовиробником рідини.

охолоджуюча рідина, антифриз, тосол, система охолодження

Постановка проблеми. В ідеалі уся енергія палива, що спалюється у двигуні транспортного засобу, повинна повністю перетворюватись у механічну енергію, яка в свою чергу, передаватись на колеса. Однак, на превеликий жаль, ідеальних умов не існує і ККД сучасного ДВЗ тановить не більше 50 %. Іншими словами, менше 5 л палива із кожних спалених 10 л перетворюється у механічну енергію. Інша частина в процесі згорання продукує теплову енергію, якої повністю достатньо для нагріву агрегату до сотень градусів. Але, беручи до уваги різні фізичні характеристики матеріалів, із яких виготовляються складові двигуна, нормальною робочою температурою двигуна є температура близько 100 °С. Все, що більше повинна відвести система охолодження.

Усім автовласникам відомо, що для забезпечення роботоздатності транспортного засобу потрібна низка спеціальних рідин. Дані рідини відіграють важливе значення у продовженні терміну працездатності різних видів транспорту, не є винятком і автомобільний транспорт. Від застосування простої чи дистильованої води для систем охолодження давно відмовилися, причиною чого є властивість води замерзати при настанні негативних температур, створювати умови для підвищеної корозії каналів блоку циліндрів, утворювати накип та інше. Отже, як бачимо, на рідини для охолоджувальної системи ДВЗ накладається низка обмежень. Перш за все, вони

© В.В. Розум, В.В. Кудінов, І.В. Кудінов, О.І. Попович, В.О. Дрожай, Р.І. Розум, Р.В. Чорний, 2024

повинні забезпечувати максимально ефективне відведення теплової енергії від двигуна. По друге захищати елементи системи охолодження від корозії та появи різного роду відкладень. Спираючись на вище сказане постає питання: яка охолоджуюча рідина є найкращою?

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі дослідження характеристик охолоджуючих рідин присвячені роботи багатьох вчених, зокрема: М. В. Хутько, О. А. Гордієнко, Т. І. Сидорук, А. П. Ранський [1], С. В. Бойченко [2], В. Ф. Кисликов [3], В. І. Сирота [4], В. А. Чабанний [5], О. К. Безюков [6], Є. В. Іщенко [7], В. П. Волков [8], А. І. Окоча [9] та інші.

У роботі [1] зроблено аналіз сучасних охолоджуючих рідин ДВЗ та їх хімічний склад, наведено класифікацію інгібіторів згідно із міжнародним позначенням, а також відмічені шляхи покращення експлуатаційних властивостей охолоджуючих рідин за рахунок зміни їх складу. Питання та проблематику якості досліджень у сфері техніки, зокрема колісних транспортних засобів розкрили автори [10].

У праці [2, 10] проведено систематизацію рідин, що мають спеціальне призначення, наведено їхні технічні вимоги та властивості.

Отже, аналізуючи роботи, присвячені проблемі вибору та використання охолоджуючих рідин для ДВЗ транспортних засобів, можна зробити висновок, що актуальною проблемою є правильний підбір охолоджуючої рідини для конкретного транспортного засобу та відповідних умов його експлуатації.

Постановка завдання. Дослідження сучасних охолоджуючих рідин ДВЗ і розробка рекомендацій щодо їх використання.

Виклад основного матеріалу дослідження. В літературних джерелах, можна зустріти багато варіацій на тему, що краще використовувати: антифриз чи тосол, а також чи можна проводити їх змішування. При більш детальному огляді, бачимо, що антифризом називають усі охолоджуючі рідини, а тосолом – лише окремий їх вид. В зв'язку з цим, питання змінюється, яку ж охолоджуючу рідину необхідно використовувати? Найбільш правильна відповідь знаходиться в інструкції з експлуатації транспортного засобу.

На ринку асортимент охолоджувальних рідин є надзвичайно широким. Кожен вид містить в собі певний комплект присадок, що впливають на основні його характеристики: температури замерзання і кипіння, щільність. Розглянемо найбільш поширені види охолоджуючих рідин (антифризів):

1. Сині антифризи – із силікатною (неорганічною) основою (до них і належить тосол). До основних недоліків даного виду належить те, що в процесі експлуатації двигуна з їх використанням відбувається нашарування на внутрішніх стінках системи охолодження сольових відкладень. Дані відкладення зумовлюють погіршення передачі тепла від елементів двигуна до охолоджуючої рідини і тим самим перегріву двигуна транспортного засобу. З метою уникнення останнього виникає потреба у частих промивках охолоджуючої системи і заміні охолоджуючої рідини.

2. Зелені (гібридні) охолоджуючі рідини – по своїй структурі наближені до антифризів із силікатною основою, однак містять незначний відсоток карбонових (органічних) кислот. Оскільки їх структура дуже наближена до структури першого типу, то і недоліки в них є аналогічні до недоліків охолоджуючих рідин першого типу. Рекомендована періодичність заміни кожних два роки.

3. Червоні (карбоксилатні) теж у своєму складі мають неорганічні кислоти. Однак за рахунок особливостей присадок на базі органічних карбонових кислот володіють кращими антикорозійними захисними властивостями. За допомогою інгібіторів відбувається активна локалізація епіцентрів корозії та утворення тонкої захисної плівки. Рекомендована періодичність заміни становить – п'ять років.

4. Фіолетові (лобридні) – складаються із 90 % карбоксилатів (органіка) та лише 10 % силікатів. На сьогоднішній день, вважаються найбільш ефективним видом охолоджуючих рідин. Це пояснюється тим, що даний вид утворює надзвичайно тонку масляну плівку товщиною близько 0,1 мкн, яка забезпечує безперешкодний відвід тепла при добрих змащувальних характеристиках, а також не утворюють осад. Рекомендований термін використання становить десять років.

Однак, необхідно відмітити, що один колір охолоджуючої рідини не дає гарантії, що дані антифризи належать до однієї групи. Це пояснюється тим, що виробник із певних власних міркувань (інколи відомих лише йому) побажає додати певний барвник у антифриз, він може таке зробити. На сьогоднішній день, забарвлення антифризу це проста умовність: оскільки охолоджуюча рідина одного виробника може бути зеленою, її повний аналог іншого виробника може мати червоний, фіолетовий чи інший колір.

Тому, як бачимо, думка автомобілістів, що охолоджуючі рідини можна змішувати відповідно до їх кольору – є хибною. Оскільки, принципового якогось впливу на основні характеристики колір не має: так охолоджуючі рідини, які володіють однаковим забарвленням нерідко відрізняються згідно виробничих стандартів і допусків автовиробників.

Класифікувати охолоджуючі рідини за допомогою кольорового пігменту було запропоновано групою VAG (Volkswagen Audi Gruppe). Це пояснювалося зручністю візуального встановлення до якої групи охолоджувальних рідин належить той чи інший антифриз. Відповідно до цієї класифікації автомобільним антифризам, що мали маркування G надавали наступне забарвлення:

Синє чи зелене для – G11;

Червоне – G12;

Рожеве – G12+ і G12++;

Фіолетове чи жовте – G13.

Основне застосування барвників, на сьогоднішній день, є їх властивість до ефективного виявлення проблемних місць у з'єднаннях шлангів і патрубків системи охолодження. Це пояснюється тим, що яскравий пігмент є добре помітним під дією ультрафіолетового світла в процесі сервісного огляду та ремонту автотранспортних засобів.

Запроваджена концерном VAG ще наприкінці минулого століття G-класифікація охолоджуючих рідин була прийнята і іншими виробниками антифризів і використовується й сьогодні. Але, необхідно відмітити, що орієнтуватися лише на них, як основний маркер, не потрібно. Класифікація від VAG хоча і є найпоширенішою, однак до використання в двигунах інших автовиробників вона доволі часто не має ніякого відношення.

G-групи охолоджуючих рідин, що пройшли сертифікацію VAG на 100 % є придатними лише для двигунів транспортних засобів VAG і в більшості випадків не мають ніякого відношення до транспортних засобів інших виробників. У зв'язку з цим, необхідно орієнтуватися на рекомендації щодо використання тої чи іншої охолоджуючої рідини, які закладені в інструкції із експлуатації відповідного транспортного засобу.

Розглянемо більш детально класифікацію від VAG, яка передбачає поділ охолоджуючих рідин на G-групи:

G11 – гібридні види охолоджуючих рідин, основними складниками яких є дистильована вода й етиленгліколь, а також містять незначну кількість органічних чи неорганічних антикорозійних присадок. Дані рідини характеризуються комбінованим захистом систем охолодження транспортних засобів. Використовуються у системах охолодження транспортних засобів, що були випущені до 2000 року, рекомендований термін використання таких антифризів – до 3 років.

G12 – карбоксилатні види охолоджуючих рідин, що мають водно-етиленгліколеву основу та органічні антикорозійні присадки. Їх основною характеристикою є безпосередня дія на епіцентр корозії. Даного роду охолоджуючі рідини можуть використовуватися в двигунах виготовлених із алюмінієвих сплавів, у вони таких системах охолодження не генерують нальоту та накипу. Рекомендований термін використання даних антифризів до 5 років. Оригінальні охолоджуючі рідини даної групи закінчили випускати ще у 2004 р., що пов'язано із появою «плюсових» модифікацій.

G12+ – не лише забезпечує формування захисної плівки в епіцентрах утворення корозії, а також проводить профілактичні дії, з метою попередження їх виникнення. Даний ефект забезпечується за рахунок використання вдосконаленого комплексу присадок, що містить в своєму складі інгібітори корозії на основі карбонових кислот. Рекомендована заміна антифризів групи G12+ кожні 5 років чи після пробігу – 200 тис.км.

G12++ – охолоджуючі рідини в яких у лобридний склад входить органічна основа та комплекс мінеральних інгібіторів. За допомогою такого роду комбінації забезпечується поєднання в одній рідині плюсів як органічних так і неорганічних присадок, тим самим створюється ефективний місцевий захист елементів двигуна від появи корозії. Рекомендований термін використання лобридних антифризів групи G12++ становить до 10 років.

G13 – рідини даної групи відрізняються від своїх попередників тим, що в їх складі відсутній токсичний етиленгліколь, замість нього використовується пропіленгліколь, який є менш токсичним та володіє більш коротким періодом розкладання після завершення процесу його використання. Також необхідно відмітити, що характеристики охолоджуючих рідин групи G13 забезпечують можливість їх використання у системах охолодження потужних форсованих двигунів. Рекомендований термін використання охолоджуючих групи G13 становить 10 років.

Ще одне питання, з яким стикаються багато автовласників в процесі використання своїх транспортних засобів, а які охолоджуючі рідини можна змішувати між собою, чи іншими словами, що можна долити?

Як вже було сказано раніше, проводити ідентифікацію антифризу лише за його кольором є недопустимо. Оскільки, проводити змішування різних груп антифризів не рекомендується. Проводити доливання в бачок для охолоджуючої рідини необхідно рідину тої ж групи, яка знаходиться в системі охолодження.

Проведення змішування різних по своєму складу охолоджуючих рідин може привести до цілої низки непередбачуваних проблем, серед яких:

- виникнення корозії на внутрішніх стінках елементів системи охолодження двигуна;
- розтріскування трубопроводів системи охолодження;
- утворення преципітату та відкладень;
- засміченням радіаторів тощо.

У випадку, коли відбулося зниження рівня антифризу в розширювальному бачку і не має можливості долити той самий, оптимальним варіантом є доливання у систему невеликої кількості дистильованої води. Однак, необхідним при цьому є врахування наступних чинників:

1. Вода має бути лише дистильованою. Це пояснюється тим, що, у випадку доливання звичайної чи мінеральної води, наявні в ній елементи можуть засмічувати систему охолодження транспортного засобу або/і здійснювати хімічну реакцію із охолоджуючою рідиною.

2. Проводити доливання води до 200 мл, в протилежному випадку відбувається сильне розбавлення антифризу, а отже останній втрачає свої характеристики і не забезпечує покладені на нього функції.

3. Процес випаровування охолоджуючої рідини у теплу пору року також пов'язаний із тим, що в останній присутня вода.

Проводити вимушене змішування антифризів допускається лише у крайньому випадку. Це пояснюється тим, що різні види присадок, які є у різних охолоджуючих рідинах, можуть непередбачувано вступати між собою у різні хімічні реакції. У випадку, проведення вимушеного доливання в систему охолодження іншої групи охолоджуючої рідини, кращим буде, при першій можливості, провести промитивання системи охолодження із заміною антифризу на рекомендований автовиробником.

На ринку охолоджуючих рідин, останні зустрічаються як у виді готової до використання рідини так і у виді концентрату, який необхідно перед використанням розвести водою. Перший вид рідин необхідно заливати у систему охолодження транспортного засобу без будь-яких додаткових дій. Другі – передбачають виконання попередньо дій щодо розведення їх дистильованою водою відповідно до пропорцій, які зазначені на упаковці. Експериментувати щодо зміни пропорцій концентрату та дистильованої води не бажано, оскільки зміна пропорції викликає зміну основних характеристик охолоджуючої рідини.

Висновки. Отже, як бачимо, основним чинником для підбору охолоджувальної рідини для ДВЗ є стандарт, відповідно до якого виготовлена рідина. Не потрібно прив'язуватися лише до кольору, а підбирати тип – відштовхуючись від допусків автовиробника конкретного транспортного засобу.

На питання, який антифриз є кращим – чіткої і однозначної відповіді не існує. Очевидним є факт, що лобридні охолоджуючі рідини є оптимальним варіантом, однак необхідно в першу чергу брати до уваги вимоги автовиробника. Асортимент охолоджуючих рідин на автомобільному ринку України є величезним. Окрім того, що кожен вид рідин містить власний комплекс присадок, він також відрізняється по основних характеристиках: щільністю, температурою кипіння та замерзання. Тому, напрошується очевидна відповідь – використовуйте лише рекомендовані автовиробником рідини.

Список літератури

1. Охолоджуючі рідини з покращеними екологічними та експлуатаційними властивостями / Хутько М. В. та ін.. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. № 3. С.32 – 40.
2. Іванова Г. В., Кумейко О. В., Бойченко С. В. Систематизація технічних рідин. *Вісник НАУ*. 2006. №1. С.32 – 40.
3. Кислик В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: підручник. 6-те вид. К.: Либідь, 2006. 400 с.
4. Сирота В. І. Основи конструкції автомобілів: навч. посіб. для вузів. К.: Арістей, 2005. 280 с.
5. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення / Чабаний В. Я. та ін. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. 353с.
6. Безюков О. К. Моделювання процесів старіння охолоджуючих рідин ДВС. *Наукові праці Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2011. Вип. 27(2). С. 84–89.
7. Екологічно безпечні антифризи для транспорту / Є. В. Іщенко та ін. *Транспортні системи і технології*. 2021. № 1(49). С. 96–107.
8. Наглюк М. І., Волков В. П., Наглюк І. С. Уточнення термінів зміни антифризів під час експлуатації. *Наукові нотатки: міжвузівський зб.* 2012. Вип. 37. С. 246–256.
9. Окоча А. І., Білоконь Я. Ю. Паливномастильні та інші експлуатаційні матеріали : підручник. К.: Центр. дух. культ. 2004. 448 с.
10. James E Neal Jr. *Effective Phrases for Performance Appraisals: A Guide to Successful Evaluations*. Neal Publications, 2020. 264 p.

References

1. Khut'ko, M.V., Hordiienko, O.A., Sydoruk, T.I. et al. (2021). Okholodzhuiuchi ridyny z pokrascheny my ekolohichny my ta ekspluatatsijnymy vlastyvostiamy [Cooling fluids with improved environmental and operational properties]. *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu - Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute*, 3, 32-40 [in Ukrainian].
2. Ivanova, H.V., Kumejko, O.V. & Bojchenko, S.V. (2006). Systematmyzatsiia tekhnichnykh ridyn [Systematization of technical fluids]. *Visnyk NAU - Bulletin of NAU*, 1, 32-40 [in Ukrainian].
3. Kyslykov, V.F. & Luschyk, V.V. (2006). *Budova j ekspluatatsiia avtomobiliv [Construction and operation of cars.]* K.: Lybid' [in Ukrainian].
4. Syrota, V.I. (2005). *Osnovy konstruksii avtomobiliv [Basics of car design]*. K.: Aristej [in Ukrainian].
5. Chabannyj, V. Ya. et al. (2008). *Palyvo-mastylni materialy, tekhnichni ridyny ta systemy ikh zabezpechennia [Fuels and lubricants, technical fluids and their supply systems]*. Kirovohrad: Tsentral'no-Ukrains'ke vydavnytstvo [in Ukrainian].
6. Beziukov, O.K. (2011). Modeliuvannia protsesiv starinnia okholodzhuiuchykh ridyn DVS [Modeling of aging processes of internal combustion engine coolants]. *Naukovi pratsi Cherkas'koho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky - Scientific works of the Cherkasy State Technological University. Series: Technical sciences*, 27(2), 84-89. [in Ukrainian].
7. Ischenko, Ye.V. et al. (2021). Ekolohichno bezpechni antyfyryzy dlia transportu [Ecologically safe antifreezes for transport]. *Transportni systemy i tekhnolohii -Transport systems and technologie*, 1(49), 96-107 [in Ukrainian].
8. Nahliuk, M.I., Volkov, V.P. & Nahliuk, I.S. (2012). Utochnennia terminiv zminy antyfyryziv pid chas ekspluatatsii [Clarifying the terms of changing antifreeze during operation]. *Naukovi notatky: mizhvuziv's'kyj zb - Scientific notes: interuniversity coll*, 37, 246-256 [in Ukrainian].
9. Okocha, A.I. & Bilokon', Ya.Yu. (2004). *Palyvnomastylni ta inshi ekspluatatsijni materialy [Lubricants and other operational materials]*. K.: Tsent. dukh. kul't [in Ukrainian].
10. James E Neal Jr. (2020). *Effective Phrases for Performance Appraisals: A Guide to Successful Evaluations*. Neal Publications. 264 p. [in English].

Volodymyr Rozum, post-graduate, **Valerii Kudinov**, post-graduate, **Ihor Kudinov**, post-graduate, **Oleksandr Popovych**, post-graduate, **Vlad Drozhak**, post-graduate, **Ruslan Rozum**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ruslan Chornuy**, Senior Lecturer, PhD tech. sci.

Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

Coolants for internal combustion engines: an overview

The work highlights the problems of using coolants in vehicles equipped with internal combustion engines, as well as their compatibility with each other. Since the problem of choosing the latter is due to the fact that the range of coolants on the market is extremely wide. Each type contains a certain set of additives that affect its main characteristics: freezing and boiling temperatures, density, etc. And the single color of the coolant does not guarantee that these antifreezes belong to the same group. An analysis of the works of leading domestic and foreign scientists devoted to the problem of choosing and using coolants for internal combustion engines of vehicles was carried out, which showed that the actual problem is the correct selection of coolant for a specific vehicle and the corresponding conditions of its operation. The main factors affecting the use of cooling liquids for internal combustion engines, as well as their compatibility with each other, are highlighted. Recommendations are given for the selection of coolants and their use, the main factor for the selection of coolant for internal combustion engines is the standard according to which the liquid is manufactured. It is not necessary to get attached only to the color, but to select the type - based on the tolerances of the car manufacturer of a specific vehicle. It is shown that there is no clear and unequivocal answer to the question of which antifreeze is better. The fact that lowrid coolants are the best option is obvious, but it is necessary to take into account the requirements of the car manufacturer first of all. The range of coolants on the automotive market of Ukraine is huge. In addition to the fact that each type of liquid contains its own complex of additives, it also differs in its main characteristics: density, boiling and freezing points. Therefore, an obvious answer arises - use only fluids recommended by the car manufacturer.

coolant, antifreeze, antifreeze, cooling system

Одержано (Received) 15.05.2024

Прорецензовано (Reviewed) 17.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 621.434.432

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.164-174](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.164-174)**О.О. Кухаренко**, магістрант, **Д.О. Шалапко**, доц., канд. техн. наук*Херсонський ННІ НУК, м. Херсон, Україна***Л.А. Тарандушка**, проф., д-р техн. наук*Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна**e-mail: shalapko.denys@gmail.com, tarandushkal@ukr.net*

Інтеграція водневих технологій у транспортні двигуни внутрішнього згоряння: аналіз впливу на ефективність та екологічність

У світлі зростаючого інтересу до альтернативних джерел енергії, ця стаття пропонує глибокий аналіз перспектив впровадження водневих технологій у транспортній сфері. Розглянуті відомості про сучасність та перспективи цієї галузі, а також акцентовано увагу на екологічних, економічних та соціальних вигодах використання водню. Зокрема, надано огляд технічних рішень для оптимізації ефективності водневих двигунів та висвітлено значення розвитку інфраструктури в цьому контексті. За допомогою аналізу кейс-стадій успішного впровадження водневих технологій у різних країнах, стаття виробляє високий рівень усвідомленості про потенціал водню як ключового елементу сталого розвитку транспортного сектору.

водневі технології, транспортний сектор, водневі двигуни внутрішнього згоряння, паливні елементи, ефективність двигунів

Постановка проблеми. Зміна клімату та виснаження викопних паливних ресурсів є одними з найважливіших викликів сучасності. Використання традиційних видів палива призводить до значного забруднення навколишнього середовища, викидів парникових газів та інших шкідливих речовин. Це спонукає наукову спільноту та промисловість шукати альтернативні джерела енергії, які були б екологічно чистими та ефективними.

Водень як паливо для транспортних засобів привертає все більше уваги завдяки своїм унікальним властивостям. Він має високу теплотворну здатність і при згорянні утворює лише воду, що робить його одним з найчистіших видів палива. Використання водню в двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) може стати ефективним рішенням для зменшення викидів парникових газів та інших забруднювачів, що сприятиме збереженню навколишнього середовища.

Впровадження водневих технологій у транспортні ДВЗ також відкриває нові можливості для підвищення ефективності двигунів. Сучасні дослідження зосереджені на оптимізації процесів згоряння водню, використанні новітніх матеріалів і технологій для підвищення ККД та надійності двигунів. Крім того, важливими аспектами є розвиток інфраструктури для виробництва, зберігання та транспортування водню, а також економічні та соціальні переваги від переходу на водневі технології.

У цій статті розглянуто сучасний стан водневих технологій у транспортних ДВЗ, проаналізовано технічні рішення для підвищення їх ефективності, екологічні переваги, а також економічні та інфраструктурні виклики. Особливу увагу приділено кейс-стадіям успішного впровадження водневих технологій у різних країнах, що дозволяє виявити ключові фактори успіху та перспективи подальшого розвитку цієї галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання водню як палива для двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) пропонує екологічно чисту альтернативу традиційним бензиновим та дизельним двигунам. Сучасні технології водневих ДВЗ розвиваються в кількох ключових напрямках, зокрема адаптації існуючих двигунів для роботи на водні, розробки нових конструкцій двигунів, оптимізації систем подачі палива та згоряння, а також впровадження технологій зниження викидів шкідливих речовин [1].

Одним з найпоширеніших підходів є адаптація існуючих бензинових або дизельних двигунів для роботи на водні. Це включає модифікацію систем подачі палива, впорскування та системи запалювання. Використання водню в таких двигунах може здійснюватися в двох режимах:

1. чисте водневе паливо: двигуни, що працюють виключно на водні, потребують спеціальних змін для роботи з високими температурами згоряння та забезпечення належної суміші палива і повітря [2].

2. двофазне паливо: двигуни, що працюють на суміші водню з традиційними видами палива, що дозволяє знизити викиди CO_2 та підвищити ефективність згоряння [3].

Інший підхід полягає в розробці нових двигунів, спеціально спроектованих для роботи на водні [4]. Такі двигуни можуть мати оптимізовану геометрію камер згоряння, системи впорскування та запалювання, що забезпечує максимальну ефективність та мінімальні викиди. Деякі перспективні технології включають:

- пряме впорскування водню: дозволяє точно контролювати подачу водню і забезпечувати оптимальні умови згоряння.

- система подвійного впорскування: використання водню та традиційного палива для досягнення кращої ефективності та зниження викидів.

- турбонаддув: підвищення потужності та ефективності двигуна шляхом збільшення подачі повітря в камеру згоряння.

Для ефективної роботи водневих ДВЗ важливо забезпечити належну подачу палива та оптимальні умови згоряння [5]. Основні технології включають:

- електронні системи управління: дозволяють точно контролювати подачу водню, забезпечуючи оптимальні умови згоряння та зниження викидів.

- системи охолодження згоряння: використання технологій для зниження температури згоряння, що дозволяє зменшити утворення оксидів азоту (NO_x).

- каталітичні системи: використання каталітичних нейтралізаторів для зниження викидів шкідливих речовин.

Однією з ключових переваг використання водню є значне зниження викидів CO_2 [6]. Проте, високі температури згоряння водню можуть призводити до утворення оксидів азоту (NO_x) [7]. Для вирішення цієї проблеми застосовуються такі технології:

- системи рециркуляції відпрацьованих газів (EGR): дозволяють знижувати температуру згоряння та зменшувати утворення NO_x .

- впорскування води або пари: додавання води або пари до камери згоряння для зниження температури та утворення NO_x .

- каталітичні нейтралізатори: використання спеціальних каталізаторів для зниження викидів NO_x у відпрацьованих газах [8].

Постановка завдання. Таким чином, сучасні технології водневих двигунів внутрішнього згоряння спрямовані на підвищення ефективності, зниження викидів шкідливих речовин та забезпечення екологічної чистоти. Розвиток цих технологій відкриває нові можливості для створення екологічно безпечного транспорту та зниження залежності від викопних видів палива.

Виклад основного матеріалу. Підвищення ефективності водневих двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) є важливим завданням для забезпечення конкурентоспроможності цих технологій порівняно з традиційними двигунами. Ефективність водневих ДВЗ можна покращити за допомогою кількох технічних рішень, спрямованих на оптимізацію процесу згоряння, використання нових матеріалів і технологій, а також удосконалення систем управління двигуном [9].

Оптимізація процесу згоряння водню [10]:

1. Пряме впорскування водню: системи прямого впорскування дозволяють точно дозувати подачу водню безпосередньо у камеру згоряння. Це забезпечує краще перемішування палива з повітрям, знижує ймовірність детонаційного згоряння і покращує загальну ефективність двигуна.

2. Контрольоване запалювання: використання систем контролю запалювання дозволяє точно регулювати момент займання водню, що сприяє оптимальному згорянню палива та підвищенню ефективності. Це може включати використання іскрових свічок з високою напругою або систем лазерного запалювання.

3. Зниження температури згоряння: високі температури згоряння водню можуть призводити до утворення оксидів азоту (NOx). Для зниження температури згоряння застосовуються технології, такі як впорскування води або пари у камеру згоряння, що дозволяє ефективно контролювати температуру і зменшувати викиди NOx.

Щодо використання нових матеріалів і технологій варто розподілити на:

1. Легкі та міцні матеріали: використання новітніх матеріалів, таких як алюмінієві сплави, титан або композитні матеріали, дозволяє зменшити вагу компонентів двигуна, що підвищує загальну ефективність та продуктивність. Ці матеріали також мають високу термічну стійкість, що важливо для роботи з воднем.

2. Антикорозійні покриття: водень має агресивні властивості, які можуть спричинити корозію металевих компонентів. Використання спеціальних антикорозійних покриттів дозволяє продовжити термін служби двигуна та забезпечити його надійність.

Відповідно до удосконалення систем управління двигуном, вони потребують наступних змін:

1. Електронні системи управління двигуном (ECU): сучасні ECU можуть забезпечити точний контроль над усіма параметрами роботи двигуна, включаючи подачу палива, запалювання, рециркуляцію відпрацьованих газів (EGR) та інші. Це дозволяє оптимізувати роботу двигуна в режимі реального часу для досягнення максимальної ефективності.

2. Системи рециркуляції відпрацьованих газів (EGR): використання EGR дозволяє знижувати температуру згоряння та зменшувати утворення NOx. Це досягається шляхом повернення частини відпрацьованих газів у камеру згоряння, що дозволяє знизити пікові температури і покращити загальну ефективність двигуна.

3. Турбонаддув та суперчарджинг: використання турбокомпресорів і суперчарджерів дозволяє збільшити подачу повітря в камеру згоряння, що підвищує потужність двигуна та його ефективність. Це особливо важливо для водневих ДВЗ, де досягнення оптимальної суміші повітря і водню є ключовим фактором ефективного згоряння.

Інтеграція з гібридними системами:

1. Гібридні водневі ДВЗ: інтеграція водневих ДВЗ з електричними двигунами у гібридних системах може забезпечити додаткову ефективність та гнучкість у використанні енергії. Це дозволяє використовувати електричний двигун для низьких

швидкостей або під час зупинок, знижуючи загальне споживання водню і покращуючи паливну економічність.

2. Рекуперація енергії: використання систем рекуперації енергії, що зберігають енергію під час гальмування та використовують її для додаткового приводу або інших потреб, може значно підвищити загальну ефективність водневих ДВЗ.

Впровадження цих технічних рішень дозволяє підвищити ефективність водневих двигунів внутрішнього згоряння, забезпечуючи їх конкурентоспроможність з іншими видами транспортних засобів і сприяючи розвитку екологічно чистих технологій у транспортній галузі.

Екологічні аспекти використання водню у транспортних ДВЗ.

Використання водню як палива для двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) відкриває нові можливості для зниження негативного впливу на навколишнє середовище. У цьому розділі розглянуто основні екологічні аспекти, пов'язані з водневими ДВЗ, включаючи зниження викидів парникових газів, зменшення забруднення повітря іншими шкідливими речовинами, вплив на якість повітря та можливості використання відновлюваних джерел енергії.

Однією з головних екологічних переваг водневих ДВЗ є відсутність викидів вуглекислого газу (CO_2) під час згоряння водню. Традиційні бензинові та дизельні двигуни викидають значну кількість CO_2 , який є основним чинником глобального потепління та зміни клімату. Водень, при згорянні, утворює лише воду (H_2O), що робить його екологічно чистим паливом. Завдяки цьому, перехід на водневі ДВЗ може суттєво знизити викиди парникових газів у транспортному секторі.

Хоча згоряння водню не виробляє CO_2 , високі температури згоряння можуть сприяти утворенню оксидів азоту (NO_x), які є шкідливими для навколишнього середовища та здоров'я людини. Для вирішення цієї проблеми розроблені кілька технологій:

- Рециркуляція відпрацьованих газів (EGR): Використання EGR дозволяє знижувати температуру згоряння шляхом повернення частини відпрацьованих газів у камеру згоряння, що зменшує утворення NO_x .

- Каталітичні нейтралізатори: Встановлення каталізаторів у вихлопних системах водневих ДВЗ дозволяє перетворювати NO_x на менш шкідливі речовини, такі як азот (N_2) і вода (H_2O).

- Охолодження згоряння: Впорскування води або пари у камеру згоряння допомагає знижувати пікові температури, що сприяє зменшенню утворення NO_x .

Водневі ДВЗ також сприяють зниженню викидів інших шкідливих речовин, таких як оксиди сірки (SO_x), тверді частинки (PM) та незгорілі вуглеводні (HC). Водень не містить сірки, тому його згоряння не призводить до утворення SO_x , які викликають кислотні дощі та інші екологічні проблеми. Тверді частинки та незгорілі вуглеводні, які утворюються при згорянні вихлопного палива, також значно знижуються при використанні водню, що позитивно впливає на якість повітря.

Перехід на водневі ДВЗ може значно покращити якість повітря, особливо у міських районах, де концентрація транспортних засобів є високою. Зменшення викидів CO_2 , NO_x , SO_x , PM та HC сприяє зниженню рівня смогу та покращенню загального стану повітря. Це, в свою чергу, позитивно впливає на здоров'я населення, зменшуючи захворюваність на респіраторні та серцево-судинні захворювання.

Водень можна виробляти з використанням відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія. Це робить водневі технології ще більш привабливими з екологічної точки зору. Виробництво водню шляхом електролізу води, де електроенергія отримується з відновлюваних джерел, дозволяє знизити залежність від

викопних видів палива та зменшити загальний екологічний вплив на планету. Відновлюваний водень, вироблений з використанням зеленої енергії, створює замкнений цикл, де вода, утворена в результаті згоряння водню, може бути знову використана для його виробництва.

Економічні та соціальні переваги впровадження водневих ДВЗ

Перехід на водневі двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) має не лише екологічні, але й значні економічні та соціальні переваги. Ці переваги включають зменшення залежності від викопних видів палива, створення нових робочих місць, розвиток інноваційних технологій, покращення енергетичної безпеки та підвищення якості життя.

Зменшення залежності від викопних видів палива:

1. Енергетична незалежність: Використання водню як палива дозволяє країнам зменшити залежність від імпорту викопних видів палива, таких як нафта та газ. Це сприяє зміцненню енергетичної незалежності та знижує ризики, пов'язані з коливанням цін на нафту та геополітичними конфліктами.

2. Стабільніші ціни на паливо: Водень може бути вироблений з місцевих відновлюваних джерел енергії, що допомагає стабілізувати ціни на паливо та зменшити їхню залежність від світових ринків нафти.

Створення нових робочих місць

1. Розвиток водневої інфраструктури: Впровадження водневих технологій вимагає розбудови нової інфраструктури, включаючи виробництво, зберігання, транспортування та заправні станції для водню. Це створює численні можливості для працевлаштування у різних секторах економіки.

2. Інноваційні технології та стартапи: Розвиток водневих ДВЗ стимулює появу нових компаній та стартапів, які зосереджуються на розробці та впровадженні інноваційних рішень у цій галузі. Це сприяє розвитку наукових досліджень і технологічного прогресу.

Розвиток інноваційних технологій включає покращення ефективності та продуктивності: впровадження водневих ДВЗ стимулює дослідження та розробки у галузі енергетичних технологій, що включає вдосконалення методів виробництва водню, оптимізацію двигунів та розробку нових матеріалів і компонентів. Також важлива синергія з іншими технологіями: водневі технології можуть бути інтегровані з іншими передовими технологіями, такими як відновлювані джерела енергії та електричні транспортні засоби, що сприяє створенню комплексних рішень для сталого розвитку енергетичного сектору.

Покращення енергетичної безпеки включає різноманітність джерел енергії: водень можна виробляти з різних джерел, включаючи воду, біомасу, природний газ та відновлювані джерела енергії, що дозволяє диверсифікувати енергетичні ресурси та знижує ризики, пов'язані з обмеженістю або виснаженням окремих видів палива. Крім того, водень може бути використаний як засіб зберігання енергії, що дозволяє згладжувати коливання виробництва енергії з відновлюваних джерел, таких як сонячні та вітрові електростанції, підвищуючи таким чином стабільність та надійність енергетичних систем.

Підвищення якості життя безпосередньо пов'язане з впровадженням водневих технологій у транспортній галузі, що має низку суттєвих переваг. Однією з головних переваг є зменшення забруднення повітря. Використання водневих ДВЗ значно знижує викиди шкідливих речовин, таких як оксиди азоту, сірки та тверді частинки, які є основними забруднювачами в міських умовах. Це сприяє покращенню якості повітря, особливо у густонаселених містах, де проблема забруднення повітря є найбільш

гострою. Покращення якості повітря позитивно впливає на здоров'я населення, знижуючи ризик захворювань дихальної та серцево-судинної систем, а також зменшує витрати на медичне обслуговування, які часто пов'язані з лікуванням захворювань, викликаних забрудненням повітря.

Крім зменшення забруднення повітря, водневі технології сприяють стійкому розвитку громад. Впровадження цих технологій створює можливості для побудови більш екологічно чистих та енергоефективних громад, що включає розвиток транспорту, житлової інфраструктури та промисловості з меншим впливом на довкілля. Зокрема, розвиток водневого транспорту сприяє зменшенню залежності від викопного палива, що знижує викиди парникових газів і сприяє боротьбі зі зміною клімату.

Крім того, водневі технології можуть бути інтегровані в житлову інфраструктуру, забезпечуючи ефективно та екологічно чисте енергопостачання для будинків та комерційних споруд. Це включає використання водню для опалення, гарячого водопостачання та виробництва електроенергії, що зменшує навантаження на традиційні енергетичні системи і знижує викиди шкідливих речовин у атмосферу.

На промисловому рівні водневі технології можуть сприяти розвитку нових галузей та створенню робочих місць у сферах, пов'язаних з виробництвом, зберіганням та розподілом водню. Це стимулює економічний розвиток та сприяє створенню стійких робочих місць з високим рівнем екологічної відповідальності. Таким чином, впровадження водневих технологій сприяє формуванню економіки, орієнтованої на екологічну стійкість та високу якість життя для всіх громадян.

Інфраструктурні виклики та рішення

Впровадження водневих двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) у транспортному секторі стикається з низкою інфраструктурних викликів. Ці виклики пов'язані з виробництвом, зберіганням, транспортуванням та розподілом водню. У цьому розділі розглянемо основні інфраструктурні проблеми та можливі рішення для їх подолання.

Виробництво водню

Виклики:

1. Висока вартість виробництва: виробництво водню, особливо зеленого водню з відновлюваних джерел енергії, є дорогим процесом, що робить водень менш конкурентоспроможним у порівнянні з традиційними викопними видами палива.

2. Обмежені виробничі потужності: наразі існуючі потужності для виробництва водню недостатні для задоволення майбутнього попиту з боку транспортного сектору.

Рішення:

1. Інвестиції у нові технології: розвиток та вдосконалення технологій електролізу води, включаючи більш ефективні та дешевші електролізери, можуть знизити вартість виробництва водню.

2. Розширення виробничих потужностей: інвестиції у будівництво нових заводів з виробництва водню, особливо з використанням відновлюваних джерел енергії, допоможуть задовольнити зростаючий попит.

Зберігання водню

Виклики:

1. Низька щільність енергії: водень має низьку щільність енергії за нормальних умов, що ускладнює його зберігання у великих обсягах.

2. Потреба в високому тиску або криогенних умовах: для зберігання водню у великих об'ємах необхідно використовувати високий тиск або криогенні температури, що потребує спеціального обладнання та інфраструктури.

Рішення:

1. Високотисковані резервуари: використання високотискованих резервуарів дозволяє зберігати водень у стисненому стані, що зменшує обсяг, необхідний для зберігання.

2. Зріджений водень: зберігання водню у зрідженому стані при криогенних температурах дозволяє значно зменшити об'єм, необхідний для зберігання, хоча це потребує складнішої інфраструктури та високих енергетичних витрат.

Транспортування водню

Виклики:

1. Потреба у спеціалізованих транспортних засобах: транспортування водню вимагає використання спеціалізованих транспортних засобів, здатних забезпечити безпечно перевезення під високим тиском або у зрідженому стані.

2. Відсутність розвиненої мережі: існуюча інфраструктура для транспортування водню є недостатньою для масового впровадження водневих технологій.

Рішення:

1. Розвиток водневих трубопроводів: будівництво спеціалізованих трубопроводів для транспортування водню може забезпечити ефективне та безпечно переміщення водню на великі відстані.

2. Використання існуючих газопроводів: адаптація існуючих природногазових трубопроводів для транспортування водню або воднево-газових сумішей може зменшити витрати на розбудову нової інфраструктури.

Розподіл та заправка

Виклики:

1. Нестача заправних станцій: існуюча мережа водневих заправних станцій є обмеженою, що ускладнює широке впровадження водневих ДВЗ у транспортному секторі.

2. Висока вартість розбудови заправної інфраструктури: створення нових заправних станцій для водню потребує значних фінансових інвестицій.

Рішення:

1. Державні стимули та субсидії: уряди можуть надавати фінансові стимули та субсидії для підтримки будівництва водневих заправних станцій, що сприятиме швидшому розвитку інфраструктури.

2. Партнерство з приватним сектором: співпраця між державними установами та приватними компаніями може прискорити процес розбудови інфраструктури та знизити фінансовий тиск на окремих інвесторів.

Кейс-стадії успішного впровадження водневих технологій у транспорті

Впровадження водневих технологій у транспортному секторі вже демонструє успіх у кількох країнах та регіонах. У цьому розділі розглянемо кілька кейс-стадій, що ілюструють успішні приклади використання водневих двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) та водневих паливних елементів у різних транспортних засобах.

1. Японія: Водневі автобуси у Токіо

Контекст:

Японія є лідером у розвитку водневих технологій. Уряд Японії активно підтримує впровадження водневих транспортних засобів як частину своєї стратегії зниження викидів CO₂ та підвищення енергетичної безпеки.

Проект:

У Токіо був запущений проект водневих автобусів, що використовують водневі паливні елементи. Цей проект був реалізований в рамках підготовки до Олімпійських ігор 2020 року.

Результати:

- Екологічні переваги: Водневі автобуси не виробляють CO₂ та інших шкідливих викидів, що значно покращує якість повітря у місті.

- Технологічні досягнення: Проект сприяв розвитку нових технологій у виробництві та використанні водню.

- Соціальний вплив: Підвищення обізнаності громадськості про переваги водневих технологій та їхній потенціал для зниження викидів.

2. Німеччина: Водневі поїзди Alstom

Контекст:

Німеччина активно інвестує у розвиток водневих технологій як частину своєї стратегії з переходу на відновлювані джерела енергії та зменшення викидів у транспортному секторі.

Проект:

Компанія Alstom розробила водневі поїзди Coradia iLint, які працюють на водневих паливних елементах. Ці поїзди були введені в експлуатацію на декількох регіональних маршрутах у Нижній Саксонії.

Результати:

- зниження викидів: водневі поїзди замінили дизельні, що суттєво знизило викиди парникових газів та інших забруднювачів.

- економічні вигоди: використання водню, виробленого з відновлюваних джерел енергії, сприяє зниженню залежності від викопного палива.

- інновації: проект стимулював подальші дослідження та розробки у сфері водневих технологій для транспорту.

3. Південна Корея: Водневі таксі у Сеулі

Контекст:

Південна Корея поставила амбітні цілі щодо зниження викидів та розвитку водневих технологій. В рамках національної водневої стратегії активно впроваджуються водневі транспортні засоби.

Проект:

У Сеулі було запущено проект водневих таксі, що використовують водневі паливні елементи. Цей проект реалізується у співпраці між урядом, місцевими органами влади та приватними компаніями.

Результати:

- поліпшення якості повітря: водневі таксі допомагають знизити рівень забруднення повітря у мегаполісі.

- підвищення обізнаності: проект сприяє підвищенню обізнаності населення про водневі технології та їхні переваги.

- розвиток інфраструктури: проект включає будівництво водневих заправних станцій, що сприяє розвитку водневої інфраструктури.

4. Каліфорнія, США: Водневі легкові автомобілі

Контекст:

Каліфорнія є лідером у впровадженні екологічних технологій у США. Уряд штату активно підтримує розвиток водневих транспортних засобів через законодавчі ініціативи та фінансові стимули.

Проект:

У Каліфорнії активно розвивається мережа водневих заправних станцій для підтримки експлуатації водневих легкових автомобілів, таких як Toyota Mirai та Hyundai Nexo.

Результати:

- екологічний вплив: водневі автомобілі допомагають знизити викиди парникових газів та покращити якість повітря.

- стимулювання ринку: фінансові стимули та субсидії для покупців водневих автомобілів сприяють зростанню їхньої популярності.

- розвиток інфраструктури: активне будівництво водневих заправних станцій забезпечує зручний доступ до водню для автовласників.

Висновки. Використання водню в ДВЗ є перспективним напрямком у розвитку транспортних технологій, що сприяє зниженню екологічного навантаження та підвищенню енергетичної ефективності. Основні технічні рішення, такі як пряме впорскування водню, контрольоване запалювання, зниження температури згоряння, використання легких матеріалів та антикорозійних покриттів, а також удосконалення систем управління двигуном, відкривають шлях до створення потужних та надійних водневих ДВЗ.

Екологічні переваги водневих ДВЗ включають відсутність викидів CO₂, зниження викидів NO_x за допомогою EGR та каталітичних нейтралізаторів, а також зменшення викидів інших забруднювачів. Це сприяє покращенню якості повітря та здоров'я населення, особливо у міських районах. Крім того, виробництво водню з відновлюваних джерел енергії може забезпечити замкнений цикл використання ресурсів, що є ключовим для сталого розвитку.

Технічні інновації, такі як турбонаддув, суперчарджинг, інтеграція з гібридними системами та рекуперация енергії, відкривають нові можливості для підвищення продуктивності та ефективності водневих ДВЗ. Ці рішення дозволяють водневим ДВЗ конкурувати з традиційними двигунами, пропонуючи екологічно чисту альтернативу без компромісів у потужності та ефективності.

Водневі технології у транспортних ДВЗ мають потенціал стати важливою частиною екологічно сталого майбутнього. Інтеграція передових технічних рішень та екологічних ініціатив може сприяти розвитку транспорту, який буде не лише ефективним, але й відповідальним до навколишнього середовища.

Список літератури

1. Gomes Antunes J.M, Mikalsen R., Roskilly A.P. An experimental study of a direct injection compression ignition hydrogen engine. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2009. Vol. 34, Issue 15, P. 6516-6522.
2. Szwaja S, Grab-Rogalinski K. Hydrogen combustion in a compression ignition diesel engine. *Int. J. Hydrogen Energy*. 2009. Volume 34, Issue 10. Pages 4413-4421 doi: 10.1016/2009.03.020.
3. Shalapko, D. An experimental study of the wave effect in fuel equipment using hydrogen additives to diesel fuel. *Technology audit and production reserves*. 2018. № 6/1 (44). С. 36–40.
4. Шалапко, Д.О. Дослідження ефектів хвильових коливань в паливній апаратурі дизельного двигуна із застосуванням водневих добавок *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. 2021. № 3 (486). С. 40-47.
5. Jayarabakar, J., Arunkumar, T., Rangasamy, G., Parthipan, J., Anish, M., Varshini, G., & Kumar, B. K. (2024). Prospectus of hydrogen enrichment in internal combustion engines: Methodological insights on its production, injection, properties, performance and emissions. *Fuel*, 363, Article 131034. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131034>
6. Zhuang, S., Wu, P., Li, W., Xuan, T., He, Z., Wang, Q., Xu, Q., & Zhang, L. (2024). An experimental study on in-cylinder soot formation and flame oscillation of renewable fuel blends in an optical engine. *Fuel*, 369, Article 131801. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131801>
7. Шалапко, Д.О. Непрямі методи дослідження ефекту використання малих домішок водню до основного палива. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2018. № 6 (150). С. 44–51.
8. Shalapko D. 'Optical-graphic studies of hydrogen additives' effects on diesel fuel atomization parameters', *Transport Problems*. 2023. No 18(4), pp. 135–146. doi:10.20858/tp.2023.18.4.11.

9. Shalapko D. et al. Advanced fuel system with gaseous hydrogen additives. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. 2024. No 72(2), pp. 148837–148837. doi:10.24425/bpasts.2024.148837.
10. Shalapko D.O. ‘Investigation of the influence of the use of small hydrogen impurities to the main fuel on injection spraying. *Collection of Scientific Publications NUS*. 2021. No4. pp. 14–19. doi:10.15589/znp2021.4(487).3.

References

1. Gomes Antunes, J. M., Mikalsen, R. & Roskilly, A. P. (2009). An experimental study of a direct injection compression ignition hydrogen engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(15), 6516-6522.
2. Szwaja, S., & Grab-Rogalinski, K. (2009). Hydrogen combustion in a compression ignition diesel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(10), 4421-4428. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.03.020>
3. Shalapko, D. (2018). An experimental study of the wave effect in fuel equipment using hydrogen additives to diesel fuel. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(1), 36–40.
4. Shalapko, D. O. (2021). Doslidzhennia efektyv khvyly'ovyykh kolyvan' v palyvnyy apparatury dyzel'noho dvyhuna iz zastosuvanniam vodnevyykh dobavok [Investigation of wave oscillation effects in the fuel equipment of a diesel engine using hydrogen additives]. *Zbirnyk naukovyykh prats' Natsional'noho universytetu korablebuduvannia imeni admiral'a Makarova - Collection of Scientific Works of the National University of Shipbuilding Named after Admiral Makarov*, 3(486), 40-47 [in Ukrainian].
5. Jayaprabakar, J., Arunkumar, T., Rangasamy, G., Parthipan, J., Anish, M., Varshini, G., & Kumar, B. K. (2024). Prospectus of hydrogen enrichment in internal combustion engines: Methodological insights on its production, injection, properties, performance and emissions. *Fuel*, 363, Article 131034. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131034>
6. Zhuang, S., Wu, P., Li, W., Xuan, T., He, Z., Wang, Q., Xu, Q., & Zhang, L. (2024). An experimental study on in-cylinder soot formation and flame oscillation of renewable fuel blends in an optical engine. *Fuel*, 369, Article 131801. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131801>
7. Shalapko, D. O. (2018). Nepriami metody doslidzhennia efektu vykorystannia malykh domishok vodniu do osnovnoho palyva [Indirect methods for investigating the effect of using small hydrogen admixtures to the base fuel]. *Avyatsyonno-kosmycheskaia tekhnika y tekhnolohiya - Aviation and Space Technology and Technology*, 6(150), 44–51 [in Ukrainian].
8. Shalapko, D. (2023). Optical-graphic studies of hydrogen additives' effects on diesel fuel atomization parameters. *Transport Problems*, 18(4), 135–146. <https://doi.org/10.20858/tp.2023.18.4.11>
9. Shalapko, D., et al. (2024). Advanced fuel system with gaseous hydrogen additives. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 72(2), Article 148837. <https://doi.org/10.24425/bpasts.2024.148837>
10. Shalapko, D. O. (2021). Investigation of the influence of the use of small hydrogen impurities to the main fuel on injection spraying. *Collection of Scientific Publications NUS*, (4), 14–19. [https://doi.org/10.15589/znp2021.4\(487\).3](https://doi.org/10.15589/znp2021.4(487).3)

Olexandr Kukhareno, student, **Denys Shalapko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

Lyudmila Tarandushka, Prof., DSc.

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

Hydrogen internal combustion engines in transport: enhancing efficiency and overcoming infrastructure challenges

This article delves into the promising realm of hydrogen technologies in the transportation sector, highlighting their potential to significantly reduce harmful emissions and promote sustainable development. The discussion begins with a comprehensive review of current hydrogen internal combustion engine (ICE) technologies, examining the advancements that have been made and the technical solutions available to enhance the efficiency of these engines. It underscores the environmental benefits of hydrogen ICEs, such as the reduction of greenhouse gases and pollutants, and explores the economic advantages, including decreased dependency on fossil fuels and the creation of new job opportunities.

Furthermore, the article discusses the social benefits of adopting hydrogen technologies, such as improved public health and the potential for innovation-driven economic growth. It also addresses the significant infrastructural challenges associated with the production, storage, transportation, and distribution of hydrogen.

Potential solutions to these challenges are proposed, including investments in new technologies, expansion of production capacities, and the development of specialized infrastructure.

The article provides detailed case studies of successful hydrogen technology implementations in various countries. In Japan, hydrogen-powered buses in Tokyo demonstrate the environmental and technological advancements achieved. Germany's hydrogen trains by Alstom illustrate the transition from diesel to hydrogen in public transportation, showcasing economic and ecological benefits. South Korea's hydrogen taxis in Seoul highlight the social impact and infrastructural development necessary for widespread adoption. Lastly, California's extensive network of hydrogen fueling stations supports the growing number of hydrogen cars, reflecting a successful model of public-private partnership and government incentives.

Through these case studies, the article emphasizes the transformative potential of hydrogen technologies in creating a sustainable and clean future for transportation. It calls for continued investments in technology, infrastructure, and collaboration between governments and the private sector to overcome existing challenges and fully realize the benefits of hydrogen as a key energy source in the transportation sector.

hydrogen technologies, transportation sector, hydrogen internal combustion engines, fuel cells, engine efficiency

Одержано (Received) 15.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 13.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 519.86:656

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.174-181](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.174-181)

К.М. Березька, доц., канд. техн. наук, **О.С. Шевчук**, доц., канд. техн. наук, **Н.М. Фалович**, доц., канд. екон. наук

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

e-mail: k.berezka@wuni.edu.ua, oksana_shevchuk84@ukr.net, n.falovych@gmail.com

Ю. Р. Бубняк, асп.

Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка, Тернопіль, Україна, e-mail: Yra6511@gmail.com

Аналіз проблем і математичних методів для їх вирішення в транспортній логістиці

У статті розглядається важливість транспорту для економічного розвитку країни в глобалізованому світі. Транспорт є основою ланцюгів постачання, забезпечуючи ефективне переміщення товарів, матеріалів та людей, що сприяє глобальній торгівлі, економічному зростанню, культурному обміну та соціальній інтеграції. Ефективність транспортних технологій є ключовим фактором успішної логістики, де важливу роль відіграють математичні методи. Метою статті є аналіз сучасних проблем у транспортній логістиці та застосування математичних методів для їх вирішення. Розглядаються такі проблеми: оптимізація маршрутів, моделювання ланцюга постачання, прогнозування попиту, впровадження інновацій у транспортні технології, ефективне складування та інвентаризація. Застосування методів лінійного та динамічного програмування, симуляційного моделювання, евристичних методів, генетичних алгоритмів та методів машинного навчання є ключовими для підвищення продуктивності та оптимізації логістичних процесів.

математичні методи, транспортна логістика, транспортні технології, прогнозування попиту, ланцюг постачання, оптимізація маршрутів, інновації в транспортних технологіях

Постановка проблеми. В глобальному світі транспорт є невід'ємною частиною економічного розвитку країни [1]. Транспорт є основою для функціонування ланцюжків

постачання, що дозволяє ефективно переміщувати товари та матеріали по всьому світу, підтримуючи глобальну торгівлю та економічний розвиток. Транспорт забезпечує мобільність людей, що сприяє культурному обміну та взаєморозумінню. Ефективний транспорт дозволяє підприємствам легко переміщувати сировину та готові продукти, сприяючи розвитку промисловості та виробництва; забезпечує доступ до освіти, медичних послуг та інших суспільних ресурсів, сприяючи соціальній інтеграції та зменшенню соціальних відмінностей. Тому, ефективність та оптимізація транспортних технологій стає ключовим фактором для досягнення успіху в логістиці. У цьому контексті, використання математичних методів стає важливим інструментом для досягнення оптимальності та ефективності у всьому логістичному ланцюгу. Це не означає, що в сфері управління логістикою треба використовувати математичні методи як строгий шаблон, і чітко йти визначеними кроками, але підходити до цього процесу творчо.

Метою статті є аналіз проблем в транспортній логістиці та використання математичних методів для їх вирішення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасні реалії транспортної логістики спричинили такі проблеми [2]:

- 1) оптимізація маршрутів [3-8];
- 2) моделювання ланцюга постачання [9];
- 3) прогнозування попиту [10, 11];
- 4) впровадження інновацій в транспортних технологіях [12];
- 5) ефективне складування та інвентаризація [13].

Розглянемо кожну із проблем детальніше.

1) Оптимізація маршрутів у транспортній логістиці є ключовим елементом для забезпечення ефективності та економії ресурсів у процесі перевезень. Ця проблема полягає в виборі найефективніших шляхів для перевезення вантажів, що дозволяє мінімізувати витрати часу та пального, знизити витрати на транспортні послуги та покращити якість обслуговування клієнтів.

2) Моделювання ланцюга постачання – це комплексний підхід до оптимізації всіх етапів виробництва та постачання товарів чи послуг, що включає в себе різноманітні аспекти, від стратегічного планування до ефективного контролю та аналізу. Моделювання включає такі кроки:

- стратегічне проектування ланцюга постачання;

На цьому етапі визначається оптимальна структура ланцюга постачання, включаючи виробників, постачальників і дистриб'юторів та вибираються стратегічні партнери для забезпечення стабільності та конкурентоспроможності.

- оптимізація виробництва;

Цей етап полягає у визначенні оптимальних процесів виробництва та їхній автоматизації для зниження витрат і збільшення продуктивності, а також в оптимізації рівнів запасів для уникнення надмірного або недостатнього утримання товарів.

- ефективне планування постачань та дистрибуції;

На цьому етапі необхідно:

- точно планувати обсяги та строки постачань;

- адаптуватися до змін в реальному часі для оптимізації постачань та реакції на ринкові зміни.

- управління відносинами з постачальниками та замовниками;

Управління відносинами з постачальниками та замовниками полягає у розвитку ефективних взаємин для забезпечення найвигідніших умов постачання та у забезпеченні високого рівня обслуговування для задоволення потреб клієнтів.

- впровадження інновацій та цифрових технологій.

Для покращення прозорості та ефективності ланцюга постачання актуальним є використання інноваційних технологій, таких як інтернет речей (IoT) та блокчейн, а також аналіз даних [2, 14].

3) Прогнозування попиту є важливою стратегічною складовою логістики та управління ланцюгом постачання. Воно дозволяє підприємствам ефективно планувати виробництво, постачання та розподіл товарів.

Прогнозування включає в себе:

- збір та аналіз історичних даних про продажі (обсяги продажів в певні періоди, сезонність, тенденції та вплив зовнішніх факторів);
- визначення факторів, що впливають на попит. Ідентифікація зовнішніх чинників, таких як економічні зміни, зміни у смаках споживачів, маркетингові кампанії, що можуть впливати на попит;
- вибір методів прогнозування (кількісні (кількісні моделі, часові ряди) та якісні (експертні оцінки, фокус-групи) для точного прогнозування;
- оцінка невизначеності та ризиків. Врахування можливих сценаріїв та оцінка ризиків, пов'язаних з економічними чи іншими невизначеностями;
- інтеграція технологій. Використання сучасних аналітичних інструментів та технологій, таких як машинне навчання, для покращення точності прогнозів;
- постійне оновлення та корекція. Процес прогнозування повинен бути гнучким, постійно оновлюватися і коректуватися на основі актуальних даних та змін у середовищі.

4) Інновації в транспортних технологіях приводять до фундаментальних змін у сфері перевезень та логістики. Ключовими аспектами цього напрямку розвитку є:

- електричні транспортні засоби [15]. Швидкий розвиток технологій батарей дозволяє створювати ефективні та довгострокові електромобілі, зменшуючи залежність від традиційного пального;
- автономні транспортні засоби [16]. Впровадження технологій штучного інтелекту та сенсорів дозволяє створювати автономні автівки, що можуть самостійно переміщатися без участі водія;
- гіперзвукові пасажирські літаки [17]. Розробка гіперзвукових транспортних засобів, які можуть летіти з великою швидкістю, значно скорочуючи час подорожей;
- високошвидкісний залізничний транспорт [18]. Він забезпечить високу швидкість та ефективність перевезень на залізниці;
- автономні дрони [19]. Використання дронів дозволить швидко та точну доставку товарів, зокрема в важкодоступні або віддалені місця;
- спрощене відстеження [14, 20]. Впровадження IoT для відстеження руху товарів, контролю умов транспортування та оптимізації маршрутів;
- використання альтернативних палив [21]. Розвиток електричних, водневих та сонячних транспортних засобів дасть зменшення викидів;
- блокчейн у логістиці [14, 22]. Використання технології блокчейн забезпечує безпеку та відкритість у логістичних операціях.

5) Наступною проблемою в транспортній логістиці є ефективне складування та інвентаризація [2]. Ефективне складування та інвентаризація визначають конкурентоспроможність підприємств. Розглянемо ключові аспекти оптимізації цих процесів:

- Автоматизовані системи управління складом (WMS).

Застосування систем WMS дозволяє вести облік товарів у реальному часі, зменшуючи помилки та спрощуючи інвентаризацію.

- Технології штучного інтелекту (ШІ).

Алгоритми ШІ точно прогнозують попит, що допомагає управляти запасами та зменшує ризик перепродажу або нестачі товарів.

- RFID Технології.

Впровадження RFID міток дозволяє швидко ідентифікувати та відстежувати товари, полегшуючи процеси приймання та видачі.

- Оптимізація простору складу.

Використання сучасних технологій приводить до оптимізації розташування товарів на складі, максимізуючи використання простору та зменшуючи час пошуку.

- Ефективна комплектація замовлень.

Найпоширеніші системи Pick-to-Light та Pick-to-Voice надають операторам точні інструкції для збору товарів, зменшуючи помилки та підвищуючи швидкість обслуговування замовлень.

- Контроль термінів придатності.

Здійснюється завдяки застосуванню моніторингових систем, які відслідковують терміни придатності товарів та надають автоматичні повідомлення для вчасного списання або зниження цін.

- Інтеграція з постачальниками та клієнтами.

Впроваджуються електронні системи замовлення для автоматизації взаємодії з постачальниками та клієнтами, що спрощує управління запасами.

- Аналіз великих обсягів даних в інвентаризації.

Використання аналізу великих обсягів даних дозволяє виявлення тенденцій, оптимізацію стратегій запасів та прогнозування попиту.

- Енергоефективність складських приміщень.

Використання енергоефективних систем опалення, вентиляції та кондиціонування приводить до зменшення витрат та впливу на навколишнє середовище.

- Інноваційні засоби перевезення в складі.

Застосування автономних робочих модулів для пересування товарів на складі зменшує залежність від ручної праці.

Ефективне складування та інвентаризація не лише підвищують ефективність ланцюга постачання, але й сприяють зниженню витрат, уникненню помилок та створенню гнучких та конкурентоспроможних бізнес-процесів.

Для подолання сучасних проблем у транспортній логістиці широко використовуються математичні методи, які допомагають ефективно підвищувати загальну продуктивність системи.

Розглянемо кожен із проаналізованих проблем і приведемо математичні методи, які можна використати для їх розв'язання.

Математичні методи оптимізації маршрутів включають алгоритми лінійного програмування, динамічне програмування, евристичні методи, генетичні алгоритми та моделі теорії графів [6, 23, 24].

Моделювання ланцюга постачання здійснюють системи лінійного програмування, симуляційне моделювання, методи стохастичного програмування та динамічне програмування, які дозволяють аналізувати та оптимізувати всі етапи постачання від виробництва до кінцевого споживача [23, 24].

Математичні методи прогнозування попиту включають часові ряди, регресійний аналіз, методи машинного навчання, такі як нейронні мережі та дерева рішень, оцінку ризиків, а також байєсівські моделі, які дозволяють точно передбачати майбутні потреби споживачів на основі історичних даних і поточних тенденцій [23-25].

Математичні методи у впровадженні інновацій в транспортних технологіях включають оптимізацію алгоритмів для автономних транспортних засобів, аналіз

великих даних для покращення транспортних мереж, моделювання та симуляцію для тестування нових технологій, а також методи математичної статистики для оцінки ефективності впроваджених інновацій [23-25].

Математичні методи у ефективному складуванні та інвентаризації включають алгоритми оптимізації для розподілу складських приміщень, моделі прогнозування попиту для точного планування запасів, методи лінійного та динамічного програмування для управління запасами, а також симуляційні моделі для аналізу та покращення складських операцій [23-25].

Рис. 1 узагальнює проблеми транспортної логістики та математичні методи, що допомагають їх розв'язуванню.

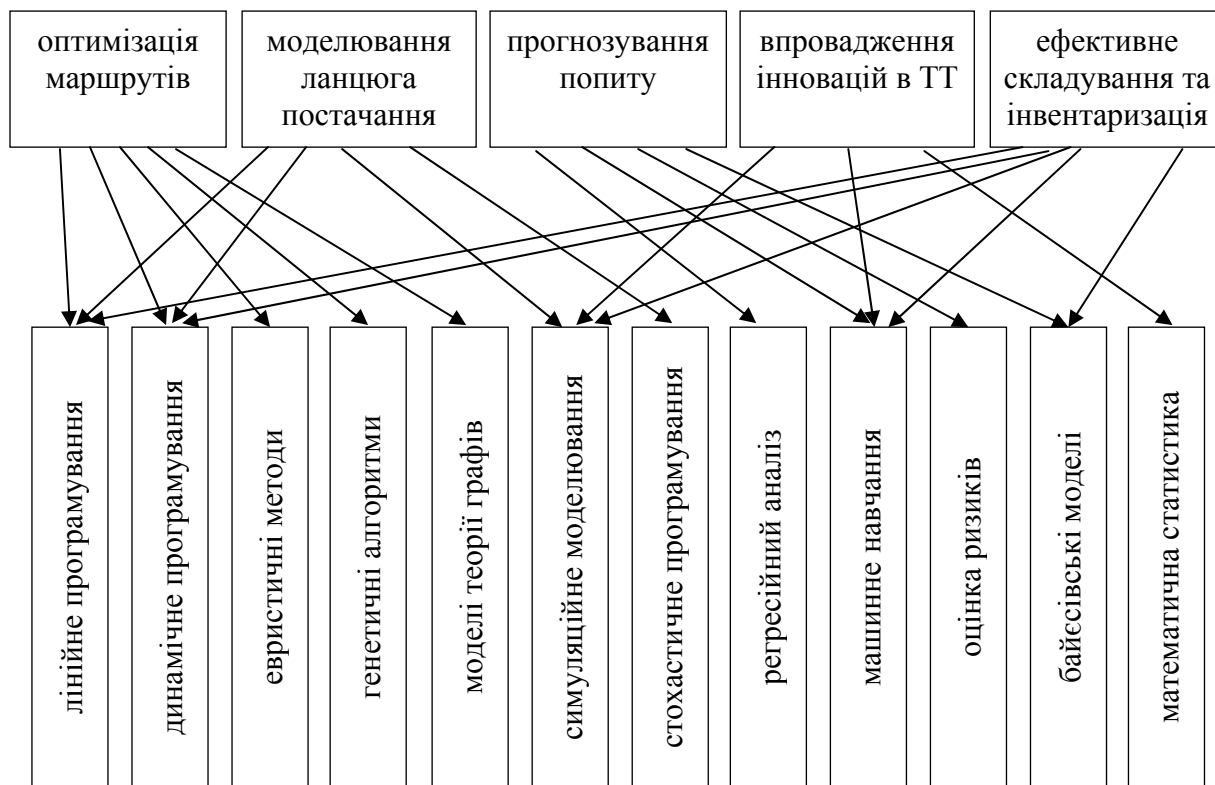


Рисунок 1 - Сучасні проблеми транспортної логістики та математичні методи, що допомагають їх розв'язуванню

Джерело: розроблено авторами

Як видно з рис. 1 найбільш затребуваними методами є лінійне програмування, яке відноситься до категорії статичних методів оптимізації, динамічне програмування, а також симуляційне моделювання та методи машинного навчання.

Висновки. У роботі проаналізовано проблеми транспортної логістики та її взаємозв'язок із математичними методами, що їх розв'язують. Виділено методи, які найчастіше використовуються у транспортній логістиці: лінійне і динамічне програмування, симуляційне моделювання, методи машинного навчання. З аналізу проблем транспортної логістики, видно, що сучасні технології, такі як ШІ, інтернет речей, блокчейн та аналіз великих даних, стають ключовими елементами оптимізації логістичних вирішень. Впровадження інновацій у транспортно-логістичних системах є необхідним для вирішення проблем та забезпечення конкурентоспроможності. Зміни у світі економіки, технологій та споживчих уподобань визначають необхідність постійних змін та інновацій в транспортній логістиці.

Список літератури

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року: веб-сайт. URL: https://publications.chamber.ua/2017/Infrastructure/UDD/National_Transport_Strategy_2030.pdf (дата звернення 05.06.2024).
2. Транспорт та логістика: сучасні виклики та перспективи розвитку (Transport & Logistics: Current Challenges and Prospects): матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Одеса, 18 листопада 2021 р. / [під наук ред. Ільченко С. В.]; НАНУ, МОНУ та ін. – Одеса: ДУ ІРЕЕД НАН України, 2021. 166 с.
3. Оптимізація мережі транспорту загального користування на прикладі м. Черкаси / Біліченко В.В. та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2021. №1(13). С. 13-22 DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2021-13-1-13-22>
4. Порівняння методів розв'язання задачі оптимального завантаження транспортного засобу / Андрейцев А.Ю. та ін. *Водний транспорт*. 2020. Вип. 2(30). С. 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.2.30.07
5. Концептуальні основи модернізації транспортної інфраструктури середніх міст в Україні / Шевчук О.С. та ін. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2024. № 1 (22). С. 369-377. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1380>
6. Визначення рівня завантаження зупинок громадського транспорту на основі кластерного аналізу / Шевчук О.С. та ін. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2024. № 1(22). С. 357-367. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1379>.
7. Дослідження стану транспортної інфраструктури міста Тернополя / Попович П.В. та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. 7(38), Ч. II. 2023. С. 243-249. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.243-249](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.243-249)
8. Дослідження безпеки дорожнього руху у м. Тернополі / Попович П.В. та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. 7(38), Ч. II. 2023. С. 250-256. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.250-256](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.250-256)
9. Куруджи Ю. В., Ромах В. Л. Моделювання ланцюгів поставок портовим оператором в умовах мультимодальності. *Вісник ХНТУ*. 2022. № 3(82). С.103-111 <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.3.14>
10. Біліченко В. В., Котенко В. І. Підходи до моделювання попиту на вантажні перевезення у зерновій логістиці. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2019. №2(10). С. 4-9. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-10-2-4-9>
11. Методи прогнозування вантажних перевезень в логістиці / Шапенко Є. М. та ін. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2023. Vol. 2, No. 4. Pp. 79-86. doi: 10.46299/j.isjea.20230204.09
12. Кушнір Л. В., Яковлева О. Б. Основні тенденції розвитку інноваційних технологій у транспортно-логістичній сфері. *Економіка та суспільство*. 2022. Вип. 42. С. 42-73. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-42-73>
13. Марченко В.М., Шутюк В.В. Логістика: підручник. К.: Видавничий дім «Артек», 2018. 312 с.
14. П'ять ключових технологій для цифрової трансформації в логістиці: веб-сайт. URL: <https://www.everest.ua/pyat-klyuchovyh-tehnologij-dlyaczufrovoyi-transformacziyi-v-logistyczi/> (дата звернення 04.06.2024).
15. Електротранспорт: веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Електротранспорт> (дата звернення 04.06.2024).
16. Автомобільна автоматизація: веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Автомобільна_автоматизація (датазвернення 05.06.2024).
17. У США презентували гіперзвуковий літак, здатний перетнути Тихий океан за годину: веб-сайт. URL: https://cfts.org.ua/news/2022/06/14/u_ssha_prezentovali_giperzvukoviy_litak_zdatniy_peretnuli_tikhiiy_okean_za_godinu_70609 (датазвернення 06.06.2024).
18. Швидкісна залізниця: веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Швидкісна_залізниця (дата звернення 06.06.2024).
19. Використання дронів під час воєнного часу: поради для цивільних: веб-сайт. URL: <https://cedem.org.ua/consultations/vykorystannya-droniv/> (датазвернення 07.06.2024).
20. Використання технологій Інтернету речей (IoT) для оптимізації логістичних процесів: веб-сайт. URL: <https://cargofy.ua/uk/blog/vikoristannya-tehnologii-internetu-rechei-iot-dlya-optimizaciji-logistichnih-procesiv> (дата звернення 08.06.2024).
21. Альтернативні палива для транспорту: веб-сайт. URL: <https://dieret.rea.org.ua/uk/alternative-fuel.html> (дата звернення 08.06.2024).

22. Технологія блокчейн в логістиці: веб-сайт. URL: <https://dolphincargo.com.ua/ua/tehnologiya-blokchejn-v-logistici/> (дата звернення 08.06.2024).
23. Hamdy A. Taha. Operations Research: An Introduction, 10th Edition, Boston: Pearson, 2017, 848 pages.
24. Економіко-математичне моделювання: навч. посіб. / за ред. О. Т. Івашука. Тернопіль: ТНЕУ «Економічна думка», 2008. 704 с.
25. Машинне навчання: навч. посіб. / Басюк Т.М. та ін. Львів: Видавництво «Новий Світ – 2000», 2024. 330 с.

References

1. Natsional'na transportna stratehiia Ukrainy na period do 2030 roku [National transport strategy of Ukraine for the period until 2030: website]. Retrieved from: https://publications.chamber.ua/2017/Infrastructure/UDD/National_Transport_Strategy_2030.pdf (Last accessed: 05.06.2024) [in Ukrainian].
2. Transport ta lohistyka: suchasni vyklyky ta perspektyvy rozvytku [Transport & Logistics: Current Challenges and Prospects]: materialy Vseukrains'koi naukovo-praktychnoi konferentsii, m. Odesa, 18 lystopada 2021 r. / [pid nauk red. Il'chenko S. V]; NANU, MONU ta in. Odesa: DU IREED NAN Ukrainy, 2021. 166 p. [in Ukrainian].
3. Bilichenko, V.V. et al. (2021). Optymizatsiia merezhi transportu zahal'noho korystuvannia na prykladi m. Cherkasy [Optimization of the transport network by the case of Cherkasy city]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu - Journal of Mechanical Engineering and Transport*, 13(1), 13–22 [in Ukrainian].
4. Andrejtsev, A.Yu. et al. (2020). Porivniannia metodiv rozv'iazannia zadachi optymal'noho zavantazhennia transportnoho zasobu [Comparison of methods of solving the problem of optimal loading of a vehicle]. *Vodnyj transport - Water transport*, 2(30), 59–70 [in Ukrainian].
5. Shevchuk, O.S. et al. (2024). Kontseptual'ni osnovy modernyzatsii transportnoi infrastruktury serednikh mist v Ukraini [Conceptual basis of modernization of transport infrastructure of medium cities in Ukraine]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti - Advances in mechanical engineering and transport*, 1(22), 369-377 [in Ukrainian].
6. Shevchuk, O.S. et al. (2024). Vyznachennia rivnia zavantazhennia zupynok hromads'koho transportu na osnovi klasternoho analizu [Determining the level of loading of public transport stops based on cluster analysis]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti - Advances in mechanical engineering and transport*, 1(22), 357-368 [in Ukrainian].
7. Popovych, P.V. et al. (2023). Doslidzhennia stanu transportnoi infrastruktury mista Ternopolia [Study of the State of Transport Infrastructure of the City of Ternopol]. *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 7(38), II, 274-283 [in Ukrainian].
8. Popovych, P.V. et al. (2023). Doslidzhennia bezpeky dorozhn'oho rukhu u m. Ternopoli [Road Traffic Safety Research in Ternopol]. *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 7(38), II, 250-256 [in Ukrainian].
9. Kurudzhy, Yu. V. & Romakh, V. L. (2022). Modeliuvannia lantsiuhiv postavok portovym operatorom v umovakh mul'tymodal'nosti [Modeling of supply chains by the port operator under the conditions of multimodality]. *Visnyk KhNTU - Bulletin of KhNTU*, 3(82), 103-111 [in Ukrainian].
10. Bilichenko, V.V. & Kotenko, V.I. (2019). Pidkhody do modeliuvannia popytu na vantazhni perevezennia u zernovij lohistytsi [Approaches to demand modeling for goods transportation in corn logistics]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu - Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*, 10(2), 4–9 [in Ukrainian].
11. Shapenko, Ye.M. et al. (2023). Metody prohnozuvannia vantazhnykh perevezen' v lohistytsi [Methods of forecasting freight transportation in logistics]. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 2(4), 79–86 [in Ukrainian].
12. Kushnir, L. & Yakovleva, O. (2022). Osnovni tendentsii rozvytku innovatsijnykh tekhnologij u transportno-lohistrychnij sferi [The main trends in the development of innovative technologies in the transport and logistics sector]. *Ekonomika ta suspil'stvo - Economy and Society*, (42), 42-73 [in Ukrainian].
13. Marchenko, V.M. & Shutiuk, V.V. (2018). *Lohistyka [Logistics]*. K.: Vydavnychij dim «Artek» [in Ukrainian].
14. P'iat' kliuchovykh tekhnologij dlia tsyfrovoi transformatsii v lohistytsi: veb-sajt [Five key technologies for digital transformation in logistics: website]. Retrieved from: <https://www.everest.ua/pyat-klyuchovyh-tehnologij-dlyacyfrovoyi-transformatsiyi-v-logistytsi/> (Last accessed: 04.06.2024) [in Ukrainian].
15. Elektrotransport: veb-sajt [Electric transport: website]. Retrieved from: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Електротранспорт> (Last accessed: 04.06.2024) [in Ukrainian].
16. Avtomobil'na avtomatyzatsiia: veb-sajt [Automotive automation: website]. Retrieved from: https://uk.wikipedia.org/wiki/Автомобільна_автоматизація (Last accessed: 05.06.2024) [in Ukrainian].

17. U SShA prezentovali hiperzvukoviy litak, zdatnyj peretnuty Tykhyj okean za hodynu: veb-sajt [A hypersonic plane capable of crossing the Pacific Ocean in an hour was presented in the USA: website]. Retrieved from: https://cfts.org.ua/news/2022/06/14/u_ssha_prezentovali_giperzvukoviy_litak_zdatnyj_peretnuli_tikhyj_okean_za_godinu_70609 (Last accessed: 06.06.2024) [in Ukrainian].
18. Shvydkisna zaliznytsia: veb-sajt [High-speed railway: website]. Retrieved from: https://uk.wikipedia.org/wiki/Швидкісна_залізниця (Last accessed: 06.06.2024) [in Ukrainian].
19. Vykorystannia droniv pid chas voiennoho chasu: porady dlia tsyvil'nykh: veb-sajt [Wartime Use of Drones: Advice for Civilians: website]. Retrieved from: <https://cedem.org.ua/consultations/vykorystannya-droniv/> (Last accessed: 07.06.2024) [in Ukrainian].
20. Vykorystannia tekhnolohij Internetu rechej (IoT) dlia optymizatsii lohistychnykh protsesiv: veb-sajt [Use of Internet of Things (IoT) technologies to optimize logistics processes: website]. Retrieved from: <https://cargofy.ua/uk/blog/vikorystannya-tehnologii-internetu-rechei-iot-dlya-optimizaciji-logistichnih-procesiv> (Last accessed: 08.06.2024) [in Ukrainian].
21. Al'ternatyvni palyva dlia transportu: veb-sajt [Alternative fuels for transport: website]. Retrieved from: <https://dieret.rea.org.ua/uk/alternative-fuel.html> (Last accessed: 08.06.2024) [in Ukrainian].
22. Tekhnolohiia blokchejn v lohistytsi: veb-sajt [Blockchain technology in logistics: website]. Retrieved from: <https://dolphincargo.com.ua/ua/tehnologiya-blokchejn-v-logistici/> (Last accessed: 08.06.2024) [in Ukrainian].
23. Taha, Hamdy A. (2017). Operations Research: An Introduction, 10th Edition, Boston: Pearson, 848.
24. Ivashchuk, O. T. (Eds.) (2008). *Ekonomiko-matematychni modeliuvannia [Economic and mathematical modeling]*. Ternopil': TNEU «Ekonomichna dumka» [in Ukrainian].
25. Basiuk, T.M. et al. (2024). *Mashynne navchannia [Machine learning]*. L'viv: Vydavnytstvo «Novyj Svit – 2000» [in Ukrainian].

Kateryna Berezka, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oksana Shevchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.,

Natalia Falovych, Assoc. Prof., Ph.D econ. sci.,

West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

Yuriy Bubnyak, post-graduate

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ternopil, Ukraine

Analysis of problems and mathematical methods for their solution in transport logistics

The article examines the importance of transportation for a country's economic development in a globalized world. Transportation is the foundation of supply chains, ensuring the efficient movement of goods, materials, and people, which contributes to global trade, economic growth, cultural exchange, and social integration. The efficiency of transportation technologies is a key factor in successful logistics, where mathematical methods play an important role. The aim of the article is to analyze contemporary issues in transportation logistics and the application of mathematical methods to solve them.

The paper addresses issues such as route optimization, supply chain modeling, demand forecasting, the implementation of innovations in transportation technologies, efficient warehousing, and inventory management. Route optimization is critically important for reducing transportation costs and increasing transportation efficiency, which directly impacts economic indicators. Supply chain modeling helps to understand and improve the interaction between different participants in the logistics process, contributing to the creation of more resilient and adaptive supply systems. Demand forecasting is necessary for resource planning and avoiding shortages or surpluses of goods. The implementation of innovations in transportation technologies, such as automation and the use of drones, opens new opportunities for enhancing the efficiency of logistics processes.

The application of linear and dynamic programming methods allows for finding optimal solutions under complex conditions of uncertainty. Simulation modeling helps study various scenarios and their impact on logistics processes. Heuristic methods and genetic algorithms are powerful tools for finding approximate solutions in cases where exact methods are inefficient. Machine learning methods enable the processing of large volumes of data and making predictions based on historical data, significantly improving the accuracy of managerial decisions.

The article's conclusions emphasize the need for a comprehensive approach to solving transportation logistics problems, which includes the integration of the latest mathematical methods and innovative technologies to achieve high efficiency and competitiveness in the modern conditions of globalization.

mathematical methods, transport logistics, transport technologies, demand forecasting, supply chain, route optimization, innovations in transport technologies

Одержано (Received) 17.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 16.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 665.7: 656.13: 331.101.1 DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.182-188](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.182-188)

Volodymyr Zahorianskyi, Assoc. Prof., DSc.

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

e-mail: zagor_vlad@ukr.net

Consumer and transport containers for road transportation of main types of petroleum cargoes, ergonomic requirements for handling and warehousing

The research conducted in the paper is devoted to solving the actual problem of development of methods for choosing the optimal assortment of consumer and transport containers for automobile transportation of the main types of petroleum products.

In the paper is proposed to expand the range of consumer and transport containers for automobile transportation of the main types of petroleum products due to the selection of such effective types as a tank container, a container of medium capacity for bulk cargo (IBC- container), flexitank, soft container type "big-bag".

Ergonomic requirements for handling the main types of oil products during their container transportation have some features that are also defined in the work.

petroleum cargoes, consumer container, transport container, road transportation, optimization, handling, warehousing, ergonomic requirements

Formulation of the problem. About two-thirds of the total consumption of the scarcest and most valuable light petroleum products obtained from oil refineries is accounted for by road transport, and gasoline carbureted and diesel internal combustion engines remain the most common power plants of cars [1]. Road transport is widely used in the transportation of petroleum products from distribution depots directly to the consumer. It is most effective in areas where it is impossible to deliver petroleum products by rail or waterways [2, 3]. The main purpose of motor vehicles is the delivery of finished oil products from large oil depots to smaller ones and further to the consumer. Petroleum products are delivered by tankers and fuel stations. Road transport accounts for about 20% of oil cargo transportation [3].

It should be noted that not enough attention is paid to container truck transportation of oil products.

Analysis of recent research and publications. The transportation of petroleum products and liquefied hydrocarbon gases by road transport is widely used when transporting petroleum products from distribution depots directly to consumers [2–6], and its most effective use is where it is impossible to deliver petroleum products by rail or water, as well as for delivery to consumers located a short distance from filling stations and warehouses and bases – for example, from oil depots to car farms, to gas stations, to rural fuel depots [7–10].

Setting objectives. The purpose of the paper is to development of a methodology for selecting the optimal assortment of consumer and transport containers for the main types of petroleum products, as well as types of vehicles for their transportation in bulk transportation.

Presenting main material. We will give the definition according to the standard: consumer packaging is packaging intended for packaging and delivery of products to the consumer, transport packaging is packaging intended for storage and transportation of products in order to protect them from damage during transportation and forms an independent transport unit; a vehicle is a device intended for road transportation of people, goods or equipment installed on it.

Petroleum products packed in transport containers are transported in containers or transport packages in covered vehicles in accordance with the Rules for the carriage of goods by road transport. When transporting by road, petroleum products in limited quantities are packed in accordance with the requirements [4].

Transport containers, vehicles with oil and petroleum products, in addition to transport markings, shall, if necessary, be marked with markings characterizing the transport hazard of the cargo. The warning inscription "Flame hazard" is placed on gas stations and tankers with petroleum products and oil gas stations.

Oil is a liquid natural fossil mixture of hydrocarbons of a wide physico-chemical composition, prepared for transportation by main pipeline, railway, road and water transport and/or for use as raw material in oil refining and petrochemical industries [8]. Oil and gas are the main raw materials during the production of automotive operating materials.

Oil is transported in tank containers by road transport (here and below for petroleum products). Transport container: metal barrel. When transporting in bulk: tank truck.

A tank container is a unit of reusable transport equipment consisting of a boiler and equipment elements, has standard dimensions and appropriate strength, and is structurally designed for the transportation of gaseous, liquid, solid (powdery or granular) substances by various types of transport without intermediate cargo overloading.

The main components of liquefied hydrocarbon gases (LHG), modern fuel for engines, are propane, butane and their mixtures [8]. These hydrocarbons are obtained from gases, accompanying oil, when drilling wells and gaseous fractions formed during various types of processing of petroleum products and hard coal.

Liquefied gases are stored in cylinders with a capacity of 250 liters (162...225 liters of gas provide a vehicle range of up to 500 km), designed for a working pressure of 1.6 MPa. In such conditions, even pure propane is in liquid form, which allows you to operate cars on liquefied petroleum gases all year round.

Propane and butane are valuable raw materials for the chemical industry, which limits the prospects for their widespread use in road transport.

LHG is transported in tank containers. Transport container: metal cylinder. When transporting in bulk: tank truck.

The variety of brands of gasoline and diesel fuel produced is related to the need to ensure the operation of engines with different detonation properties [9]. Unleaded gasoline A-72 is used for cars with non-forced engines. The main fuel for modern trucks and buses with carburetor engines is gasoline A-76, A-80, A-92, AI-91. Gasoline AI-93, AI-95, AI-95 "Extra" is the main fuel for most passenger cars produced at present, leaded gasoline AI-98 is intended for passenger car engines with a higher compression ratio.

Naphthyl fuel is intended for use as a fuel for jet engines and rocket fuel, it is a flammable liquid with a flash point in a closed crucible above 61 °C, a self-ignition temperature not lower than 220 °C, and an ignition temperature in the range from 28 °C to 60 °C.

Aviation gasoline, automobile gasoline, fuel for jet engines, naphthyl, diesel fuel are transported in tank containers [10]. Consumer packaging: metal flask, glass bottle. Transport container: metal barrel, metal canister. When transporting in bulk: tank truck, fuel tank.

Household stove fuel is intended for burning in low-power heating units located directly in residential premises, as well as medium-power heat generators used in agriculture for the preparation of fodder, drying of grain, fruit, canning and other purposes.

Transported in tank containers. Consumer packaging: metal flask. Transport containers: metal, polymer barrel, metal, polymer canister, medium capacity container for bulk cargo (IBC-container). When transporting in bulk: tank truck.

The medium capacity container for bulk cargo (IBC-container) is a cargo plastic container of medium capacity (with a capacity of 640 to 1250 L), intended for multiple use, and used for the transportation and storage of liquid, solid and loose products.

Marine fuels, fuel oils are transported in tank containers. Consumer packaging: metal flask, polymer flask. Transport containers: metal barrel, metal drum, metal canister, polymer canister. When transporting in bulk: tank truck.

Gas oil is transported in tank containers. When transporting in bulk: tanker truck, truck bitumen truck, truck-mounted cement mixer.

Kerosene is transported in tank containers. Consumer packaging: metal, polymer flask, metal, polymer, glass can, glass, polymer bottle, metal, polymer canister. Transport container: metal cylinder, metal barrel, polymer, metal canister, polymer. When transporting in bulk: tank truck.

Additives are transported in tank containers. Consumer packaging: metal, polymer flask, metal, polymer can, polymer bottle. Transport containers: metal barrel, polymer barrel, polymer canister, medium capacity container for bulk cargo (IBC container). When transporting in bulk: tank truck.

All oils of petroleum origin are divided into four groups: motor (for aircraft, gas turbine, carburetor and diesel engines), transmission, special (turbine, compressor, etc.) and for various purposes.

Oils are transported in tank containers. Consumer packaging: metal flask, polymer flask, metal, polymer, glass can, glass, polymer bottle, metal, polymer canister. Transport containers: metal, polymer barrel, metal, polymer drum, metal, polymer canister, medium capacity container for bulk cargo (IBC-container), flexitank. When transporting in bulk: a tanker truck, an oil filling station.

Flexitank is a flexible container (with a capacity of 10,000 to 24,000 liters) made of special polymer materials, designed for 20-foot universal containers, used for the transportation and storage of liquid products.

Plastic lubricants occupy an intermediate position between solid lubricants and oils. In the simplest case, they can be considered as two-component systems consisting of oil (dispersion medium) and thickener (dispersion phase).

Various lubricating fluids are used as a dispersion medium, which accounts for 75...95% of the volume of the lubricant. More than 95% of lubricants (from the total production) are made on the basis of petroleum oils. The dispersed phase (5...25%) forms a three-dimensional structural framework in lubricants, the cells of which hold oil. Therefore, at low loads, lubricants behave like solid bodies, and at critical loads exceeding the strength of the structural frame (usually 50...200 Pa), they flow like oils.

Plastic lubricants are transported in tank containers. Consumer packaging: metal flask, polymer flask, metal, polymer, glass, tube. Transport containers: metal, polymer, wooden barrel, metal, polymer, plywood, cardboard drum.

Lubricants (sulfox, protective wax, copper naphthenate for anti-rot mixtures, ZKN) are transported in tank containers. Transport container: metal, polymer, wooden barrel, metal, polymer drum.

Vaselines are used in medicine, veterinary medicine and electrical engineering.

Vaselines are transported in tank containers. Consumer packaging: metal, polymer flask, metal, polymer, glass can, polymer canister. Transport container: metal barrel, metal drum, polymer.

Clovertainer-type bitumen cubic container is a container made of multi-layer cardboard or plywood on a wooden pallet, designed for the packaging, transportation and storage of petroleum products, including petroleum bitumen, polymer-bitumen binders,

modified bitumen, bitumen compounds, raw materials for the production of bitumen, and similar petroleum products with a softening temperature not lower than 35°C.

Raw materials for the production of bitumen, tar, petroleum asphalt are transported in tank containers.

Transport container: metal barrel, polymer, metal drum, polymer, cubic container for bitumen of the clovertainer type, container of medium capacity for bulk cargo (IBC-container), flexitank, soft container of the "big-bag" type, paper bag, polymer bag, etc. . When transporting in bulk: tanker truck, bitumen truck, tar truck.

A soft container of the "big-bag" type is a body made of soft material, or a combination of them, and has, if necessary, an inner coating and the appropriate operational equipment and load-catching devices.

Naftobitumen is a mixture of high-molecular, liquid or solid hydrocarbons and tar-asphalt substances. Bitumen has been one of the most famous and important building materials since ancient times. Due to its adhesive and hydrophobic properties, it is widely used in road construction, manufacturing of roofing materials, in the construction of foundations of buildings and structures, laying of pipelines.

Liquid road bitumens are transported in tank containers. Transport containers: metal barrel, polymer drum, metal drum, polymer drum, plywood, cardboard winder, cubic container for bitumen of the clovertainer type, medium capacity container for bulk cargo (IBC-container), flexitank, soft container of the "big-bag" type. When transporting in bulk: tank truck, bitumen truck, tar truck.

Viscous road bitumen, roofing bitumen, construction bitumen are transported in tank containers. Consumer packaging: cardboard box with an insert made of non-stick paper. Transport container: metal barrel, polymer, wooden drum, metal drum, polymer, plywood, corrugated cardboard, cubic container for bitumen type clovertainer, container of medium capacity for bulk cargo (IBC-container), flexitank, soft container of the "big-bag" type, a paper bag, a polymer bag, etc. When transporting in bulk: a bitumen truck, a tar truck.

Paraffin is a mixture of solid high-molecular boundary hydrocarbons of normal structure.

Ceresin is a mixture of solid high-molecular boundary hydrocarbons mainly of isostructure. Designed for obtaining lubricants, wax alloys, insulating materials and products of electronic industry enterprises.

Liquid petroleum paraffins. Transport container: metal barrel, polymer barrel, wooden barrel, polymer drum. When transporting in bulk: tank truck.

Solid petroleum paraffins. Consumer packaging: metal flask, metal can, polymer. Transport container: metal, polymer, wooden barrel, metal, polymer, cardboard drum, cubic container for bitumen of the clovertainer type, container of medium capacity for bulk cargo (IBC-container), flexitank, soft container of the "big-bag" type ", box, paper bag, polymer bag, etc.

Petrolatum is a product of deparaffinization of residual petroleum oils of selective purification, which is a mixture of solid paraffin, ceresin and from 7% to 38% of petroleum oils, used as a raw material for obtaining ceresin, a component of lubricants, electrical insulating compounds, an antiozonant for rubber, below the flash point of 240 °C, drop temperature from 55 °C to 65 °C, sulfur content slightly more than 0.6%. Petrolatum is used to obtain ceresin, hydrocarbon lubricants, petroleum jelly, for drying wood and other purposes.

Gach is a product of deparaffinization of petroleum distillate oils, used for the production of solid paraffins and other oil refining and petrochemical processes, with a flash point in a closed crucible not lower than 180 °C, a melting point not lower than 49 °C, a

sulfur content of not more than 0.5% . In other words, wax is a crude paraffin wax with a high oil content.

Unrefined petrolatum, gac and ceresine are transported in tank containers. Consumer packaging: metal, polymer flask, metal, polymer can. Transport container: metal, polymer, wooden barrel, metal, polymer, plywood, cardboard drum, soft "big-bag" type container. When transporting in bulk: tank truck.

We will present the main ergonomic requirements from the point of view of carrying out loading and unloading and transport and storage operations with the main types of petroleum products.

By mass, cargoes transported by road transport are divided into three categories.

The first category by weight of tared and piece cargoes includes those that have a mass of one place less than 30 kg, the second category - those that have a mass of one place from 50 to 500 kg; to the third category - more than 500 kg.

Cargoes transported by road transport is divided into four groups according to the degree of danger during loading, unloading and transportation.

The first group of cargoes according to the degree of danger during loading, unloading and transportation (low-hazard cargoes) include construction materials, food products, etc., the second group – dangerous due to their size (oversized), the third group – dusty or hot include cement, mineral fertilizers, asphalt, bitumen, etc., dangerous cargoes belong to the fourth group.

The movement of goods of the 1st category from the warehouse to the place of loading or from the place of unloading to the warehouse can be organized manually, if the horizontal distance does not exceed 25 m. If the distance is greater, such goods must be transported by mechanisms and devices. In exceptional cases, loading and unloading of goods weighing up to 55 kg (one place) may be carried out manually by two loaders at places of non-permanent loading and unloading. Transportation, loading and unloading of cargo of the 2nd and 3rd categories at all permanent and temporary loading and unloading platforms (points) must be mechanized.

Tared and piece cargoes that rise above the sides of the body must be tied with strong, serviceable rigging (ropes, ropes). It is forbidden to use metal ropes and wire.

Tared and piece cargoes in boxes, barrels, cans, bottles, etc. must be stacked in such a way that they cannot move on the floor of the body when moving from a place and making sharp turns, sharp braking. Between individual cargo spaces, when there are gaps between them, strong spacers and spacers made of wood are inserted.

Liquid cargoes in barrels should be put up with a cork.

The same applies to glass tares with liquids, which are accepted for transportation only in special packaging.

Cargoes in glass tares, in order to ensure their integrity, cannot be installed in two layers without the presence of spacers (boards) of a certain quality.

Drivers and workers who are engaged in the transportation, loading and unloading of dusty goods or poisonous substances must be provided with appropriate means of personal protection.

Labels that indicate the type of dangerous cargoes, the presence of fragile vessels in the package, as well as the top of the package, must be on all cargo units of dangerous substances.

Loading and unloading operations with dangerous cargoes cannot be performed with a defective tare, in the absence of markings and warning inscriptions on it, when the tare does not meet the requirements of regulatory and technical documentation.

Dangerous cargo to and from the vehicle must be loaded with its engine turned off, with the exception of the cases of pouring and draining petroleum products into the tank truck, which is done with the help of a pump installed on the vehicle and driven by the vehicle's engine. In this case, the driver is near the pump control panel.

It is prohibited:

- to transport dangerous cargoes and food products or fodder together;
- to burn and use an open fire when loading, unloading and transporting explosive, fire-hazardous cargoes.

Conclusions.

1. Road transport mainly ensures the delivery of petroleum products to remote agricultural areas, as well as for the internal movement of petroleum products from oil depots to places of consumption. Transportation of petroleum products from the oil depot to the consumer is carried out by tankers, on-board cars, and trailers.

2. In connection with the need to deliver petroleum products to consumers in a full range, it is suggested to organize combined transport, that is, when sending, for example, containerized petroleum products by flatbed truck, light petroleum products can be transported in special mobile tanks of relatively small capacity, taken on a trailer to a flatbed truck. When transporting petroleum products in tanker trucks, containerized petroleum products can be transported in flatbed trailers.

List of references

1. Boyun Guo, Xinghui Liu and Xuehao Tan (2017). *Petroleum Production Engineering*. Gulf Professional Publishing. 780 p.
2. Основи нафтогазової справи / Білецький В. С., Орловський В. М., Дмитренко В. І., Похилко А. М. Полтава: ПолтНТУ, Київ: ФОП Халіков Р. Х., 2017. 312 с.
3. Зберігання та дистрибуція нафти, нафтопродуктів і газу: навч. посіб. / Ширін Л. Н. та ін. Дніпро: НТУ«ДП», 2019. 306 с.
4. UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods – Model Regulations Twenty first revised edition, United Nations, New York and Geneva, 2019 (Рекомендації щодо перевезення небезпечних вантажів. Типові правила. Організація Об'єднаних Націй, Нью-Йорк та Женева, 2019). URL: https://unesc.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev21/ST-SG-AC10-1r21e_Vol1_WEB.pdf
5. Кологривов М. М., Бузовський В. П. Транспортування і перевалка високов'язкої нафти та нафтопродуктів з підігрівом: навч. посіб. Одеса : Бондаренко М. О. [вид.], 2022. 126 с.
6. Топільницький Петро, Гринишин Олег, Мачинський Остап. Технологія первинної переробки нафти і газу: підручник. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. 467 с.
7. Транспортування нафти, нафтопродуктів і газу: навч. посіб. / Л. Н. Ширін та ін. Дніпро: НТУ «ДП», 2019. 203 с.
8. Білецький В. С., Орловський В. М., Вітрик В. Г. Основи нафтогазової інженерії: підручник. Львів: «Новий Світ- 2000», 2019. 416 с.
9. Коляда О. П., Докуніхін В. З. Логістичні системи доставки специфічних вантажів: навч. посіб. для ЗВО. Київ: Ун-т "Україна", 2021. 530 с.
10. Габрієлова Т. Ю., Литвиненко С. Л., Баннов О. В. Перевезення спеціальних вантажів: підручник. Київ: НАУ, 2015. 456 с.

References

1. Boyun, Guo, Xinghui, Liu & Xuehao, Tan (2017). *Petroleum Production Engineering*. Gulf Professional Publishing [in English].
2. Biletskyi, V. S., Orlovskiy, V. M., Dmytrenko, V. I. & Pokhilko, A. M. (2017). *Osnovy naftohazovoyi spravy [Fundamentals of oil and gas business]*. Poltava: PoltNTU, Kyiv: FOP Khalikov R. Kh. [in Ukrainian].
3. Shyrin, L. N. et al. (2019). *Zberihannya ta dystrybutsiya nafty, naftoproduktiv i gazu [Storage and distribution of oil, oil products and gas]*. Dnipro: NTU«DP» [in Ukrainian].

4. UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods – Model Regulations Twenty first revised edition, United Nations, New York and Geneva, 2019 URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev21/ST-SG-AC10-1r21e_Vol1_WEB.pdf [in English].
5. Kologrivov, M. M. & Buzovs'kyi, V. P. (2022). *Transportuvannya i perevalka vysokov'yazkoj nafty ta naftoproduktiv z pidigrivom [Transportation and high-density petroleum and products with heating]*. Odesa : Bondarenko M. O. [vyd.] [in Ukrainian].
6. Topyl'nitckyi, P., Grinishin, O. & Machins'kyi O. (2014). *Technologiya pervynnoy pererobky nafty ta gazu [Technology of initial treatment of petroleum and gas]*. Lviv: Vyd-vo Lviv. polytechniki [in Ukrainian].
7. Shirin, N. L et al. (2019). *Transportuvannya nafty, naftoproduktiv i gazu [Transportation petroleum, petroleum products and gas]*. Dnipro: NTU «DP». [in Ukrainian].
8. Biletskyi, V. S., Orlovskyi, V. M. & Vitryk V. G. (2019). *Osnovy naftogazovoy inzhenerij [Fundamentals of oil and gas ingeneering]*. Lviv: «Novyj Svit- 2000». [in Ukrainian].
9. Kolyada, O. P., Dokunikhin V. Z. (2021). *Logistychny systemy dostavky spetsyfichnykh vantazhiv [Logistic systems of delivering specific cargoes]*. Kyiv: Un-t "Ukraina" [in Ukrainian].
10. Gabrielova, T. Yu., Litvinenko, S. L., Bannov, O. V. (2015). *Perevezennya spetsial'nykh vantazhiv [Transportations of special cargoes]*. Kyiv: NAU [in Ukrainian].

В. Г. Загорянський, доц., д-р. техн. наук

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, Україна

Споживацька і транспортна тара для автомобільних перевезень основних видів нафтопродуктів, ергономічні вимоги до поводження і складування

Проведені у даній статі дослідження присвячені вирішенню актуальної проблеми розробки методики вибору оптимального асортименту споживацької і транспортної тари для автомобільних перевезень основних видів нафтопродуктів. При цьому слід відмітити, що тарним автоперевезенням нафтопродуктів приділяється недостатньо уваги. Автомобільний транспорт в основному забезпечує завезення нафтопродуктів у глибинні сільськогосподарські райони, а також для внутрішнього переміщення нафтопродуктів від нафтобаз до місць споживання.

До основних видів нафтопродуктів, що перевозяться автомобільним транспортом, відносяться такі достатньо різні за своїми властивостями речовини, як бензини авіаційні, бензини автомобільні, палива для реактивних двигунів, нафтил, паливо дизельне, зріджені вуглеводневі гази, мастила нафтового походження, вазеліни, сировина для виробництва бітуму, гудрон, асфальт нафтовий, власне нафтобітум, парафіни нафтові рідкі та тверді. Визначено, що нафтопродукти, упаковані у транспортну тару, транспортують у контейнерах або транспортними пакетами у критих транспортних засобах відповідно до Правил перевезення вантажів автомобільним транспортом. При транспортуванні автомобільним транспортом нафтопродукти в обмежених кількостях упаковують відповідно до вимог Рекомендацій щодо перевезення небезпечних вантажів (типових правил, розроблених Організацією Об'єднаних Націй). На транспортну тару, транспортні засоби з нафтою та нафтопродуктами крім транспортного маркування, за потреби, завдають маркування, що характеризує транспортну небезпеку вантажу.

В роботі запропоновано розширити асортимент споживацької і транспортної тари для автомобільних перевезень основних видів нафтопродуктів за рахунок вибору таких ефективних її видів, як контейнер-цистерна, контейнер середньої вантажопідйомності для масових вантажів (ІВС-контейнер), флексітанк, м'який контейнер типу "біг-бег". Якщо правила техніки безпеки і охорони праці, ергономічні вимоги при транспортуванні нафтопродуктів наливом визначені чітко і докладно, то ці ж вимоги до тарного транспортування мають деякі особливості, які визначені в роботі.

нафтопродукти, споживацька тара, транспортна тара, автомобільні перевезення, оптимізація, поводження, складування, ергономічні вимоги

Одержано (Received) 18.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 31.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

Volodymyr Zahorianskyi, Assoc. Prof., DSc., Olena Zahorianska, Assoc. Prof., Ph.D econ. sci., Tetyana Haikova, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine
e-mail: zagor_vlad@ukr.net, zagor_elen@ukr.net, tanyahaikova@ukr.net

Application of the methods of ergonomic, operations research and theory of systems in modeling of the main parameters of a warehouse for tared and piece cargoes

The paper considers the application of methods of operations research and systems theory to the tasks of logistics management and modeling of the main parameters of the warehouse of tared and piece cargoes.

The method has been developed for selection and comparison of the efficiency and economy of devices and equipment for storage and processing of tared and piece cargoes, modern means, machines and equipment for cargo work. The parameters are defined that describe the warehouse of tared and piece cargoes as a system, and the connections between them.

warehouse, tared and piece cargoes, structural-parametric model, algorithm, theory of systems, operations research, ergonomic

Formulation of the problem. Warehouses of the tared and piece cargoes are of particular importance in the country's economy, as mainly finished products of our and foreign industries pass through them, that are the most valuable cargoes.

The warehouse system serves as a place of transshipment for various types of transport, primarily road and rail. The development and further improvement of the logistics process, increasing the level of its economic and technological efficiency puts forth requirements for the improvement of all links of the logistics process, including warehousing.

Analysis of recent research and publications. A modern warehouse is a very complex object, both from a technical and managerial point of view [1-4].

Modern mechanized and automated warehouses are distinguished by a wide variety of technological, layout and volume-planning solutions. Therefore, with the development of warehouse technology, their design methods, based on scientific research, must also be improved [5, 6].

The project of the warehouse as a complex technical object consists of several parts: technological, design, construction, electrical, automated control system, and economic [6].

The issues of rational design of transport-warehouse complexes and their components for storage and processing of tared and piece goods are especially relevant in order to organize effective management and control of material flows in the warehouse system of cargo management in order to improve the efficiency of providing relevant services [7, 8]. The development of the technological part of the mechanized or automated warehouse project causes the greatest methodological difficulties [8].

The analysis of modern literary sources on the topic of the study showed that in the total volume of transportation carried out by all types of transport, the specific weight of tared and piece goods is about 20% [4, 7]. At the same time, the costs associated with their loading, unloading, sorting and warehouse operations reach about 50% of the total costs for loading and unloading operations [9].

Setting objectives. The purpose of the paper is to increase the efficiency of the transport and logistics system of goods delivery by modeling the optimal solutions of the transport and storage complex for tared and piece goods.

Research objectives: analyze the features of the modern warehouse for tared and piece goods as a technical system; to analyze the design methodology of the warehouse for tared and piece goods at the current stage; to develop a structural-parametric model for determining optimal technical and technological solutions when designing a warehouse for tared and piece goods.

Presenting main material. In the paper such research methods used: methods and models of theory of systems, operations research, ergonomic, optimization methods.

All requirements for modern warehouses can be divided into the following groups [5]:

- technical requirements (increasing warehouse capacity, vehicle productivity, equipment reliability);
- organizational requirements (managing the progress of warehousing, recording intra-warehouse movements, readiness to issue information about goods and to deliver goods);
- economic requirements (minimum capital costs per unit of stored cargo, reduction in processing costs).

A certain drawback of this algorithm is the approximate nature of the calculation of individual values (the height of stacking the cargo on the pallet, the total dimensions of the warehouse, capital investments) based on aggregated indicators and methods [10].

This algorithm for approximate design of the warehouse can be used at the first stages of design or in other cases when detailed calculations and detailing of design solutions by composition are not required.

When calculating according to this algorithm, the following arrays of normative and reference information are used:

- part of the TARA massive (characteristics of transport and storage tare), which has the structure [4]:

$$\{I, A, B, C, V, G, KP, AP\}_I, I = 1, \dots, N \quad (1)$$

where I – pallet type number;

A is the length of the pallet (the size by which it is installed in the storage area along the longitudinal aisles);

B – the width of the pallet (the size by which it is installed in the depth of the stack or rack);

C, V – the maximum height of stacking cargo on a pallet and the volume of the pallet;

G – load capacity of the pallet; N is the total number of types of pallets;

KP and AP – the cost of the pallet and the share of deductions for depreciation, maintenance and repair of pallets;

– an array ZDA – is specific cost of 1 m³ of useful volume of a warehouse building

$$\{J; [HH, HB[; KZ]\}_J, J = 1, \dots, 5, \quad (2)$$

where [...] – closed from the bottom and open from the top intervals of the useful height of the warehouse building H (lower limit of the interval – HH, upper – HB), KZ – cost of 1 m³ of the volume of the building of the corresponding useful height;

J is the interval number;

– an array OPT – characteristic of the optimal sections of the storage area, which has a structure:

$$\left\{ \left[(HS, Z, X, R)_J \right]_M \right\}_N, \quad (3)$$

where HS, Z – height and number of tiers;

X, R – the number of cargo storage units across the width of the storage section and the total in the section;

J = 1,2, ..., 4 – numbers of options with different tier heights; M = 1,2, ..., 7 – numbers of cargo storage term ranges from [0;5] to [55;65] days;

N = 1,2, ..., 26 - numbers of cargo storage methods. Thus, the ORT array contains everything $26 \times 4 \times 7 = 728$ optimal options for the cargo storage area;

– an array SPS – characteristics of cargo storage methods, which includes 26 options and has a structure:

$$\left\{ \begin{array}{l} N, XXXXX, A, B, G, EZ, EB, EH, XS, \\ LE, LT, QV, OK \end{array} \right\}_N, \quad (4)$$

where XXXXX – code for the method of cargo storage;

EZ - the gap between loads in the height of a stack or rack;

EB – size in height from the supporting surface for the load of the upper tier to the bottom of the construction structures of the covering of the warehouse building;

EH – size in height from the floor of the warehouse to the supporting surface for cargo on the lower (first) tier;

XS - the width of the longitudinal passage for the stacking machine between racks or stacks;

LE, LT – the lengths of the sections for the exit of the stacking machine from the warehouse from the side of the expeditions and from the dead-end part of the warehouse;

QV – the number of cargo storage units per warehouse worker;

OK is a coefficient that shows what part of the cost of the building is the cost of the equipment.

The following values are set as initial data: Q – annual freight flow; ZA – stock of one-time storage of goods; LL - the number of different types of goods stored in the warehouse; U – volumetric mass of goods in stacking; KR – factor of volume of assembly works; NH, NK – numbers of the first (initial) and last (final) storage methods (according to the ORT array), which must be considered during the calculation.

The results of the calculations are displayed in the form of two tables of this structure:

$$\left\{ \begin{array}{l} N, XXXXX, A, B, CNN, G, REE, L, \\ SSKL, PL, HX, HE \end{array} \right\}_N ;$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N, XXXXX, CH, X, Y, R, Z, L, \\ AR, LU, K, MEX, ER, PZ \end{array} \right\}_N ; \quad (5)$$

$$N \in [NH, NK]$$

where CNN is the height of stacking the cargo on the pallet;

G – pallet loading; REE – number of pallets with one cargo name;

L, SSKL, PL – length, width and area of the warehouse;

HX, HE – useful height of the warehouse in the storage area and in the area of receiving and dispatching expeditions;

CH – number of stacking machines;

X, Y, R – the number of pallets in the storage area in width, length and total;

Z, AR – number and height of tiers;

LU – number of warehouse workers;

K, MEX – capital costs for the construction of the warehouse and the cost of equipment, including;

ER, PZ – annual operating costs and reduced costs.

This algorithm includes the following procedures for optimizing technical decisions by composition [10]:

- consolidation of cargo storage units;
- maximum filling of cargo storage units and warehouse building with cargo;
- maximum use of stacking machines in terms of time and load capacity;
- optimization of the movement cycles of stacking machines when servicing the cargo storage area;
- optimization of the storage method and parameters of the cargo storage area (number of cells, height, length, width).

Compared to existing warehouse design methods (design institutes, industrial enterprises), this algorithm provides a more reasonable choice of warehouse parameters, as it considers and compares many options for warehouse technical equipment and optimizes technical solutions.

The developed algorithm for choosing the method of storage of container loads is given in [8]. The algorithm for determining the parameters of the typical representative of the nomenclature group allows to determine the parameters of the cargo - a typical representative of the nomenclature group: dimensions TA, TV, TS, weight TQ, storage stock TS.

A matrix of similar characteristics of real cargo processed in the warehouse is set as the initial data:

$$\{I, AO, BO, CO, GO, ZA\}_I, I = 1, \dots, N, \quad (6)$$

where I is the cargo number in the nomenclature group;

AO – cargo length (larger size in the plan), BO, CO, GO – width, height and mass of one place of cargo;

ZA – storage stock; N is the total number of cargo items in the nomenclature group.

The algorithm for determining the parameters of the cargo - a typical representative is based on the principle that the stock of the cargo - a typical representative - occupies the same volume in the composition as all the stocks of cargo of the nomenclature group that it replaces [6].

Also, according to the model given in the previous paragraph, the algorithm for determining the capacity of transport and warehouse containers by the method of theoretical cargo stacking was developed.

The algorithm for determining the types, parameters and quantity of transport and storage containers was developed.

This algorithm allows (after compiling the appropriate program) to determine the type, parameters and quantity of transport and storage containers for the storage of artificial cargo.

The following arrays of normative and reference information are used in the calculations:

- the matrix of characteristics of the cargo nomenclature is used as the initial data:

$$\{J, ZA, AO, BO, CO, GO, L\}_J, J = 1, \dots, N, \quad (7)$$

where J is the cargo group number;

ZA – cargo storage stock;

AO – cargo length (larger size in plan);

BO, CO, GO – width, height and weight of one place of cargo;

L – the number of items of cargo in the group; N is the number of cargo groups.

In addition, the value of the attribute D is fixed, which shows that the pallet type is not specified (D = 0) or specified (D = 1), such cases are possible during design.

The developed algorithm for approximate design of the warehouse is given in Figure 1.

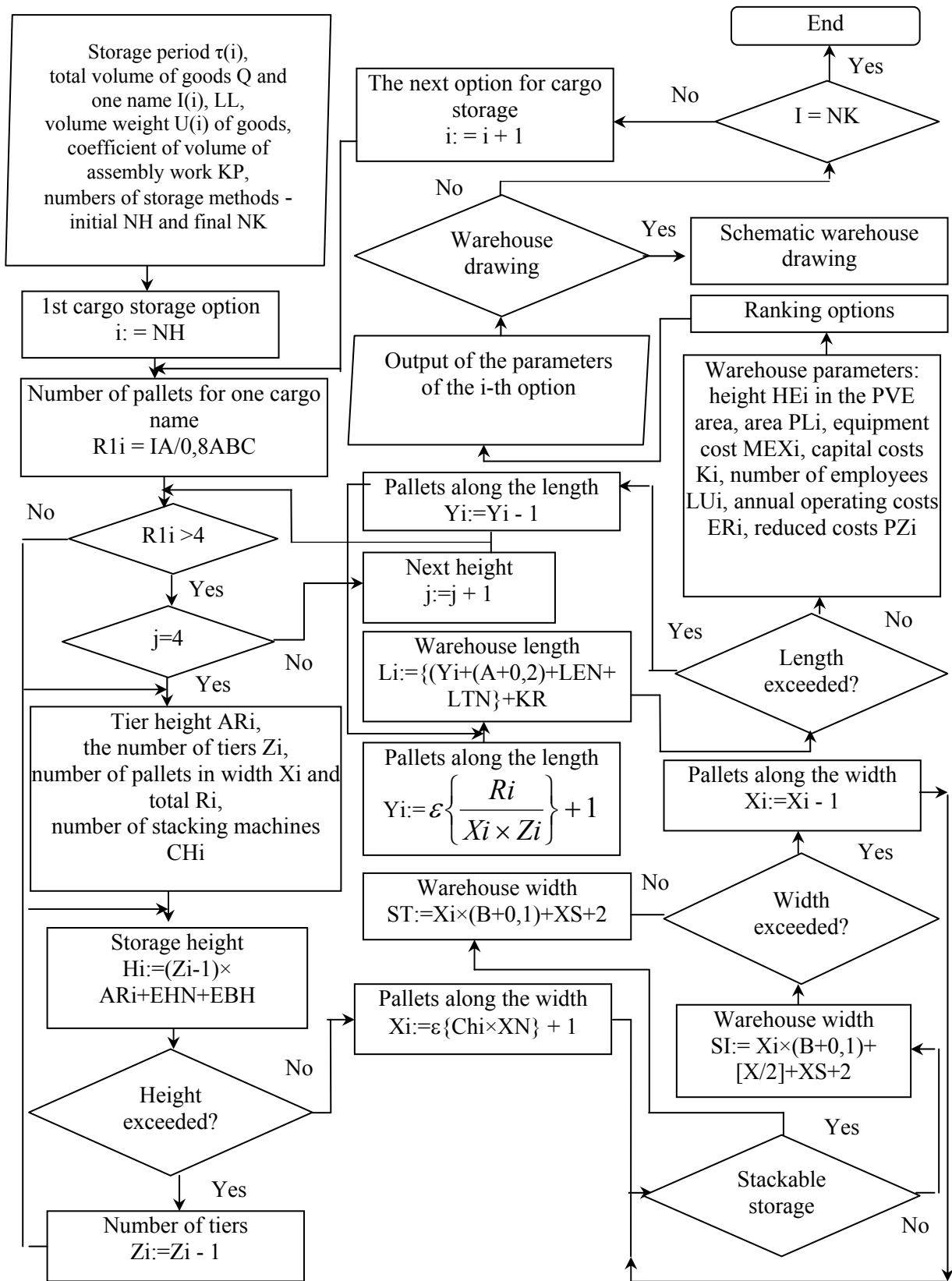


Figure 1 – Algorithm for approximate design of the composition of tared and piece goods warehouse
 Source: developed by author

Conclusions. 1. The method of selection and comparison of the efficiency and economy of devices and equipment for storage and processing of tared and piece goods,

means, machines and equipment for loading and unloading and transport and storage works at warehouse has been developed. Arrays of parameters selected when creating a warehouse include parameters or various rack structures, specialized lifting, transport and storage equipment, stackers and package forming machines, weighing equipment, robotics tools, computer information and control systems etc.

2. The structural-parametric model for determining optimal technical and technological solutions when designing a warehouse for tared and piece goods consists of a set of parameters describing warehouse of tared and piece goods as a system, i.e. a separate the set of initial parameters of the warehouse, and the set of parameters that are calculated and selected during the creation or reconstruction of warehouse complex.

List of references

1. Manufacturing, Warehousing, and Logistics. SAP SE, 2017. 550 p. URL: <https://media-01.imu.nl/storage/scheer-nederland.nl/3029/wp/sap-bydesign-1702-product-info-manufacturing-warehousing-logistics.pdf> (дата звернення: 30.12.2023).
2. Meyer M. D. Transportation Planning Handbook. Wiley. 2016. 1200 p.
3. Warehouse Logistics and Inventory Management : course project guidelines for students of specialty 073 "Management" educational professional program "Logistics" / comp.: V. Marchuk et al. Kyiv : NAU, 2022. 51 p.
4. Faber N. Structuring Warehouse Management. ERIM. 2015. 170 p.
5. Gleissner H., Femerling J. C. Logistics: Basics - Exercises - Case Studies. Springer. 2014. 311 p.
6. Robert S Bridger Introduction to Human Factors and Ergonomics. CRC Press. 2018. P. 769.
7. Reis V., Macario R. Intermodal Freight Transportation. Elsevier. 2019. 244 p.
8. Iryna Trunina, Volodymyr Zahorianskyi, Olena Zahorianska, Dmytro Moloshtan Ensuring Competitiveness of Logistics Service by Selecting the Type of Storing Single-Piece Cargoes. *International Journal of Engeneering and Technology*. 2018. Vol. 7, No. 4.3. Special Issue 3. p. 537–544.
9. Мороз М. М., Загорянський В. Г. Проектування транспортно-технологічних систем вантажних перевезень: навч. посіб. Кременчук: КрНУ, 2021. 205 с. URL: http://document.kdu.edu.ua/info_zab/275_907.pdf (дата звернення: 30.12.2023).
10. Грицюк П. М., Джоші О. І., Гладка О. М. Основи теорії систем і управління: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2021. 272 с.

References

1. Manufacturing, Warehousing, and Logistics. SAP SE, 2017. 550 p. URL: <https://media-01.imu.nl/storage/scheer-nederland.nl/3029/wp/sap-bydesign-1702-product-info-manufacturing-warehousing-logistics.pdf> (дата звернення: 30.12.2023).
2. Meyer, M. D. (2016). Transportation Planning Handbook. Wiley. 1200 p.
3. Marchuk, V. et al. (2022). Warehouse Logistics and Inventory Management : course project guidelines for students of specialty 073 "Management" educational professional program "Logistics" / National Aviation University. Kyiv : NAU,. 51 p.
4. Faber, N. (2015). Structuring Warehouse Management. ERIM. 170 p.
5. Gleissner H., Femerling J. C. (2014). Logistics: Basics - Exercises - Case Studies. Springer. 311 p.
6. Robert S Bridger (2018). Introduction to Human Factors and Ergonomics. CRC Press. P. 769.
7. Reis V. & Macario R. (2019). Intermodal Freight Transportation. Elsevier, 244 p.
8. Iryna Trunina, Volodymyr Zahorianskyi, Olena Zahorianska & Dmytro Moloshtan (2018). Ensuring Competitiveness of Logistics Service by Selecting the Type of Storing Single-Piece Cargoes. *International Journal of Engeneering and Technology*. Vol. 7, No. 4.3. Special Issue 3. p. 537–544.
9. Moroz M. M. & Zahoryans'kyi V. H. (2021). Proektuvannya transportno-tekhnologichnykh system vantazhnykh perevezen' [Designing transport and technological systems of freight transport]. Kremenchuk: KrNU URL: http://document.kdu.edu.ua/info_zab/275_907.pdf [in Ukrainian].
10. Hrytsyuk P. M., Dzhoshi O. I. & Hladka O. M. (2021). Osnovy teoriyi system i upravlinnya [Fundamentals of the theory of systems and management]. Rivne: NUVHP [in Ukrainian].

В. Г. Загорянський, доц., д-р. техн. наук, **О. Л. Загорянська**, доц., канд. екон. наук, **Т. В. Гайкова**, доц., канд. техн. наук

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, Україна

Застосування методів ергономіки, дослідження операцій і теорії систем в моделюванні основних параметрів складу тарно-штучних вантажів

У роботі розглянуто застосування методів дослідження операцій та теорії систем до завдань логістичного управління та моделювання основних параметрів складу тарно-штучних вантажів. Метою роботи є підвищення ефективності транспортно-логістичної системи доставки вантажів шляхом моделювання оптимальних рішень складу тарно-штучних вантажів. У роботі використані методи та моделі ергономіки, теорії систем, дослідження операцій, структурно-параметричне моделювання. Основою запропонованих у роботі рішень став практичний досвід проектування складських приміщень підприємств різних галузей промисловості та торгівельної мережі України для тарно-штучних вантажів, а також нові уточнені методи проектування таких механізованих та автоматизованих складів.

Розроблено методику вибору та порівняння ефективності та економічності пристроїв і обладнання для зберігання та обробки тарно-штучних вантажів, сучасних засобів, машин і обладнання для вантажних робіт.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що визначено параметри, що описують склад тарно-штучних вантажів як систему, та зв'язки між ними, розроблені структурно-параметричні моделі підсистеми розрахунку запасів вантажів і пропускну здатності складу в підсистемі обґрунтування вибору оптимальних техніко-технологічних рішень зберігання вантажів складу та пов'язаних з ним робіт, структурно-параметричну модель підсистеми розрахунку та вибору основних параметрів компонування дільниць і всього складу. Практична значущість полягає в тому, що розроблено методику вибору та порівняння ефективності та економічності пристроїв і обладнання для зберігання вантажів складу для тарно-штучних вантажів, вибору та порівняння ефективності та економічності сучасних засобів, машин та обладнання для робіт на складі, розрахунку економічної ефективності проектних рішень будівництва нового складу або реконструкції існуючого.

тарно-штучний вантаж, склад, теорія систем, дослідження операцій, ергономіка, структурно-параметрична модель, алгоритм

Одержано (Received) 19.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 03.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 656.135.073(075)

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.195-203](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.195-203)

Д.В. Молоштан, доц., канд. техн. наук, **С.О. Король**, доц., канд. техн. наук,
К.С. Король, асп.

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м.Кременчук, Україна
e-mail: moloshtandima@gmail.com, korserg309@gmail.com, ekaterina.korol777@gmail.com*

Удосконалення організації дорожнього руху та експлуатації транспортних засобів методом математичного і комп'ютерного моделювання

Успішне управління пасажирським транспортом у швидкозмінному середовищі вимагає постійного вдосконалення. Це стосується структур управління та використання сучасних інструментів, таких як математичні моделі та автоматизовані системи. Інформація відіграє дуже важливу роль. Вона потрібна на всіх етапах роботи: від планування маршруту до аналізу ефективності. Розклад руху - це основа, на якій будується вся система пасажирських перевезень
організація безпеки дорожнього руху, експлуатація транспортних засобів, транспортні засоби, транспортні технології, транспорт, математична модель

© Д.В. Молоштан, С.О. Король, К.С. Король, 2024

Постановка проблеми. Фактичний час, який автобус витрачає на проїзд між двома сусідніми зупинками, не є постійним і може значно відрізнятись. Аналізуючи дані про час у дорозі, можна визначити найбільшу різницю між найкоротшим і найдовшим часом між зупинками на маршруті [1-5]. Величина цього значення називається полем розсіювання розмірів.

Під час руху автобуса за маршрутом на час проходження зупинок впливає багато випадкових факторів, які впливають на час подорожі між зупинками. Це призводить до того, що фактичний час у дорозі розподіляється за певним законом. Вивчивши цей закон, можна застосувати спеціальні методи для оцінки точності розкладу руху автобусів [1,7-9], які рекомендує математична статистика і теорія ймовірності.

Застосовуючи цей метод, ми можемо теоретично розрахувати найбільш ймовірний час у дорозі для автобуса між зупинками. Вимірюючи фактичний час руху автобуса, можна класифікувати рейси за їхньою тривалістю, враховуючи допустимі відхилення від розкладу [1,6-8] у межах одного інтервалу, вимір якого не повинен перевищувати ціни поділки вимірювального приладу. Аналізуючи велику кількість даних, ми виявляємо, що розподіл часу руху в різних групах автобусів є неоднорідним.

Основні цілі дослідження:

Аналіз маршруту, графіка руху автобуса та організації міських пасажирських перевезень м. Кременчук.

Вдосконалення організації міських пасажирських перевезень.

Напрями вдосконалення транспортного процесу пасажирського транспорту, вихід його на сучасний техніко-технологічний рівень, формування нових підходів у виявленні перешкод руху автобуса на маршруті.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Суттєвий внесок у розвиток організації безпеки руху та організації руху транспортних засобів здійснили такі вітчизняні та зарубіжні вчені: Аулін В.В., Кубіч В. І., Волков В.П., Мороз М.М., Грицук І.В., Мармут І.А., Бережна Н.Г., Біляєва О.С., Войтов В.А., Горяїнов О.М., Карнаух М.В., Кравцов А.Г., Кутья О.В., Музильов Д.О., Шраменко М.Ю., Парасюк В. М., Демків Р. Я., Когут В. М., В. І. Варивода, Д. А. Євдокимов, В. Г. Сюравичик, О. М. Жук, І. І. Риндюк, Енаго Н., Trent N.

Постановка завдання. Метою даної науково-дослідної роботи є розробка методики оцінювання точності дотримання графіка руху маршрутним автобусом та виявлення проблемних ділянок на маршруті на основі теорії ймовірності й математичної статистики.

Крім того, було проведено аналіз маршруту та графіку руху автобуса та вдосконалено організацію міських перевезень шляхом використання математичного та комп'ютерного моделювання.

Виклад основного матеріалу. Створивши графік, де по осі X ми відкладемо значення довжини часового інтервалу (в порядку зростання), а по осі Y – кількість експериментів, в яких було зафіксовано саме такий інтервал, ми зможемо візуалізувати розподіл частоти різних значень тривалості інтервалу. [6,8-15], то одержана крива виразить закон розподілу розмірів часу руху між зупинками в даній партії дослідів.

Різні умови експлуатації автобуса, такі як кількість пасажирів, які сідають і виходять, стан дорожнього покриття, погодні умови тощо, призводять до того, що час руху автобуса між зупинками випадковим чином відхиляється від середнього значення. Ці відхилення підкоряються закону нормального розподілу, що означає, що більшість значень часу руху будуть близькі до середнього, а більш значні відхилення зустрічатимуться рідше

Розподіл дійсних розмірів часу руху маршрутного автобуса між зупинками підпорядковується закону нормального розподілу рис. 1:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(L_t - L_{cp})^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

де σ – середнє квадратичне відхилення, яке визначається за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (L_t - L_{cp})^2} \quad (2)$$

L_t – поточний дійсний розмір часу руху транспортного засобу між зупинками;

L_{cp} – середнє зважене арифметичне значення дійсних розмірів часу руху транспортного засобу між зупинками даної партії дослідів.

Значення L_{cp} можна визначити із виразу:

$$L_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_t m_i \quad (3)$$

де m_i – частота (кількість потрапляння часу руху маршрутного автобуса між зупинками до даного інтервалу розмірів);

n – кількість проведених дослідів.

При $L_t = L_{cp}$ крива має максимум, який дорівнює

$$y_{max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,4}{\sigma} \quad (4)$$

Дослідження точності часу руху маршрутного автобуса між зупинками і визначення ймовірного відсотка порушень графіка руху повинні здійснюватися в такій послідовності:

1. Для дослідження точності розкладу автобуса буде проведено не менше 25 вимірювань часу руху на одному маршруті. Перед цим буде визначено теоретичний час проїзду між зупинками за розкладом та допустиме відхилення від цього часу.

2. Виходячи з величини контрольованого часу і допустимого відхилення, вибираються засоби виміру (секундомір) з відповідною точністю.

3. Вибраним засобом виміру вимірюються фактичні розміри всіх 25, або 25 і більше їздок часу руху маршрутного автобуса між зупинками.

Значення розмірів часу руху маршрутного автобуса між зупинками записуються до бази даних у вигляді таблиці.

4. Отримані дані про час руху поділяються на групи з інтервалом, який не менший за похибку вимірювального приладу.

Визначається абсолютна частота повторення m_i – розмірів у кожному інтервалі.

Усі інтервали розмірів у порядку їх збільшення і з відповідною їм абсолютною частотою записуються до бази даних у вигляді таблиці.

5. Визначається середнє арифметичне значення випадкової величини за формулою:

$$L_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n L_t m_t$$

де n – загальна кількість партії вимірів.

6. Визначається відхилення фактичних розмірів від середнього арифметичного за формулою:

$$X_t = L_t - L_{\text{ср}}$$

7. Визначається середнє квадратичне відхилення за формулою:

$$\sigma_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{\sum X_t \cdot m_t}{n}}$$

Для зручності розрахунків значення X_i ; X_i^2 ; $X_i^2 m$ заносять до табл.2.

8. Діапазон значень часу руху автобуса між зупинками, отриманий в результаті проведених дослідів. $\omega = 6\sigma$

9. Визначається максимум розподілу, який дорівнює.

$$y_{\text{max}} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,4}{\sigma}$$

10. На основі отриманих значень ω та y_{max} ідентифікують ділянки маршруту, які потребують додаткової уваги.

Крива нормального розподілу (закон Гаусса), яка характеризує диференціальний закон нормального розподілу, показана на рис. 1

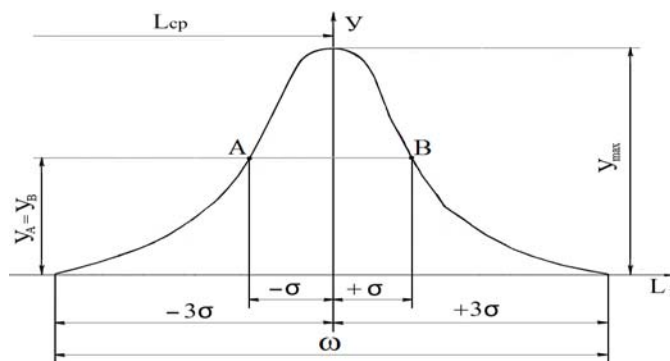


Рисунок 1 – Крива нормального розподілу (закон Гаусса)

Джерело: розроблено автором

Середнє значення $L_{\text{ср}}$ часу руху автобуса між зупинками вказує на типовий час проїзду для даної групи даних [5,6]. Крива нормального розподілу симетрична відносно осі ординат. При $L_i = L_{\text{ср}}$ крива має максимум, який дорівнює

$$y_{\text{max}} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,4}{\sigma}$$

На відстані $\pm\sigma$ від вершини крива має дві точки перегину (точки А і В). Ординати точок перегину

$$y_A = y_B = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi e}} = \frac{y_{\text{max}}}{\sqrt{e}} \approx 0,6y_{\text{max}} \approx \frac{0,24}{\sigma}$$

В межах одного стандартного відхилення (σ) від середнього значення, більшість значень розташовані близько до осі абсцис $\omega = 6\sigma$.

У тих випадках, коли поле розсіювання розмірів часу руху автобуса між зупинками переходить поле допустимого відхилення часу руху автобуса між зупинками, тобто $\omega > T$, умова без порушень графіка руху не виконується.

Відсоток рейсів, які відхиляються від розкладу, можна визначити, обчисливши площу під кривою нормального розподілу в певній області. Площа під кривою нормального розподілу, обмежена віссю абсцис, дорівнює одиниці і представляє собою 100% всіх можливих значень часу руху автобуса.

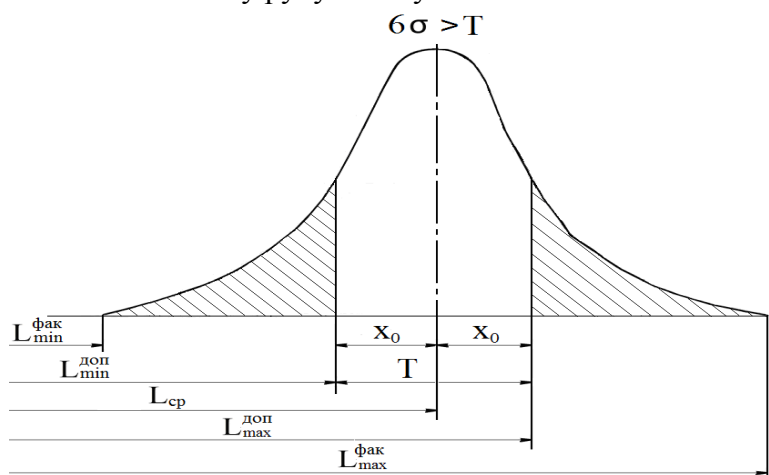


Рисунок 2 – Кількість порушень графіка руху маршрутним автобусом при симетричному розміщенні поля розсіювання часу руху відносно поля допуску

Джерело: розроблено автором

Величина заштрихованої області відображає кількість випадків, коли фактичний час руху автобуса відрізнявся від запланованого більш ніж на допустиму величину.

$$T = L_{\max}^{\text{доп}} - L_{\min}^{\text{доп}}$$

При симетричному розташуванні поля розсіювання відносно поля допустимого відхилення від графіка руху використовується функція Лапласа

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

де t – нормований параметр розподілу або коефіцієнт ризику, який визначається із виразу

$$t = \frac{L^{\text{доп}} - L_{\text{ср}}}{\sigma} = \frac{X_0}{\sigma}$$

Розрахунок кількості порушень графіка руху зводиться до визначення величини t і визначення $\Phi(t)$ за табл.3

Відсоток порушень графіка руху (рис.3) визначається за формулою:

$$Q_{\text{пор}} = 100\% [1 - 2\Phi(t)].$$

Відсоток порушень графіка руху між зупинками маршрутного автобуса методом теорії ймовірності й математичної статистики здійснюється у наступній послідовності:

1. Знаходяться ординати кривої нормального розподілу:

а) максимум кривої y_{max} при $X = 0$

$$y_{max} = \frac{0,4 \cdot \Delta L \cdot n}{\sigma}$$

де ΔL – інтервал.

б) точка перегину y_2 і y_3 при $X = \pm \sigma_{cp}$;

в) точка мінімального зближення кривої y_4 і y_5 до перетину з віссю X при $X = \pm \sigma_{cp}$, $y_4 = y_5 = 0$.

2. Будується графік розподілу фактичних розмірів – полігон і крива нормального розподілу (рис. 3).

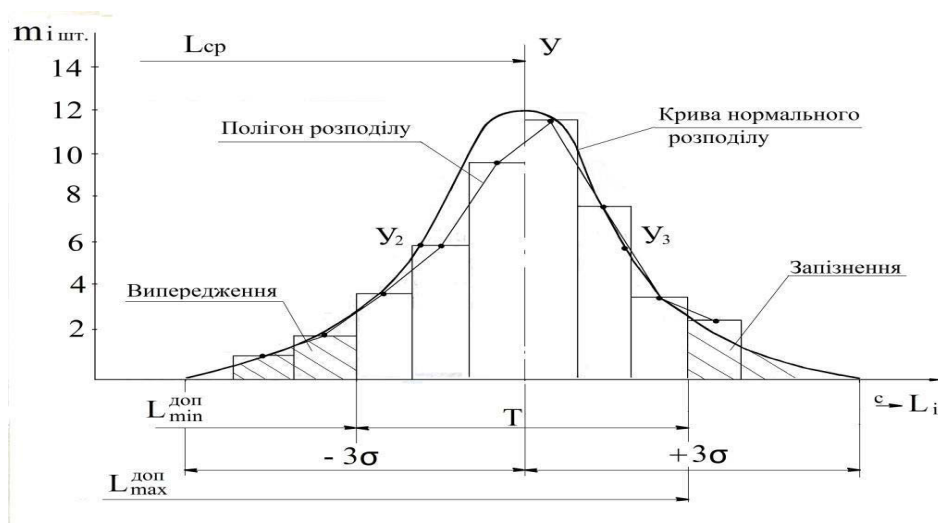


Рисунок 3 – Графік розподілу фактичних розмірів часу, полігон і крива нормального розподілу

Джерело: розроблено автором

Для побудови полігону розподілу по осі абсцис відкладаються інтервали розмірів часу руху маршрутного автобуса між зупинками, а по осі ординат – частота. З'єднуючи точки, одержимо ламану криву розподілу фактичних розмірів.

При побудові кривої нормального розподілу по осі X відкладається середнє відхилення випадкової величини L_{cp} . Через цю точку проводиться вісь, паралельна осі y , яка є віссю симетрії кривої нормального розподілу. Від цієї осі вправо і вліво відкладається значення $\pm 3\sigma$ і одержимо y_4 і y_5 , тобто точки мінімального зближення до перетину кривої нормального розподілу з віссю X . Від цієї осі відкладається в обидва боки $\pm \sigma_{cp}$ по осі X , а по осі y значення y_4 і y_5 і знаходяться точки перегину. По осі симетрії відкладається значення y_{max} . З'єднавши плавною кривою всі точки, одержимо криву нормального розподілу. Відклавши по осі X поле допустимого відхилення від графіка руху T , одержимо площину, обмежену кривою нормального розподілу і полем допустимого відхилення від графіка руху, яка виражає кількість дотримання графіка руху. Залишена частина площини (заштрихована) справа виражає кількість випереджень графіка руху, зліва – запізньень.

3. Визначається вірогідність одержання порушень графіка руху.

Значення нормативного параметра розподілу t_g і відсоток порушень графіка руху $Q_{пор}$ визначається за формулами:

$$t_g = \frac{L_{max}^{доп} - L_{ср}}{\sigma_{ср}},$$

$$Q_{пор} = 100\% [1 - 2\Phi(t_g)].$$

Значення $\Phi(t)$ знаходяться у таблиці функції Лапласа за величиною t .

Розроблена математична модель реалізується за допомогою програми на мові Python.

Висновки.

1. Описано математичну модель для аналізу точності розкладу руху автобусів з використанням теорії ймовірностей та математичної статистики.
2. Модель передбачає вимірювання фактичного часу в дорозі між зупинками та порівняння його з часом, передбаченим розкладом.
3. Модель можна використовувати для аналізу точності розкладу руху автобусів, виявлення потенційних порушень розкладу та визначення ймовірності цих порушень.
4. Досліджено вплив різних факторів на точність розкладу руху автобусів: умови руху, тип автобуса та поведінка водія, на точність розкладу руху.
5. Модель може бути використана для розробки стратегій підвищення надійності розкладу руху автобусів, наприклад, шляхом коригування розкладу руху автобусів з урахуванням дорожніх умов або шляхом надання водіям інформації про ситуацію на дорогах в режимі реального часу.

Список літератури

1. Ricarda L., Desaulniers G, Lodib A., Rousseau M. Predicting the probability distribution of bus travel time to move towards reliable planning of public transport services. Canada, Université de Montréal, 2021. С. 6. https://hanalog.ca/wp-content/uploads/2021/02/TT_prediction_Elsevier_V2.pdf
2. Аулін В.В., Голуб Д.В. Якість перевезень пасажирів як невід'ємна частина транспортного процесу. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2008. Вип.5, ч. 2. С. 80-84.
3. Аулін В. В., Голуб Д. В. Алгоритм визначення основних показників процесу перевезень міського транспорту з переважанням приватного транспорту. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля*. 2007. №7(125), ч. 2. С. 71- 75.
4. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень / Аулін В. В. та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. № 1. С. 4-10.
5. Аулін В. В., Голуб Д. В. Оцінка потенційного попиту на транспортні послуги та фактичної рухливості населення міста на основі соціологічно-маркетингового дослідження. *Економічні науки*. 2010. Вип. 17. С.300-307.
6. Король С.О., Король К.С. Методика оцінки якості організації дорожнього руху автобуса на маршруті. *ІННОВАЦІЇ: теорія і практика: Матеріали IV Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф., 11 жовтня 2023 р.* Кропивницький: Академія Прикладних наук.. 2023. С. 119-120.
7. Безпека дорожнього руху з урахуванням впливу фактора людини: монографія / Степанов О.В. та ін.; за заг. ред. О. В. Степанова. Харків, 2021. 288 с
8. Gershenson, L. A. Pineda. Why does public transport not arrive on time? The pervasiveness of equal headway instability. *PLoS one*. 2009. Vol. 4, Issue 10. P. 10. doi: 10.1371/journal.pone.0007292
9. Markevich A., Moroz, M., Moroz O., Vasylykovskiy O. Results of Social-Transport Monitoring of Passenger Transportation Kremenchuk City. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 2019. Col.2(33). Pp. 76-90.
10. Мороз М.М. Підвищення ефективності технологічного процесу транспортного обслуговування м. Кременчук. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. 2014;. № 43. С. 103– 109.

11. Левковець П.Р., Мороз М.М., Мороз О.В. Удосконалення перевезень пасажирів м. Кременчук. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. 2010. Вип. 7. С. 304–308.
12. Мороз М.М. Розробка заходів удосконалення маршрутної мережі громадського транспорту м. Кременчук на основі розподілу пасажиропотоку гравітаційним методом. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2015. № 2 (219). С. 44–49.
13. Moroz M. M., Korol S. O., Voiko Y. O. Social traffic monitoring in the city of Kremenchuk. *Actual Problems of Economics*. 2016. № 1 (175). С. 385 – 398.
14. Мороз М., Норцов О., Кальянов В. Підвищення ефективності системи міських пасажирських перевезень шляхом удосконалення розкладу руху транспортних засобів. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*: Матеріали XIII Міжнародної науковопрактичної конференції 17-19 листопада Кропивницький: ЦНТУ. 2021. С. 95.
15. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія / Аулін В.В. та ін. Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.

References

1. Ricard, L., Desaulniers, G., Lodi, A., & Rousseau, L.-M. (2021). Predicting the probability distribution of bus travel time to move towards reliable planning of public transport services. 1 [Université de Montréal]. Retrieved from https://hanalog.ca/wp-content/uploads/2021/02/TT_prediction_Elsevier_V2.pdf
2. Aulin, V. V., & Holub, D. V. (2008). Yakist' perevezen' pasazhyriv iak nevid'iemna chastyna transportnoho protsesu [Quality of passenger transportation as an integral part of the transport process]. *Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhajla Ostrohrads'koho - Bulletin of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, 5, 2, 80-84 [in Ukrainian].
3. Aulin, V. V., & Holub, D. V. (2007). Alhorytm vyznachennia osnovnykh pokaznykiv protsesu perevezen' mis'koho transportu z perevazhanniam pryvatnoho transport [Algorithm for determining the main indicators of the process of urban transport with a predominance of private transport]. *Visnyk Skhidnoukrains'koho natsional'noho universytetu im. Volodymyra Dalia - Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 7(125), 2, 71-75 [in Ukrainian].
4. Aulin, V. V. et al. (2020). Formuvannia pokaznykiv otsinky efektyvnosti transportnoho protsesu perevezen' [Formation of indicators for assessing the efficiency of the transport process of transportation]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transport - Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*, 1, 4-10 [in Ukrainian].
5. Aulin, V. V., & Golub, D. V. (2010). Otsinka potentsijnoho popytu na transportni posluhy ta faktychnoi rukhlyvosti naselennia mista na osnovi sotsiologichno-marketynhovoho doslidzhennia [Estimation of potential demand for transport services and actual mobility of the city population on the basis of sociological and marketing research]. *Ekonomichni nauky - Economic Sciences, Issue 17*, 300-307 [in Ukrainian].
6. Korol', S. O., & Korol', K. S. (2023). Metodyka otsinky iakosti orhanizatsii dorozhn'oho rukhu avtobusa na marshruti [Methodology for assessing the quality of bus traffic organization on the route]. In *Innovations: theory and practice: IV Mizhnar. nauk.-prakt. Internet-konf. (11 zhovtnia 2023 r.) - The IV International scientific and practical. Internet-conf.* (pp. 119-120). Kropyvnyts'kyj: Akademiia Prykladnykh nauk [in Ukrainian].
7. Stepanov, O. V., et al. (2021). *Bezpeka dorozhn'oho rukhu z urakhuvanniam vplyvu faktora liudyny [Kharkiv Road safety taking into account the influence of the human factor]*. Stepanov, O. V. (Eds). Kharkiv [in Ukrainian].
8. Gershenson, C., & Pineda, L. A. (2009). Why does public transport not arrive on time? The pervasiveness of equal headway instability. *PLoS ONE*, 4(10), 7292. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007292>
9. Markevich, A., Moroz, M., Moroz, O., & Vasylovskyi, O. (2019). Results of Social-Transport Monitoring of Passenger Transportation Kremenchuk City. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 2(33), 76-90.
10. Moroz, M.M. (2014). Pidvyschennia efektyvnosti tekhnologichnoho protsesu transportnoho obsluhovuvannia m. Kremenchuk [Increasing the efficiency of the technological process of transport service in Kremenchuk]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI» - Bulletin of the National Technical University "KhPI"*, 43, 103-109 [in Ukrainian].
11. Levkovets', P. R., Moroz, M. M., & Moroz, O. V. (2010). Udokonalennia perevezen' pasazhyriv m. Kremenchuk [Improvement of passenger transportation in Kremenchuk]. *Upravlinnia proektamy*,

- systemnyj analiz i lohistyka - Project management, system analysis and logistics*, 7, 304-308 [in Ukrainian].
12. Moroz, M. M. (2015). Rozrobka zakhodiv udoskonalennia marshrutnoi merezhi hromads'koho transportu m. Kremenchuk na osnovi rozpodilu pasazhyropotoku hravitatsijnym metodom. [Development of measures to improve the route network of public transport in Kremenchuk based on the distribution of passenger traffic by the gravitational method]. *Visnyk Skhidnoukrains'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalia - Bulletin of the East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl*, 2 (219), 44-49 [in Ukrainian].
 13. Moroz, M. M., Korol, S. O., & Boiko, Y. O. (2016). Social traffic monitoring in the city of Kremenchuk. *Actual Problems of Economics*, № 1 (175), 385-398.
 14. Moroz, M., Nortsov, O., & Kal'ianov, V. (2021). Pidvyschennia efektyvnosti systemy mis'kykh pasazhyrs'kykh perevezen' shliakhom udoskonalennia rozkladu rukhu transportnykh zasobiv [Increasing the efficiency of the urban passenger transport system by improving the timetable of vehicles]. *Problems of design, production and operation of agricultural machinery: XIII Mizhnarodna naukovopraktychnoa konferentsiia (17-19 lystopada 2021 r.) - The XIII International Scientific and Practical Conference (pp. 95)*. Kropyvnyts'kyj: TsNTU [in Ukrainian].
 15. Aulin, V. V. et al. (2017). *Metodolohichni i teoretychni osnovy zabezpechennia ta pidvyschennia nadijnosti funktsionuvannia avtomobil'nykh transportnykh system [Methodological and theoretical foundations of ensuring and improving the reliability of road transport systems]*. Kropyvnyts'kyj: Vydavnytstvo TOV "KOD" [in Ukrainian].

Dmytro Moloshtan, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Serhii Korol**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Kateryna Korol**, post-graduate

Kremenchuk National University named after Mykhailo Ostrogradskyi, Kremenchuk, Ukraine

Improvement of traffic organization and vehicle operation by means of mathematical and computer modeling

The intensive development of road transport requires further improvement of the efficiency of the management apparatus, improvement of its structure, introduction of economic and mathematical methods and automated control systems. The effectiveness of passenger transportation management depends on the information support of managers at each stage of management - planning, dispatching, regulating, accounting and analyzing transportation activities. This axiom of management requires managers of all ranks to implement and use certain information technologies (IT). The bus schedule is the main document that ensures the quality and degree of satisfaction of passengers' transportation needs, bus performance, and the organization of drivers' work.

The purpose of this research work is to develop a methodology for assessing the accuracy of a route bus's schedule and identifying problem areas along the route based on probability theory and mathematical statistics.

In addition, the route and schedule of the bus were analyzed and the organization of urban transportation was improved through the use of mathematical and computer modeling.

The article describes a mathematical model for analyzing the accuracy of bus schedules using probability theory and mathematical statistics. The model involves measuring the actual travel time between stops and comparing it with the time provided by the schedule. It also can be used to develop strategies to improve the reliability of bus schedules, for example, by adjusting bus schedules to reflect road conditions or by providing drivers with real-time information about the traffic situation. Finally, the impact of various factors on the accuracy of bus schedules, such as traffic conditions, bus type, and driver behavior, on the accuracy of bus schedules was investigated.

organization of road safety, vehicle operation, vehicles, transport technologies, transport

Одержано (Received) 22.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 31.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 656.01:658.286:656.13

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.204-218](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.204-218)

В.В. Аулін¹, проф., д-р техн. наук, **О.Л. Ляшук²**, проф., д-р техн. наук, **А.В. Гриньків¹**, ст. дослідник, канд. техн. наук, **О.П. Цьонь²**, доц., канд. техн. наук, **В.З. Гудь²**, проф., д-р техн. наук, **А.О. Головатий¹**, асп., **С.Ю. Тищенко¹**, асп., **А.А. Сергійчук¹**, асп.

¹ *Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*
e-mail: AulinVV@gmail.com

² *Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна*
e-mail: oleglashuk@ukr.net

Формування логістичної інформаційної системи ефективного управління транспортними і виробничими підприємствами

В статті розглянуто формування інформації та побудова на цій основі логістичної інформаційної системи ефективного управління транспортними і виробничими підприємствами. З'ясовано, що функціонування логістичної системи управління підприємством вимагає якісного інформаційного забезпечення, оскільки процес управління є послідовність актів прийняття рішень. Враховується досвід зарубіжних провідних підприємств, фірм, компаній, відносно проектування і стадій розвитку, а також методології впровадження на них модельних логістичних систем. Розглянуто рух матеріальних інформаційних потоків в системі логістичного управління на транспортно-виробничому підприємстві. Виділено сім управлінських функцій та з'ясовано їх зміст, типи систем та програмні продукти. Виявлено негативні та позитивні моменти в діяльності підприємств. З'ясовано адекватність формування інформаційних потоків на транспортному і виробничому підприємстві. Розглянуто типову декомпозицію структури інформаційної системи логістики і сформовані принципи (ефекти) побудови та визначені основні показники. Побудовано організаційну структуру з підсистемами: управління процедурами замовлення; наукові дослідження і зв'язки; підтримка логістичних рішень; генерування вихідних форм і заходів на виділеній системі операцій; побудована функціональна структура логістичної інформаційної системи. З'ясовано питання ролі і призначення інформації в ієрархії логістичних операцій. Запропоновані принципи організації логістичної інформації. Запропоноване удосконалена структура логістичної інформаційної системи на підприємстві та схема руху потоків.

логістична система, інформація, транспортне і виробниче підприємство, структура управління

Постановка проблеми. Серйозними проблемами на шляху до розвитку та ефективності функціонування транспортних і виробничих підприємств, фірм, компаній в Україні є: нестабільність зовнішнього середовища, нездатність конкурувати із зарубіжними фірмами, компаніями, підприємствами, відсутність сучасного інструментарію згладжування негативного впливу змін зовнішнього середовища на їх діяльність. Таким інструментарієм можуть бути інформаційні логістичні потоки, формування логістичної системи на підприємстві. Логістична система забезпечує управління рухом логістичних потоків різної природи. Функціонування такої системи дає фірмі, компанії, підприємству додаткові конкурентні переваги, дозволяє забезпечити належний рівень показників рентабельності і організаційно економічної стійкості.

Логістичне управління потребує структурного підходу до використання ресурсів і реалізацію постачальницько-виробничо-збутових процесів. При цьому фірма, компанія, підприємство розглядається як логістична система. При цьому здійснюється взаємозв'язок між споживачем, виробником продукції та послуг, а також постачальником ресурсів на

всіх етапах виробничо-збутового циклу.

Така логістична система обумовлює якісне інформаційне забезпечення. Процес управління представляється як сукупність прийняття рішень. Виявлення необхідності прийняття рішення залежить від інформаційного забезпечення. На цій основі формується набір альтернатив та уточнюються критерії прийняття рішень. Проводиться вибір методу прийняття рішення, додається оцінка альтернатив і здійснюється донесення прийнятого рішення до відповідних підсистем. Забезпечення всіх підсистем необхідною інформацією для здійснення логістичного управління. Такі функції може реалізувати тільки розвинена інформаційно-логістична система підприємства (ІЛСП), яка забезпечить логістичне управління логістичними інформаційними потоками.

На сьогоднішній день логістичне управління є системою управління рухом різних за природою і видів логістичних потоків. При цьому, актуальною є проблема створення підходу по організації і впровадженню ІЛСП на транспортних і виробничих підприємствах, фірмах, компаніях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основна проблема, з якою стикаються будь-яке транспортне або виробниче підприємство – це істотне зростання собівартості виробленої продукції або послуг через підвищення вимог споживачів до їх якості. При цьому, очевидно, що саме низька ціна є основною конкурентною перевагою у аналогічних виробів і послуг. Тому, одним із заходів організаційно економічної стійкості транспортних і виробничих підприємств є зниження собівартості послуг і виробів при збереженні їх споживчих властивостей. Це дозволяє закріпити і розширювати займану фірмами, компаніями, підприємствами нішу на ринку транспортних послуг і виробленої продукції [1,2].

Іншою проблемою стала втрата додаткової переваги послуг і виробів вітчизняного виробника у вигляді їх придатності до використання з іншими послугами і виробами. Це відображається на фоні сформованої системи стандартизації та практики уніфікації. У зв'язку з цим перед фірмами, компаніями, підприємствами постає нове завдання: необхідно випускати вироби і надавати послуги, уніфіковані із зарубіжними аналогами, і які відповідають міжнародним стандартам. Очевидно, що при цьому необхідно шукати шляхи зниження витрат на постачання, виробництво і збут продукції та надання сервісу.

Ці проблеми можливо вирішити шляхом формування логістично-інформаційних систем на підприємстві. Логістичне управління дозволяє значно скоротити запаси матеріалів, комплектуючих і готової продукції, що необхідно для процесів виробництва, постачання і збуту. Прискорюється і оборотність оборотного капіталу, знижується собівартість виробництва і витрати при дистрибуції. В таких умовах забезпечується найбільш повне задоволення споживачів за показниками якості продукції та рівня надання сервісу [3].

Європейська асоціація логістики стверджує, що застосування логістичного підходу дозволяє скоротити час виробництва товарів на 25%, знизити її собівартість до 30%, скоротити обсяги матеріально-технічних запасів на 30% та витрати на сервіс. Крім цього прибуток може збільшитись більш, ніж на 40% [4-6].

Аналіз провідних підприємств, фірм, компаній країн ЄС, США, Китаю та Японії виявив послідовні стадії розвитку логістичних систем [7-9]:

I стадія – характерна для підприємств, що виконують змінно-добові планові завдання. Вона є найменш досконалою. Для цієї стадії властиве наступне:

- підприємством виконуються функції організації виробництва, зберігання та транспортування продукції;
- при розподілі продукції враховуються коливання попиту та збої;

– ефективність роботи визначається за часткою витрат на транспортування, передусім операції транспортування.

На II стадії розвитку, логістичні системи характеризуються такими властивостями:

- повне охоплення та управління матеріальними потоками;
- контроль та обслуговування замовника, зберігання та управління запасами готової продукції, здійснення планування роботи на перспективу;
- якість логістичного управління оцінюється за фактичними витратами і витратами за кошторисом.

На III стадії розвитку логістичних систем здійснюється наступне:

- контроль за обсягом логістичних операцій;
- додатковий контроль за процесами закупівлі та доставки сировини, управління її запасами;
- проектування логістичної системи на підприємстві;
- логістичне управління планування.

На IV стадії проводиться на основі впровадження логістичної системи на підприємстві. Вона є найбільш досконалою. Такі логістичні системи мають наступні ознаки:

- здійснюється повне управління різними за природою логістичними потоками;
- наявна інтегрованість з операціями маркетингу, збуту, виробництва і фінансів;
- спостерігається інтегрованість логістичних операцій на основі довгострокового планування;
- функціонування логістичної системи реалізується на основі міжнародних стандартів.

Для розвинених західних країн логістичні системи I-ої стадії мають приблизно 57% фірм, компаній, підприємств системи, II-ої стадії - приблизно 20%, системи III і IV стадії – мають 23%.

В Україні на підприємствах, фірмах, компаніях, на яких впроваджено логістичне управління, але, як правило, використовуються логістичні системи I-ї стадії [10].

Розвиток логістичних систем призвів до розробки ряду мікрологістичних концепцій, створених, перш за все, для транспортних і виробничих підприємств. Вони базуються на стандартних типових моделях управління матеріальними потоками [10-12].

Розглянемо ряд вживаних на зарубіжних підприємствах стандартизованих методик логістичних систем [13-15]. Логістична система MPS (master planning scheduling) – забезпечує функцію об'ємно-календарного планування. Реалізація системи відбувається в наступній послідовності:

1. Формується планований обсяг реалізації продукції та послуг.
2. Формується план поповнення запасів продукції.
3. Оцінюються фінансові результати діяльності за фінансовими періодами або по періодах планування.

В той час, логістична модель MPS не враховує поповнення запасів і розрахована на невеликі підприємства.

Логістична система – SIC (statistical inventory control) – використовується для розрахунку точки замовлення. Вона визначає рівень складських запасів. У разі зниження запасів замовлення передається на поповнення запасів постачальниками. Модель ця динамічна і може враховувати сезонні зміни попиту на запаси та терміни поставки.

Виникає питання як доцільно організувати виробництва власними чи сторонніми силами реалізації логістичних операцій. Підвищуються вимоги до термінів поставки окремих комплектуючих. В результаті розроблена мікрологістична система MRP (material requirements planning), яка займається плануванням матеріальних ресурсів та вирішує завдання щодо замовлень на комплектуючі та вузли на основі

об'ємно-календарного планування. Аналогічна методологія CRP (capital resource planning) розроблена для планування виробничих потужностей.

Об'єднана система, що складається з логістичних систем MRP і CRP, отримала назву MRP II (manufacturing resource planning) – планування виробничих ресурсів. Разом з використовуваними на підприємствах використовуються автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП), системи автоматизованого проектування і розрахунку (САПР) та інші суміжні програми реалізації логістичної системи MRP II. Це дає суттєві результати.

В логістичній системі "планування-конфігурація" (multi-sites), коли склади, частини конвеєра рознесені територіально ускладнюють технологію доставки, збільшується при цьому час доставки та час реакції на замовлення. Більш досконалою системою планування ресурсів на підприємстві для цих випадків є логістична система ERP (enterprise resource planning). Логістична система ERP принципово відрізняється від системи MRPII перш за все відкритістю, мобільністю, реляційною базою даних та архітектурою клієнт/сервер.

Найбільш сучасною концепцією управління ресурсами підприємства орієнтоване на споживання, є логістична система CSRP (customer synchronized resource planning). Ця система, орієнтована на споживача. Система охоплює майже весь життєвий цикл виробництва продукції і надання послуг. Вона враховує не тільки витрати на виробництво, але й логістичні, сервісні та маркетингові витрати. При цьому покупцеві надається можливість впливати на процес виробництва і надавати послуги. Виробники отримують суттєві переваги систематичного уточнювання асортименту товарів і супутніх послуг. Вони отримують інформацію про нові перспективні ринки. Методи логістичної системи CSRP концентрують увагу з планування виробництва на планування замовлень покупця.

Подальша еволюція логістичних систем повинна враховувати основні тенденції економіки підприємства: подальше поглиблення спеціалізації в промисловості; зростання конкуренції і поява нових підходів у співпраці; більш ефективне використання інформаційних технологій; впровадження гнучкого виробничого обладнання, що дозволяє швидко переходити на виробництво нових видів продукції; підвищення невизначеності у зовнішньому середовищі. Це вимагає від логістичних систем, впроваджених на виробництві, створення нових конкурентних переваг та високого рівня адаптації до змін зовнішнього середовища, зростання інтенсивності і складності матеріальних та інформаційних потоків, скорочення числа ланок логістичного ланцюга, зменшення запасів у виробництві та дистрибутивних мережах, посилення інтегрує функції на підприємстві [16-18].

В Україні традиційно під логістикою на підприємствах розуміють або транспортну логістику, або набір окремих логістичних функцій з управління складськими господарствами [19-21]. Найбільш поширені логістичні системи на підприємствах оптової і роздрібною торгівлі. Зростає число компаній, що надають логістичні послуги на різні варіанти вантажних перевезень, з урахуванням безпеки вантажів, організацію та експедирування експортно-імпортних вантажів, організацію митної обробки вантажів, здачу в оренду складських площ і обладнання, модернізацію складського господарства, забезпечення надійного обліку товару. Оскільки, транспортні системи на більшій частині виробничих підприємствах відсутні, а в окремих випадках присутні системи управління складськими запасами. Ці системи базуються на класичній концепції логістики [22-25].

Впровадження програмних продуктів, що підтримують інформаційні системи управління підприємством, обумовлює створення інтегрованих модулів логістичного

управління [26-28]. Для них характерне використання неологістичної концепції [29,30].

Метою роботи є розробка методології створення та впровадження логістичної системи на транспортних і виробничих підприємствах, що забезпечує підвищення їх організаційно-економічної стійкості адаптацією в реальному режимі часу і змін зовнішнього середовища, прийняття та реалізації логістичних рішень.

Для реалізації поставленої мети в роботі вирішуються наступні завдання:

1. З'ясування сучасного стану організації інформаційно-логістичного забезпечення транспортних і виробничих підприємств.
2. Побудова організаційно-функціональної структури інформаційно-логістичної системи на транспортних і виробничих підприємствах.

Виклад основного матеріалу. Інструментом для інформаційного забезпечення функціонування логістичних систем на підприємствах є спеціальні програмні продукти, що підтримують процеси збору, обробки, накопичення, аналізу інформації про рух матеріальних та інформаційних потоків протягом усього постачальницько-виробничо-збутового циклу і прийняття управлінських рішень. Комп'ютерні системи і технології, що здійснюють функцію інформаційно-логістичного забезпечення, як правило, не виділені в окремий програмний продукт, а є лише частиною корпоративних інформаційних систем (КІС) або інформаційних систем логістичного управління транспортно-виробничим підприємством (ІСЛУТВП) [31].

Якість інформаційного забезпечення процесів логістичного управління, що здійснюється КІС або ІСЛУТВП залежить від ряду факторів: країна-розробник КІС або ІСЛУТВП; рівень розвитку програмних засобів (ПЗ), що підтримують процес планування логістичних процесів і пов'язаних з ними ресурсів; повнота складу управлінських функцій, які підтримує ця система, і розвиненість реалізують їх ПЗ; масштаби комп'ютерної системи і ступінь спеціалізації ПЗ на певних типах і видах виробництва

Базова схема руху логістичного управління на підприємстві представлена на рисунку 1.

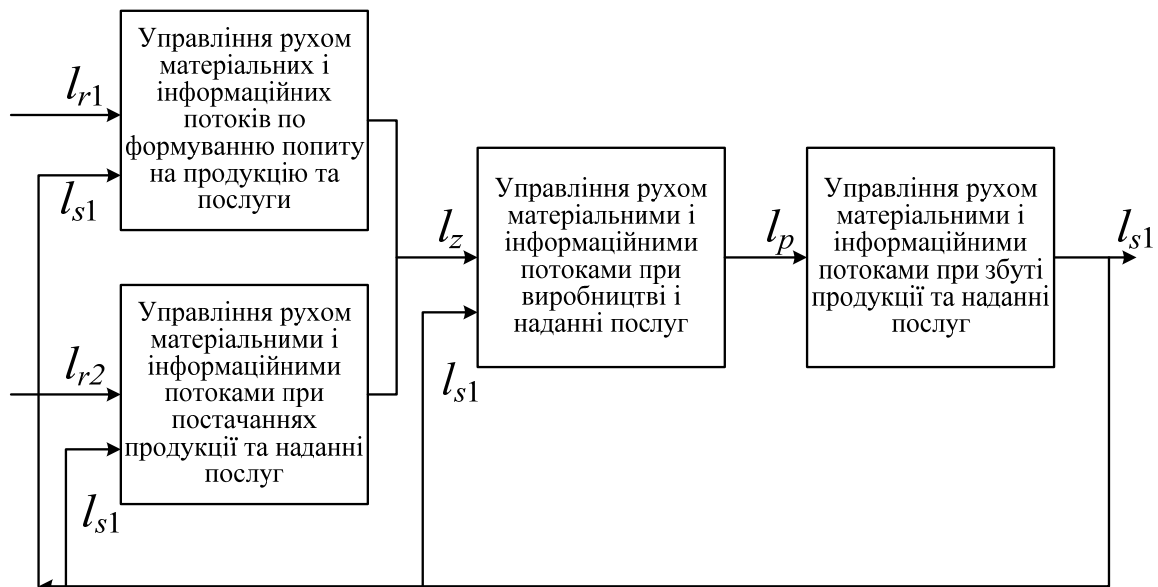


Рисунок 1 – Блок-схема руху матеріальних та інформаційних потоків в системі логістичного управління транспортно-виробничим підприємством: інформація про l_{r1} – попит на продукцію або послуги; l_{r2} – ринок постачальників продукції та послуг; l_{s1} – збут продукції та надання послуг; l_p – виробництво продукції та надання послуг; l_z – замовлення на продукцію або послуги відповідно

Джерело: розроблено авторами

Планування здійснюється в рамках кожного з блоків управління представленого контуру. Різні системи в різному ступені дають можливість здійснювати багаторівневе планування логістичної діяльності на підприємстві. Для цього необхідне здійснення належного інформаційно-логістичного забезпечення.

Повнота складу управлінських функцій, які підтримує ця логістична система, і її розвиненість реалізують ПЗ. Ступінь повноти складу управлінських функцій, підтримуваних як ІСЛУТВП в цілому, і розвиненість цих цінностей оцінюється шляхом виявлення повноти реалізації відомої з методології концептуального аналізу моделі цілеспрямованої логістичної системи, центром якої є керований процес. Це може бути рух матеріального та інформаційного потоку в виробничому процесі, в процесі управління поставками, або процесі управління збутом та наданні послуг. Важливо, що при цьому завжди реалізується логістична система управлінських функцій.

Перша управлінська функція – це спостереження за поточним результатом (по виходу керованого процесу), якщо мова йде про логістику постачання. Опис стану – це складання звіту про кількість виробів та обсяг надання послуг. Далі функція йде до зіставлення фактичного результату з метою (планом поставок). Третя функція полягає у зіставленні плану-факту. Четверта функція виявляє відмінності. В найпростішому варіанті береться різниця між кількостями і з'являється відповідна графа звіту, що показує виконання, невиконання або перевиконання плану. П'ята функція присвячена виробленню рішень про те, яких заходів слід вжити, щоб усунути наявні відхилення. Шоста функція – це рішення, яке перекладається в керуючий вплив: формується наказ, розпорядження, нормативний документ або, в найпростішому випадку просто видається сигнал до дії. І, нарешті, сьома функція – це введення наказу або розпорядження в керований процес, тобто функція, яка передається виконавцю. ІСЛУТВП концепції ERP, як правило, підтримують повний управлінський контур або тяжіють до нього. В цьому і полягає головна відмітна особливість. У більшості вітчизняних систем переважають облікові функції. До облікових відносяться три функції: опис стану, порівняння з метою і виявлення причини відхилення.

В даний час розроблені і реалізовані на практиці ІСЛУТВП відносяться до одного з двох типів:

- системи, які є усіченим варіантом в рамках однієї з функціональних областей логістики на підприємстві (система управління виробничими запасами або збутом);
- системи, що здійснюють функції інформаційно-логістичного забезпечення в рамках загальної інформаційної системи управління транспортно-виробничим підприємством.

Негативним моментом систем першого типу є: їх орієнтація, в основному, на комерційну діяльність, їх закритість для користувача і відсутність інтегрованого підходу до проблем логістики, який має забезпечити основну частину економії витрат. Це дозволяє впровадити узгодження рішення конфліктуючих завдань й добитися скорочення вузьких місць.

До систем другого типу відносяться всі корпоративні системи-оболонки з управління транспортно-виробничим підприємством в цілому. Вони пропонуються у вигляді ряду модулів в окремих функціональних або процесних областях діяльності підприємства та інтеграції модулів в єдину систему.

Програмні продукти розробників провідних зарубіжних країн підтримують діяльність транспортно-виробничого підприємства в різних галузях промисловості. Вони дають можливість охопити різні типи виробництва та реалізують мікрологістичні концепції: MRP, MRPII, ERP. Українські системи логістичного управління є більш універсальними і масштабованими для всіх видів виробництва, реально підтримують тільки ранні мікрологістичні концепції (МЛК). Негативними сторонами зазначених

програмних продуктів є:

- велика вартість придбання і впровадження;
- відсутність гарантії успішного впровадження;
- складнощі з налаштуванням відповідно до специфіки виробничо-господарської діяльності конкретного підприємства;
- труднощі при формулюванні початкових вимог до налаштування системи;
- відсутність у користувача загального уявлення про те, як працює система, чому приймаються ті чи інші рішення;
- відсутність у більшості управлінців знань в області логістичного управління.

Пропонуються елементи побудови ІСЛУТВП. Зазначимо, що ІСЛУТВП забезпечує функціонування інформаційних потоків в системі логістичного управління підприємством. Логістична інформація використовується для прийняття рішень.

Формування інформаційних потоків на транспортно-виробничому підприємстві передбачає реалізацію наступних двох принципів:

- дані повинні збиратися максимально до ділянки виробничо-збутової діяльності;
- дані повинні надаватися у вигляді, можливого для їх перетворення і зіставлення.

Логістичні інформаційні потоки в ІСЛУТВП потрібно формувати так, щоб відповідати на наступну сукупність питань:

1. У чому полягає сутність і необхідність логістичної інформації?
2. Чи внутрішня інформація повна і достовірна, і можливо на неї розраховувати?
3. Як отримати дані зовнішньої інформації і чи можна ефективно використати її відображення?
4. Як використання техніки, кадрів і ресурсів впливає на створення і використання інформаційних потоків?
5. У чому полягає сутність вимог до ступеня оперативності одержуваної інформації та її довговічності?

Логістичні інформаційні потоки в ІСЛУТВП повинні мати наступні властивості:

- взаємодіяти один з одним;
- бути взаємопов'язаними та мати причинно-наслідкові зв'язки;
- бути впорядкованими із визначенням ієрархії підпорядкованості і систематизованості взаємозв'язку;
- володіти властивістю інтегративності.

На основі зазначеного розроблена типова структурна декомпозиція ІСЛУТВП, схема якої наведена на рисунку 2.

При цьому, інформаційні процеси на підприємстві мають наступні різновиди: цілепокладання; планування; регулювання.

В ІСЛУТВП незалежно від ступеня комп'ютеризації документується вхідна і вихідна інформації осіб, моніторинг. Виділяються інформаційні компоненти, які формуються на кожному з етапів виробничо-збутової діяльності транспортно-виробничого підприємства.

ІСЛУТВП містить наступні основні принципи: зворотного зв'язку; запізнювання; коефіцієнт посилення; синергійний ефект.

Інформація про створення ІСЛУТВП відображається в управлінських рішеннях, а рішення визначають динаміку розвитку подій. Наявний замкнутий логістичний контур самої системи. Так цьому набору правил і алгоритмів, повинен відповідати у відповідність змінам інформації. Зазначимо також, що управління, може мати, як позитивний, так і негативний загальний ефект.

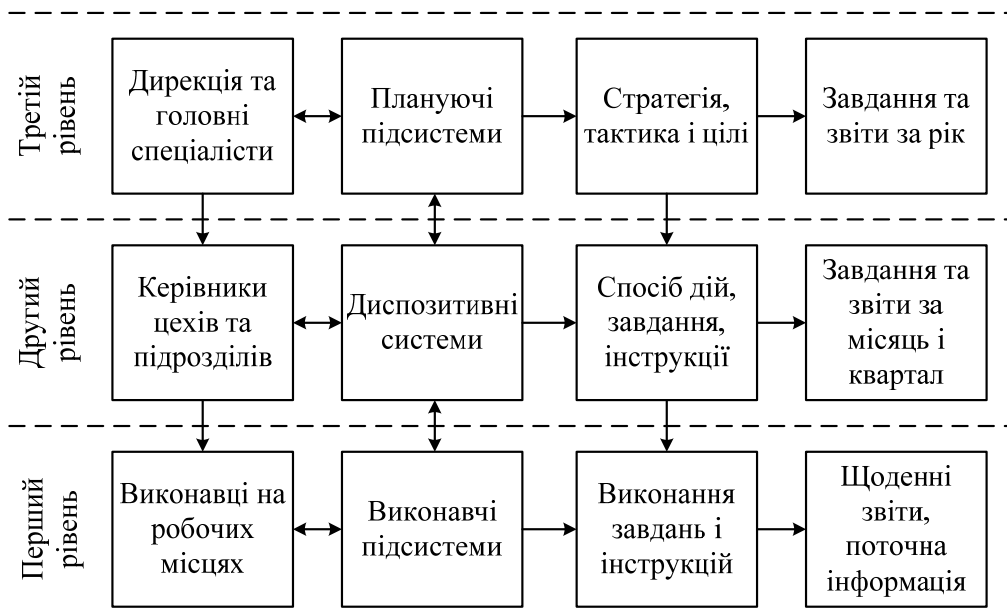


Рисунок 2 – Схема типової декомпозиції структури інформаційної системи логістичного управління транспортно-виробничим підприємством

Джерело: розроблено авторами

Основне призначення елементів ЛІС полягає в підтримці функціонування системи логістичного управління на підприємстві, й реалізації функцій планування, регулювання і контролю. Розроблені організаційна (рис. 3) і функціональна (рис. 4) структури ЛІС.

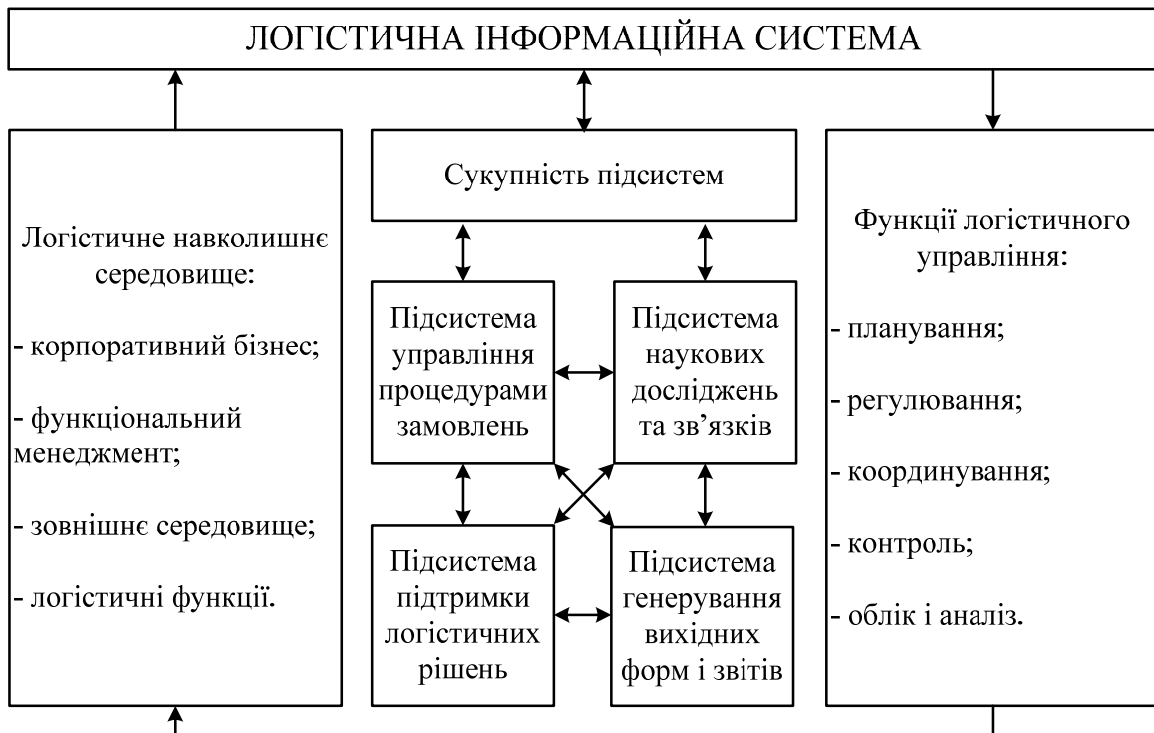


Рисунок 3 – Розроблений варіант організаційної структури ЛІС на транспортно-виробничому підприємстві

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 4 – Варіант функціональної структури логістичної інформаційної системи на підприємстві
 Джерело: розроблено авторами

Можна бачити, що організаційна структура ЛІС (рис.3) включає в себе чотири підсистеми, які взаємодіють між собою і складають сукупність підсистем на транспортно-виробничому підприємстві.

Що стосується функціональної структури ЛІС (рис. 4), то, в основі, покладено систему транзакцій між ланками логістичної системи, яка визначає взаємодію і зв'язок між функціональними підрозділами транспортно-виробничого підприємства, логістичними посередниками і споживачами продукції і послуг. Запропонований варіант функціональної структури ЛІС містить системні характеристики і цілі транспортно-виробничого підприємства для різних організаційних рівнів функціональної його структури.

Щодо розробки логістичної систем управління на транспортно-виробничому підприємстві пропонується ряд теоретичних положень. ЛІС обслуговує чотири рівні ієрархії логістичних операцій, для кожного рівня формується свій обсяг інформаційного забезпечення. В ієрархії логістичних операцій представлено схему призначення інформації (рис.5).

На ній всередині піраміди, розділеної на рівні ієрархії логістичних операцій, вказані логістичні операції, що здійснюються на кожному рівні.

Запропоновані наступні принципи організації логістичної інформації:

- доступність: простота і легкість отримання логістичної інформації;
- точність: логістична інформація повинна відображати дійсність;
- своєчасність: логістична інформація повинна своєчасно відобразитися в ЛІС;
- виявлення виняткових ситуацій: в ЛІС повинна бути закладена можливість оповіщення менеджерів про критичні ситуації;
- гнучкість: повинна задовольняти запити як користувачів, так і клієнтів;
- відповідне оформлення: інформація повинна бути представлена в необхідній для споживача формі.

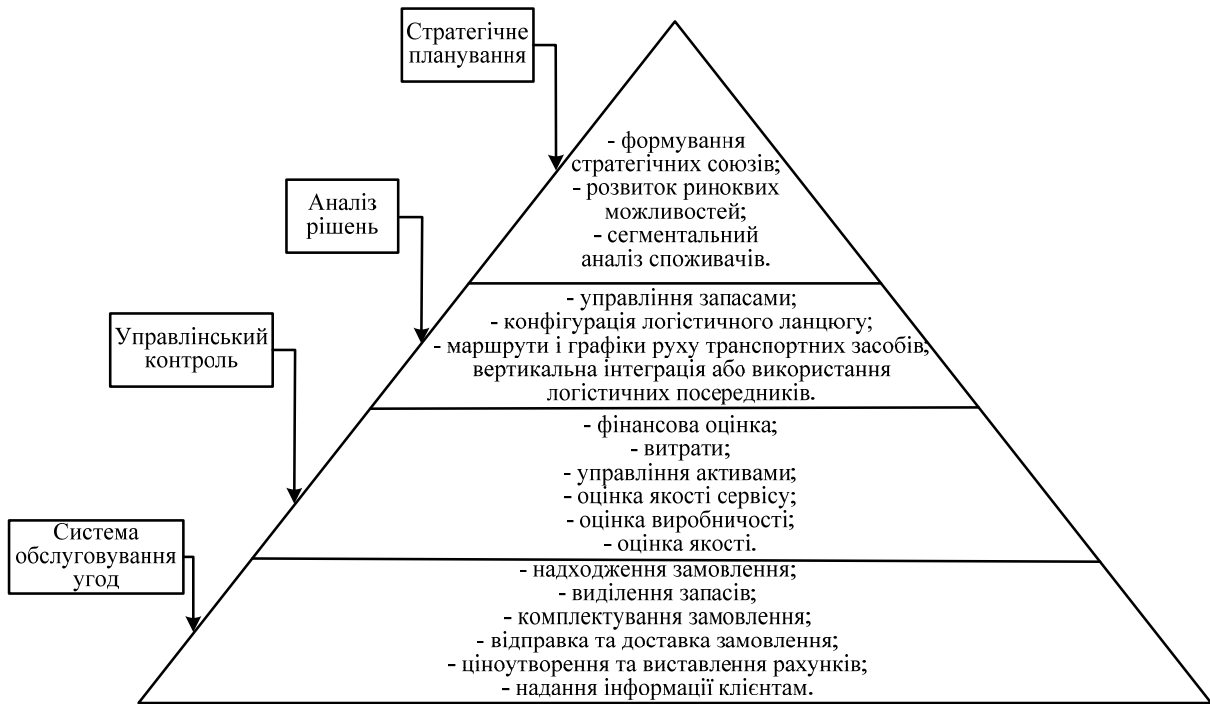


Рисунок 5 – Призначення інформації в ієрархії логістичних операцій, реалізованої на підприємстві

Джерело: розроблено авторами

Пропонується удосконалена структура ЛІС (рис. 6).

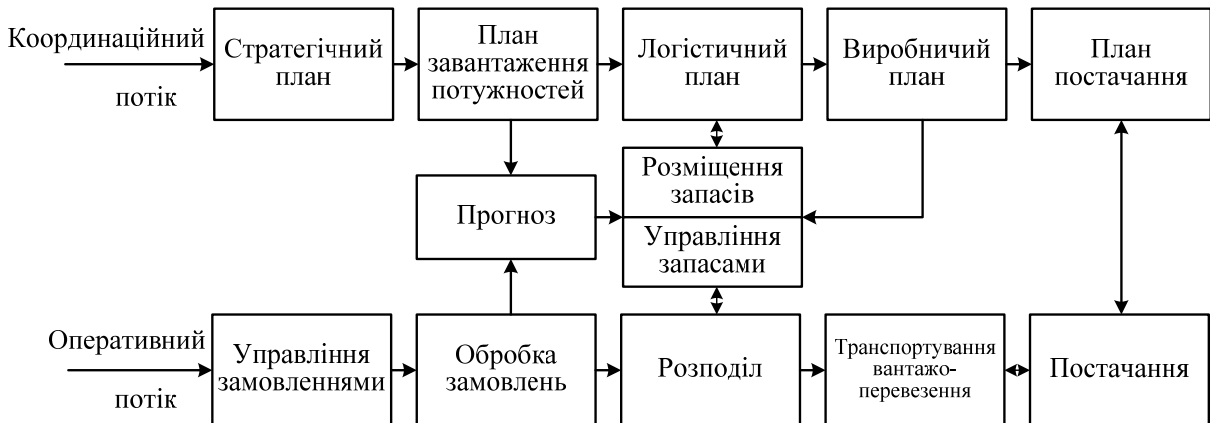


Рисунок 6 – Удосконалена структура логістичної інформаційної системи управління на підприємстві

Джерело: розроблено авторами

Вона включає дві підсистеми: планування / координації та оперативної діяльності.

До удосконаленої структури ЛІС на підприємстві можна додати схему руху потоків логістичної інформації (рис. 7).

На підставі запропонованої базової організаційно-функціональної схеми ЛІСУТВП і розробленого методу організації ЛІСУТВП можливо розробити комплексну модель процесу організації та впровадження ЛІСУТВП, що має включати наступні елементи:

- алгоритм організації інформаційно-логістичної системи на транспортно-виробничому підприємстві;
- організаційні принципи і алгоритм впровадження інформаційно-логістичної

системи управління на транспортно-виробничому підприємстві;

- процес зміни організаційної структури підприємства здійснюється за умови впровадження на ньому інформаційно-логістичної системи.

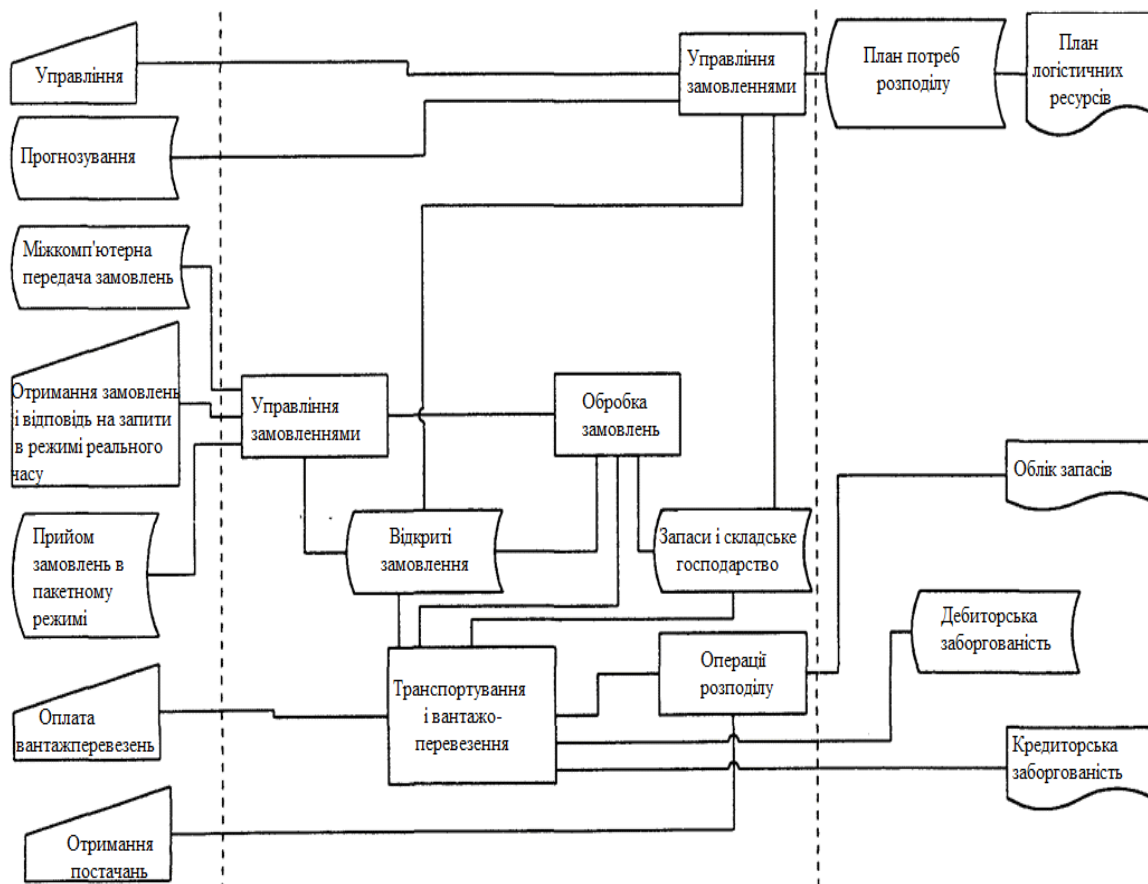


Рисунок 7 – Схема руху потоків логістичної інформації на підприємстві:

□ – звіти; □ – модулі; □ – файли даних; □ – управління і введення даних

Джерело: розроблено авторами

Для того, щоб розроблена для конкретного транспортно-виробничого підприємства інформаційно-логістична система управління почала функціонувати і здійснювати інформаційно-логістичне забезпечення його діяльності, створити робочу групу і розробити відповідний проєкт впровадження з дотриманням організаційних принципів і розробки основних заходів по його реалізації.

Висновки.

1. Проаналізовані стан стадії розвитку логістичних інформаційних систем на транспортних і виробничих підприємствах та дана їх методологія формування. Виявлено, що найбільш поширеними з них в зарубіжній практиці є: MPS, SIC, MRP, CRP, MRP II, CSRP.

2. Визначено, що інструментом інформаційного забезпечення є спеціальні програмні продукти, а комп'ютерні системи і технології здійснюють функцію інформаційно-логістичного забезпечення, що є частиною корпоративних інформаційних систем або інформаційних систем логістичного управління транспортно-виробничим підприємством. З'ясовано сукупність факторів, від яких залежить якість інформаційного забезпечення.

3. Розглянуто основні управлінські функції, їх зміст та роль в інформаційній системі логістичного управління на транспортно-виробничому підприємстві. Визначено позитивні і негативні моменти інформаційної системи логістичного управління на транспортних і виробничих підприємствах.

4. Розроблено методику побудови інформаційної системи логістичного управління транспортними і виробничими підприємствами та визначено сукупність їх елементів, інформаційні процеси та логістичні інформаційні потоки. Запропонована типова структурна декомпозиція такої системи та її організаційна і функціональна структура.

5. Теоретично обґрунтовано запропоновану логістичну інформаційну систему управління на підприємстві, визначено чотири рівні ієрархії логістичних операцій та з'ясовано призначення інформації в цій ієрархії. На основі цього запропоновано удосконалену структуру логістичної інформаційної системи управління та схему руху логістичних інформаційних потоків на транспортних і виробничих підприємствах, фірмах і компаніях.

Список літератури

1. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем: монографія / під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. 503 с.
2. Алькема В.Г. Розвиток мікрологістичних систем та методика його оцінювання. *Логістика: теорія та практика*. 2012. № 1(2). С. 5-11.
3. Бабій І.В. Трансформація парадигми виробничих систем в умовах становлення інноваційної економіки. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2010. № 4, т. 2. С. 132-136.
4. Ballou, R.H. (2007) The evolution and future of logistics and supply chain management. *European Business Review*. 19(4): 332-348.
5. Biniasz D. Logistyka dystrybucji u dostawcy przemysłowego: studium przypadku. *Logistyka*. 2015. № 3. P. 404-412.
6. Brix-Asala, C. Hahn R. Seuring S. Reverse logistics and informal valorisation at the Base of the Pyramid: A case study on sustainability synergies and trade-offs. *European Management Journal*. Vol. 34. № 4. 2016. P. 414-423.
7. Bujak A., Gubskaya N. Innovations and changes in the logistics tasks implementations. *Zeszyty Naukowe Wydziałowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*. 2012. P. 45-58.
8. Juan A. Electric vehicles in logistics and transportation: A survey on emerging environmental, strategic, and operational challenges. *Energies*. 2016. Vol. 9.
9. Rakovska M. The impact of strategy and logistics on performance: a methodological framework. *Research in logistics and production*. 2013. Vol. 3, № 3. P. 213-223.
10. Крикавський Є.В. Логістичне управління: Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2005. 684 с.
11. Пальчик І.М. Логістичне управління підприємством – теоретико-методичний аспект. *Ефективна економіка*. 2014, № 10. URL.: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3442> (дата звернення: 16.06.2024).
12. Поспелов О.М. Організація логістичного управління діяльністю підприємства: дис. ... канд. екон. наук. ХНЕУ. Харків, 2009. 279 с.
13. Сумець О.М. Організаційне проектування логістичної системи підприємства. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. № 6(177). Ч.2. 2012. С. 76-81.
14. Тридід О. М., Логістика : монографія. Київ : Знання. 2008. 566 с.
15. Якименко Н. В. Застосування логістичного підходу в діяльності транспортної системи. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2014. № 45. С. 259-262.
16. Городко М.В. Передумови та закономірності використання логістичного менеджменту. *Економіка та держава*. 2017. № 8. С. 80-83.
17. Величко О.П. Формування логістичних систем в сучасному агробізнесі України. *Економіка та держава*. 2011. № 12. С. 63-65.
18. Manufacturing and Logistics IT, 1463-1172 / Interactive Business Communications, Ltd., – UK: Latimer House, February 2008. 68 p.

19. Сумець О.М. Теоретико-методологічні засади логістичної діяльності підприємств агропродовольчого комплексу: монографія. Харків: Друкарня Мандрид, 2015. 544 с.
20. Кравченко М.О. Формалізація концепції економічної стійкості підприємства з позицій системно-структурної економічної теорії. *Економіка та держава*. 2015. № 12. С. 31-34.
21. Денисенко М. П. Організація та проектування логістичних систем: монографія. Київ: Центр учбової літератури. 2010. 336 с.
22. Григорак М.Ю. Інноваційна логістика: концепції, моделі, механізми. Київ: НАУ, 2015. С. 31-68.
23. Волков В.П., Горшкова Л.А. Логістика: гносеологія, генезис, адаптація: монографія. Запоріжжя: ЗНУ, 2014. 235 с.
24. Аулін В.В., Солових А.Є., Дігтяр Б. Економіко-математичне моделювання процесів управління підприємством в умовах господарського ризику і невизначеності. *Наук. праці КДТУ. Екон. науки*. 2000. Вип.8. С.151-156.
25. Галицин В.К., Суслов О.П., О.В. Галицина, Н.К. Самченко. Структурно-функціональний аналіз та моделювання розвитку економіки: монографія, Київ: КНЕУ, 2013. 377 с. URL:: https://kneu.edu.ua/ua/science_kneu/scientific_schools/sim/sim_praci/sim_prazi/sfatmre/ (дата звернення: 16.06.2024).
26. Андрушкевич З.М. Маркетинг-логістичне забезпечення діяльності машинобудівних підприємств: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: спец. 08.00.04 "Економіка та управління підприємствами". Хмельницький, 2011. 20 с.
27. Аулін В.В., Великодний Д.В. Основні фактори планування та оцінка ефективності транспортно-логістичних систем в АПК. *Перспективні напрями розвитку регіональних транспортних та логістичних систем: 2018 рік*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 22-23 травня 2018 р. Харків: ХНАДУ, 2018. С.113-116.
28. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортно-логістичній системі АПК. *Наукові нотатки*. 2018. №62. С.8-11.
29. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В. Методологічний підхід до визначення рівня якості функціонування транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2018. №1(7). С. 49.
30. Устенко М. О., Івашкевич В. С. Перспективи розвитку транспортно-логістичних систем України. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2017. № 59. С. 84-90.
31. 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: 2020 рік*: матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.207.

References

1. Aulin, V.V. (Eds). (2021). *Teoretychni i metodolohichni osnovy lohistyky transportnykh i vyrobnychkh system: monohrafiia* [Theoretical and methodological foundations of the logistics of transport and production systems: monograph]. Kropyvnytskyi: Vydavets Lysenko V.F. [in Ukrainian].
2. Alkema, V.H. (2012) Rozvytok mikrolohistychnykh system ta metodyka yoho otsiniuvannia [Development of micrologistics systems and its evaluation method]. *Lohistyka: teoriia ta praktyka - Logistics: theory and practice, № 1(2)*, 5-11 [in Ukrainian].
3. Babii, I.V. (2010) Transformatsiia paradyhmy vyrobnychkh system v umovakh stanovlennia innovatsiinoi ekonomiky [Transformation of the paradigm of production systems in the conditions of the formation of an innovative economy]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu - Bulletin of the Khmelnytskyi National University, № 4, 2*, 132-136 [in Ukrainian].
4. Ballou, R.H. (2007). The evolution and future of logistics and supply chain management. *European Business Review*. 19(4): 332-348 [in English].
5. Biniasz, D. (2015). Logistyka dystrybucji u dostawcy przemysłowego: studium przypadku. *Logistyka*. № 3. P. 404-412 [in English].
6. Brix-Asala, C. Hahn, R. Seuring, S. (2016). Reverse logistics and informal valorisation at the Base of the Pyramid: A case study on sustainability synergies and trade-offs. *European Management Journal*. Vol. 34. № 4. P. 414-423 [in English].
7. Bujak, A., Gubskaya, N. (2012). Innovations and changes in the logistics tasks implementations. *Zeszyty Naukowe Wydziałowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*P. 45-58 [in English].
8. Juan, A. (2016). Electric vehicles in logistics and transportation: A survey on emerging environmental, strategic, and operational challenges. *Energies*. Vol. 9 [in English].
9. Rakovska, M. (2013). The impact of strategy and logistics on performance: a methodological

- framework. *Research in logistics and production*. Vol. 3, № 3. P. 213-223 [in English].
10. Krykavskiy, Ye.V. (2005) *Lohistychnе upravlinnia [Logistics management]*: Lviv: Vyd-vo Nats. un-tu "Lvivska politekhnikha", 684 s [in Ukrainian].
 11. Palchyk, I.M. (2014). Lohistychnе upravlinnia pidpriemstvom – teoretyko-metodychnyi aspekt [Logistics management of the enterprise - a theoretical and methodological aspect]. *Efektivna ekonomika - Electronic edition Effective economy.*, № 10. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3442> (data zvernennia: 16.06.2024) [in Ukrainian].
 12. Pospelov, O.M. (2009). Orhanizatsiia lohistychnoho upravlinnia diialnistiu pidpriemstva [Organization of logistics management of enterprise activities]. *Candidate's thesis*. KhNEU. Kharkiv. [in Ukrainian].
 13. Sumets, O.M. (2012). Orhanizatsiine proektuvannia lohistychnoi systemy pidpriemstva [Organizational design of the logistics system of the enterprise]. *Visnyk Skhidnoukrajnskoho natsionalnogo universytetu imeni Volodymyra Dalia - Bulletin of the East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl*, № 6(177), 2, 76-81 [in Ukrainian].
 14. Trydid, O. M. (2008). *Lohistyka [Logistics]*. Kyiv : Znannia [in Ukrainian].
 15. Iakymenko, N.V. (2014). Zastosuvannia lohistychnoho pidkhodu v diialnosti transportnoi systemy [Application of the logistic approach in the activity of the transport system]. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti - Herald of the economy of transport and industry*, 45, 259-262 [in Ukrainian].
 16. Horodko, M.V. (2017). Peredumovy ta zakonmirnosti vykorystannia lohistychnoho menedzhmentu [Prerequisites and regularities of the use of logistics management]. *Ekonomika ta derzhava - Economy and the state*, 8, 80-83 [in Ukrainian].
 17. Velychko, O.P. (2011). Formuvannia lohistychnykh system v suchasnomu ahrobiznesi Ukrainy [Formation of logistics systems in modern agribusiness of Ukraine]. *Ekonomika ta derzhava - Economy and the state*, 12, 63-65 [in Ukrainian].
 18. Manufacturing and Logistics IT, 1463-1172 / Interactive Business Communications, Ltd., – UK: Latimer House, February 2008. – 68 p[in English].
 19. Sumets, O.M. (2015). *Teoretyko-metodolohichni zasady lohistychnoi diialnosti pidpriemstv ahroprodovolchoho kompleksu: monohrafiia [Theoretical-methodological foundations of logistics activities of enterprises of the agro-food complex]*. Kharkiv: Drukarnia Mandryd [in Ukrainian].
 20. Kravchenko, M.O. (2015). Formalizatsiia kontseptsii ekonomichnoi stiikosti pidpriemstva z pozytsii systemno-strukturnoi ekonomichnoi teorii [Formalization of the concept of economic sustainability of the enterprise from the standpoint of systemic and structural economic theory]. *Ekonomika ta derzhava - Economy and the state*, 12, 31-34 [in Ukrainian].
 21. Denysenko, M. P. (2010). *Orhanizatsiia ta proektuvannia lohistychnykh system [Organization and design of logistics systems]*. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury [in Ukrainian].
 22. Hryhorak, M.Iu. (2015). Innovatsiina lohistyka: kontseptsii, modeli, mekhanizmy [Innovative logistics: concepts, models, mechanisms]. *Kyiv: NAU - Kyiv: NAU*. 31-68 [in Ukrainian].
 23. Volkov, V.P. & Horshkova, L.A. (2014). *Lohistyka: hnoseolohiia, henezys, adaptatsiia [Logistics: epistemology, genesis, adaptation]*. Zaporizhzhia: ZNU [in Ukrainian].
 24. Aulin, V.V., Solovykh, A.Ie. & Dihtiar, B. (2000). Ekonomiko-matematychne modeliuvannia protsesiv upravlinnia pidpriemstvom v umovakh hospodarskoho ryzyku i nevyznachenosti [Economic-mathematical modeling of enterprise management processes under conditions of economic risk and uncertainty]. *Nauk. pratsi KDTU. Ekon. nauky - Science works of KDTU. Econ. Science*, 8, 151-156 [in Ukrainian].
 25. Halytsyn, V.K., Suslov, O.P., Halytsyna, O.V. & Samchenko, N.K. (2013). Strukturno-funktsionalnyi analiz ta modeliuvannia rozvytku ekonomiky: monohrafiia [Structural and functional analysis and modeling of economic development: monograph], Kyev: KNEU. Retrieved from: https://kneu.edu.ua/ua/science_kneu/scientific_schools/sim/sim_praci/sim_prazi/sfatmre [in Ukrainian].
 26. Andrushkevych, Z.M. (2011). Marketynh-lohistychnе zabezpechennia diialnosti mashynobudivnykh pidpriemstv [Marketing and logistics support of machine-building enterprises]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Khmelnytskyi [in Ukrainian].
 27. Aulin, V.V. & Velykodnyi, D.V. (2018). Osnovni faktory planuvannia ta otsinka efektyvnosti transportno-lohistychnykh system v APK [The main factors of planning and evaluation of the efficiency of transport and logistics systems in the agricultural sector]. Prospective directions for the development of regional transport and logistics systems: *Mizhnarodna naukovo-praktychna konf. (22-23 travnia 2018 r) - International Scientific and Practical Conf. (pp. 113-116)*. Kharkiv: KhNADU. [in Ukrainian].
 28. Aulin, V.V., Velykodnyi, D.O. & Diachenko, V.O. (2018). Optymizatsiia i upravlinnia resursamy v

- transportno-lohistychnii systemi APK [Optimization and management of resources in the transport and logistics system of the agricultural industry]. *Naukovi notatky - Scientific notes*, 62, 8-11 [in Ukrainian].
29. Aulin, V.V., Holub, D.V. & Bilichenko, V.V. (2018). Metodolohichni pidkhid do vyznachennia rivnia yakosti funktsionuvannia transportnykh system [Methodological approach to determining the level of quality of functioning of transport systems]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu - Herald of mechanical engineering and transport*, 1(7), 49 [in Ukrainian].
30. Ustenko, M.O. & Ivashkevych, V.S. (2017). Perspektyvy rozvytku transportno-lohistychnykh system Ukrainy [Prospects for the development of transport and logistics systems of Ukraine]. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti - Herald of the economy of transport and industry*, 59, 84-90 [in Ukrainian].
31. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V. & Holovaty, A.O. (2020). Intelektualni transportni systemy yak rezultat vprovadzhennia innovatsiinykh efektyvnykh tekhnolohii [Intelligent transport systems as a result of the implementation of innovative effective technologies]. Increase of Machine and Equipment Reliability: Mizhnarodna naukovo-praktychna konf. (15-17 kvitnia 2020 r.) - *International Scientific and Practical Conf.* (p.207). Kropyvnytskyi : TsNTU. [in Ukrainian].

Victor Aulin¹, Prof., DSc., **Oleg Lyashuk**², Prof., DSc., **Andrii Hrynkiv**¹, St. researcher, Ph.D. tech. sci., **Oleg Tsyon**², Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Victor Hud**², Prof., Dr. tech. sci., **Artem Holovaty**¹, post-graduate, **Serhii Tyshchenko**¹, post-graduate, **Andrii Serhiychuk**¹, post-graduate

¹Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

²Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Ternopil, Ukraine

Formation of a logistic information system for effective management of transport and production enterprises

The article examines the formation of information and the construction of a logistic information system for effective management of transport and production enterprises on this basis. It was found that the functioning of the logistics management system of the enterprise requires high-quality information support, since the management process is a sequence of decision-making acts. The experience of leading foreign enterprises, firms, companies, in terms of design and stages of development, as well as the methodology of implementing model logistics systems on them, is taken into account. The movement of material information flows in the logistics management system at the transport and production enterprise is considered. Seven management functions are identified and their content, types of systems and software products are clarified. Negative and positive points in the activities of enterprises were identified. The adequacy of the formation of information flows at the transport and production enterprise has been clarified. A typical decomposition of the structure of the logistics information system was considered and the building principles (effects) were formed and the main indicators were determined. An organizational structure was built with subsystems: management of order procedures; scientific research and connections; support of logistics solutions; generation of output forms and measures on the dedicated system of operations; the functional structure of the logistics information system is built. The issue of the role and purpose of information in the hierarchy of logistics operations has been clarified. Proposed principles of logistics information organization. The proposed improved structure of the logistics information system at the enterprise and flow chart.

logistics system, information, transport and production enterprise, management structure

Одержано (Received) 29.04.24

Прорецензовано (Reviewed) 30.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

І.І. Філімоніхіна, доц., канд. ф.-м. наук, **М. Ф. Семенюта**, доц., канд. ф.-м. наук,
С.М. Якименко, доц., канд. ф.-м. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: fii@online.ua, marinafsemenyuta@gmail.com*

Прогнозування показників пасажирських перевезень на автомобільному транспорті

Інтерполяція і апроксимація часто використовуються для оцінки відсутніх значень та прогнозування майбутніх значень різних характеристик тієї чи іншої сфери людської діяльності.

Так, в автомобільному транспорті необхідно робити прогнози по основним характеристикам пасажирського транспорту, таким як кількість перевезених пасажирів та пасажирообіг. Через досить високі розкиди в значеннях обсягів перевезень пасажирів досить актуальним є достовірність прогнозування цих показників. Побудова адекватних математичних моделей і достовірні короткострокові прогнози дозволять ефективно управляти роботою автотранспорту і забезпечать підвищення якості обслуговування пасажирів на автомобільному транспорті.

часові ряди, пасажирообіг, кількість перевезених пасажирів, апроксимація, прогнозування

Постановка проблеми. Одним із специфічних і важливих секторів економіки є транспорт. На відміну від інших галузей промисловості та сільського господарства транспорт не виробляє матеріальні цінності, а лише переміщує продукцію інших галузей матеріального виробництва і людей. Транспорт поділяється на вантажний та пасажирський. Вантажний транспорт належить до виробничої сфери, так як процес виробництва закінчується доставкою продукції в місце споживання. Пасажирський транспорт належить до обслуговуючої сфери, так як займається перевезенням людей.

Основні характеристики для оцінювання роботи пасажирської транспортної галузі- це кількість перевезених пасажирів і пасажирообіг. Пасажирообіг вимірюється в пасажиро-кілометрах і представляє собою суму добутків кількості перевезених пасажирів на довжину шляху кожного перевезення.

Для оцінки ефективності роботи пасажирського автотранспорту більш інформативним є пасажирообіг.

В останні роки через виробничі особливості транспортної галузі та в зв'язку з трудовою міграцією значно зросла роль автомобільного транспорту.

Для успішного функціонування транспортної галузі необхідно прогнозувати обсяг пасажирських перевезень та пасажирообіг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автотранспорт традиційно займає провідне значення в дослідженнях проблем транспортної галузі.

В роботі [1] здійснений порівняльний аналіз енергії та викидів протягом життєвого циклу пасажирських міжміських перевезень у США авіаційним, міжміським автобусом, автомобілем.

Авторами в роботі [2] запропонований універсальний масовий індекс, що визначає енергоефективність різних видів пасажирського транспорту.

В роботі [3] розглядається набір даних повторної ідентифікації пасажирів автобуса для триплетного вбудовування базової лінії глибокого навчання.

Створенню сучасних форм та моделей функціонування пасажирських перевезень і

транспорту присвячені роботи О.І. Амоша, А.В. Базилюка, В.П. Ільчука, І.О. Хоменка та інших [4, 5].

Вчені В.П. Ільчук, А.В. Базиліук, І.О. Хоменко провели дослідження ефективності пасажирських перевезень та підвищення якості цих послуг в залежності від рівня автоматизації оплати за проїзд [5].

В роботі [6] проведено аналіз різниці між попитом і пропозицією пасажирів міського таксі у випадку спільного використання автомобілів.

Шкала комфорту для стоячих пасажирів автобуса по відношенню до певних характеристик дороги розглянута авторами в роботі [7].

В статті [8] були досліджені типологічні групи пасажирів для подальшого прогнозування попиту міського автотранспорту в умовах м. Кіровограда. Авторами був застосований метод Лайкерта для оцінки параметрів транспортного процесу.

В статті [9] авторами було проведено аналіз логістичних ланцюгів та їх окремих ланок на прикладі роботи складу транспортно-логістичного центру компанії «УВК Україна».

В статті [10] авторами запропоновано схеми обслуговування замовлень на міжнародні контейнерні перевезення вантажів.

О.С. Телетов [11] розглядав пасажирські перевезення як складову маркетингу послуг. Такий підхід дає значну ефективність, а неврахування маркетингових підходів в дослідженнях пасажирських перевезень негативно впливає на якість послуг транспорту.

Постановка завдання. Метою даної роботи є аналіз, статистична обробка та прогнозування показників пасажирських перевезень на автомобільному транспорті для Кіровоградської області.

Виклад основного матеріалу. Статистичні дані в різних галузях народного господарства часто подаються я у вигляді часових рядів. Для аналізу часових рядів застосовують сукупність математико-статистичних методів аналізу з метою визначення їх структури, а також для оперативного (короткострокового) і довгострокового прогнозування. В роботі [12] детально розглядаються часові ряди та їх основні поняття, проаналізовано методи та моделі їх графічної побудови для наглядного аналізу трендів. Серед методів прогнозування виділяють екстраполяцію, моделювання, опитування експертів. В [13] описуються і порівнюються моделі прогнозування часових рядів.

При практичному аналізі часових рядів виділяють наступні етапи:

- 1) Графічне подання і опис поведінки ряду;
- 2) Виділення закономірностей ряду, таких як тренд, сезонні та циклічні складові, тощо;
- 3) Побудова адекватної математичної моделі;
- 4) Прогнозування майбутніх значень (екстраполяція) або відновлення пропущених значень (інтерполяція).

Частка пасажирських перевезень автомобільним транспортом в останні роки постійно зменшується. Це пояснюється зносом транспортних засобів, удорожчанням паливно-мастильних матеріалів, значною часткою пільгового контингенту, відсутністю економічної підтримки держави. Також на зменшення перевезень значно вплинули карантинні обмеження та військовий стан. Такі зміни спостерігаються як у межах країни, так і у межах регіонів, зокрема в Кіровоградській області.

Проаналізуємо зміни показників пасажирообігу та кількості перевезених пасажирів в Кіровоградській області на основі даних Головного управління статистики в Кіровоградській області [15]. Дані головного управління статистики в Кіровоградській області по пасажирообігу підприємствами автомобільного транспорту представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Пасажирообіг в Кіровоградській області

№п/п	Рік	Місяць	Пасажиро-обіг (млн.пас. км)			Пасажиро-обіг (млн.пас. км)	
1	2018	січень	36,0	23	2020	січень	46,3
2		лютий	35,4	24		лютий	43,6
3		березень	39,7	25		березень	32,1
4		квітень	40,0	26		квітень	3,6
5		травень	38,7	27		травень	8,6
6		червень	35,1	28		червень	25,7
7		липень	33,8	29		липень	31,1
8		серпень	37,5	30		серпень	26,8
9		вересень	37,4	31		вересень	28,2
10		жовтень	43,1	32		жовтень	30,1
11	2019	січень	55,6	33	2021	листопад	28,4
12		лютий	53,4	34		грудень	27,4
13		березень	58,3	35		січень	23,7
14		квітень	53,8	36		лютий	25,9
15		травень	50,8	37		березень	31,8
16		червень	42,8	38		квітень	25,1
17		липень	47,0	39		травень	27,6
18		серпень	46,9	40		червень	28,2
19		вересень	47,6	41		липень	29,3
20		жовтень	47,8	42		серпень	31,0
21		листопад	44,9	43		вересень	34,0
22		грудень	49,7	44		жовтень	31,9
			45	листопад	30,1		
			46	грудень	28,7		

Джерело: розроблено авторами

Для практичного вирішення поставленої мети було використано можливості програмного пакету Microsoft Excel 2016 та математичного пакету Mathcad по аналізу статистичних даних та методах прогнозування їх зміни у визначений період. Так як пасажирообіг є більш інформативною ознакою пасажирських перевезень, дослідимо більш детально статистичні дані за період з 2018 по 2021 роки по даній ознаці.

В якості ознаки X розглядатимемо кількість млн.пас.км. З наведених даних сформуємо вибірку. Знайдемо квартилі:

$$Q_1 = 28,475; Q_2 = Me = 34,55; Q_3 = 44,575.$$

Міжквартильний розмах вимірює розкид серед 50% середніх даних і становить 13,9 млн.пас.км.

Коробкова діаграма (рис.1) дає наочне представлення числових характеристик вибірки і дає можливість ідентифікувати викиди.

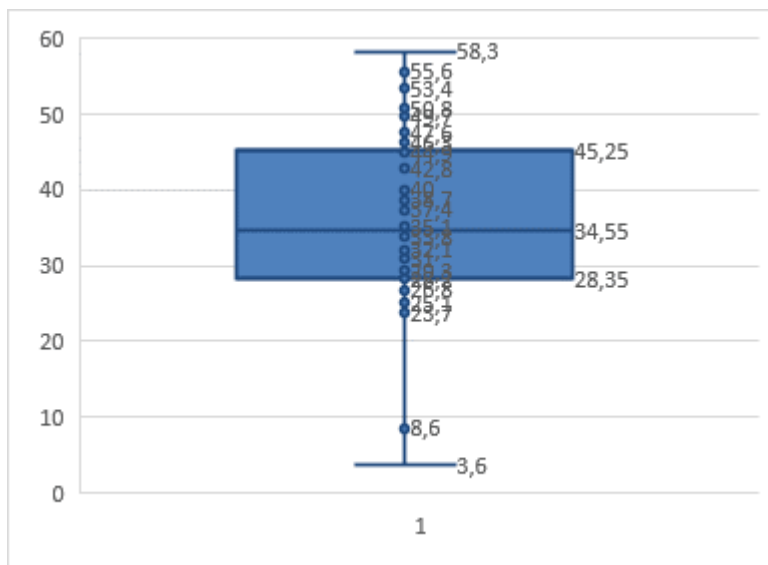


Рисунок 1 – Коробкова діаграма

Джерело: розроблено авторами

За даним розподілом вибірки побудуємо гістограму частот (рис.2).

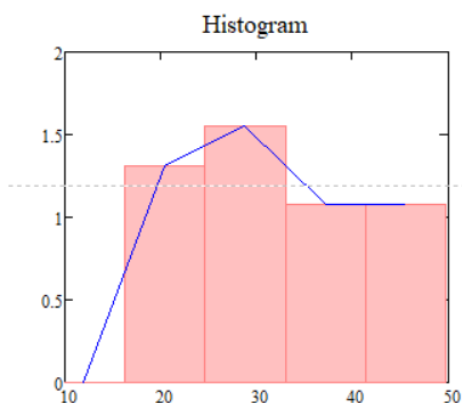


Рисунок 2 – Гістограма частот

Джерело: розроблено авторами

Проведемо обчислення числових характеристик ряду, представленого в табл.1 (табл.2).

Таблиця 2 – Числові характеристики

Вибіркове середнє	$\bar{x} \approx 35,967$
Вибіркова дисперсія	$D_n \approx 128,134$
Вибіркове середнє квадратичне відхилення	$\sigma \approx 11,324$
Виправлена вибіркова дисперсія	$s^2 \approx 128,134$
Виправлене середнє квадратичне відхилення	$s \approx 11,324$
Центральний момент третього порядку	$\mu_3 \approx -435,632$
Центральний момент четвертого порядку	$\mu_4 \approx 54820$
Коефіцієнт асиметрії	$A_s \approx -0,3$
Коефіцієнт ексцесу	$E_x \approx 3,339$

Джерело: розроблено авторами

Таким чином, в середньому очікується пасажирообіг в 35,922 млн.пас.км на місяць, а середнє відхилення від цієї величини складає 11,641 млн.пас.км, тобто пасажирообіг в середньому знаходиться в діапазоні від 24,281 до 47,563 млн.пас.км на місяць.

Асиметрія лівостороння, так як $A_s < 0$, тому переважає кількість млн.пас.км менша за середню. Чим більша асиметричність, тим далі розподіл від нормального. В нашому випадку маємо $0,25 < |A_s| < 0,5$, це свідчить про те, що асиметрія середня.

Ексцес характеризує концентрацію значень ознаки навколо математичного сподівання. $E_x < 0$, тому крива розподілу плоско-вершинна.

Похибки коефіцієнтів асиметрії та ексцесу можна знайти за відповідними формулами:

$$\delta_A = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}}; \quad \delta_E = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n-1)^2(n+3)(n+5)}}$$

Отримаємо, $\delta_E \approx 0,642$. Ці значення задовільняють нерівностям $\frac{|A_s|}{\delta_A} \approx 0,55 < 3$, $\frac{|E_x|}{\delta_E} \approx 0,31 < 3$, звідси випливає, що асиметрія і ексцес незначні в розподілі пасажирообігу і не має підстави вважати, що розподіл генеральної сукупності не близький до нормального.

При великому об'ємі вибірки ($n \geq 30$) її елементи об'єднують в інтервали (групи), представляючи результати дослідів у вигляді *інтервального статистичного ряду* (табл.3), який сформувавши за наступним алгоритмом.

1. Обчислили *розмах R варіювання* ознаки X : $R = x_{\max} - x_{\min} = 54,7$.

2. Знайшли число m інтервалів у такий спосіб:

$$m \approx 1 + \log_2 n \approx 1 + 3,322 \cdot \lg n \approx 7$$

3. Довжину h кожного інтервалу визначили за формулою:

$$h = \frac{R}{m} \approx 8,4.$$

Таблиця 3 – Інтервальный статистичний ряд

x_i	x_{i+1}	частота n_i
3,6	12,0	2
12,0	20,4	0
20,4	28,8	11
28,8	37,2	13
37,2	45,6	9
45,6	54,0	9
54,0	62,4	2

Джерело: розроблено авторами

На рис. 3 наведена емпірична функція розподілу неперервної ознаки X . Її вигляд нагадує функцію розподілу ймовірностей нормально розподіленої випадкової величини.

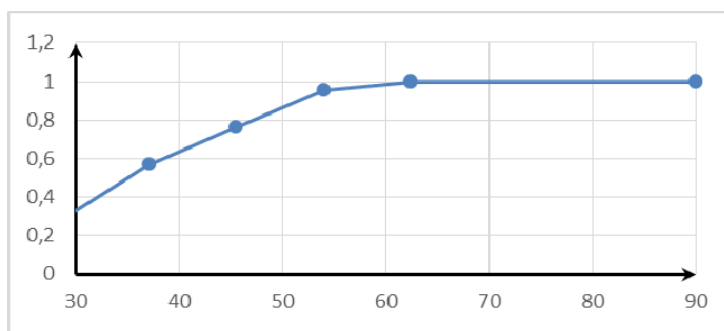


Рисунок 3 – Емпірична функція розподілу

Джерело: розроблено авторами

На основі проведених досліджень висунемо гіпотезу про нормальний розподіл генеральної сукупності. При рівні значущості $\alpha = 0,05$ перевіримо, чи узгоджується ця гіпотеза з заданим емпіричним розподілом вибірки. Для цього скористаємося критерієм Пірсона.

З ймовірністю 95% можна стверджувати, що величина пасажирообігу на місяць підпорядковується нормальному закону розподілу.

Далі знайдемо 95% довірчий інтервал для середнього значення пасажирообіг в млн.пас.км на місяць.

Довірчий інтервал набуває виду: $(\bar{x} - \Delta; \bar{x} + \Delta) = (32,658; 39,275)$. Невеликий довірчий інтервал вказує на точність вибіркової оцінки.

Для прогнозування показників автомобільного транспорту, таких як кількість перевезених пасажирів та пасажирообіг скористаємося можливостями програмного пакету Microsoft Excel 2016.

В таблиці 4 наведені статистичні значення кількості перевезених пасажирів та пасажирообігу в Кіровоградській області з 2012 по 2021 роки [14].

Таблиця 4 – Пасажирообіг та кількість перевезених пасажирів в Кіровоградській області

№ п/п	рік	Пасажирообіг (млн.пас.км)	Перевезено Пасажирів (млн.)
1	2012	1268	86
2	2013	1051	67
3	2014	883	47,7
4	2015	853	48,5
5	2016	828	47
6	2017	681	41,8
7	2018	676	49,6
8	2019	599	47,6
9	2020	332	25,4
10	2021	347	28,7

Джерело: розроблено авторами

Так як статистичні дані за 2022 та 2023 роки відсутні в зв'язку з воєнним станом, проведемо аналіз наявних статистичних даних для відновлення відсутніх даних та прогнозування об'ємів перевезених пасажирів та пасажирообігу на 2024 рік. Результати для пасажирообігу представлені на рисунках 4 та 5. На рисунках в першому рядку таблиці даних наведені фактичні статистичні дані пасажирообігу, а в другому – теоретично розраховані дані за відповідною моделлю трендової залежності.

Для пасажирообігу були вибрані два типи моделей трендових залежностей:

- лінійна модель виду

$$y = -93,458x + 1265,8$$

з величиною достовірності апроксимації

$$R^2 = 0,9439 ;$$

- експоненціальна модель виду

$$y = 1474,9e^{-0,137x}$$

з величиною достовірності апроксимації

$$R^2 = 0,9002$$

З рисунків видно, що лінії тренду візуально досить точно відображають відповідність трендової зміни та тенденцію до спадання показника пасажирообігу за розглянутий період часу. Лінійна модель дещо краща і надає нижню межу зміни показника пасажирообігу. Відхилення прогнозованого значення цього показника буде становити 5,6%.

Зважаючи на досить високі коефіцієнти апроксимації, можна зробити висновок, що обидві моделі придатні для прогнозування пасажирообігу на автомобільному транспорті в Кіровоградській області в 2024 році. Прогнозоване значення цього показника буде складати 248 млн. пас. км для в прогнозованому діапазоні 51...299 млн. пас. км з довірчим інтервалом в 95%.

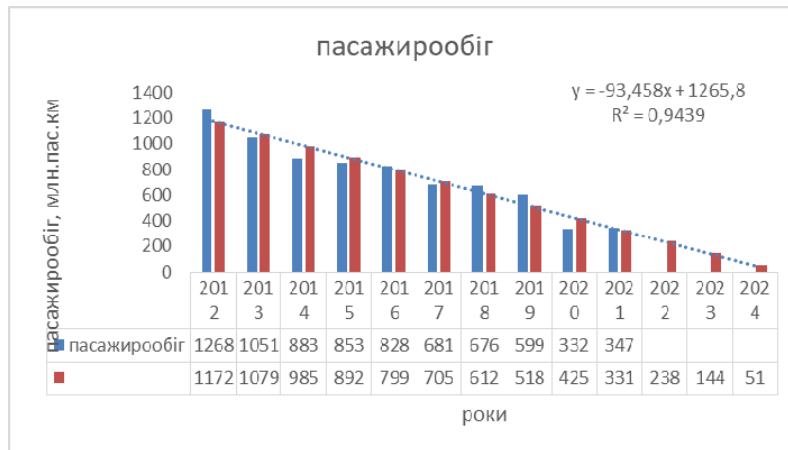


Рисунок 4 – Зміна пасажирообігу в Кіровоградській області в 2012 – 2021 роках з прогнозом на 2022-2024 роки за лінійною моделлю

Джерело: розроблено авторами

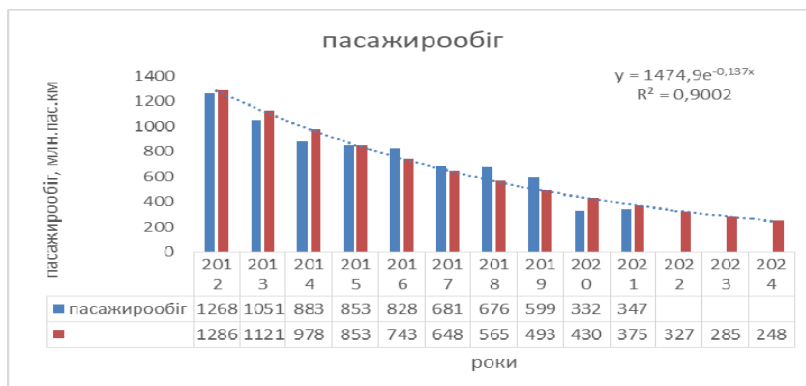


Рисунок 5 – Зміна пасажирообігу в Кіровоградській області в 2012-2021 роки з прогнозом на 2022-2024 роки за експоненціальною моделлю

Джерело: розроблено авторами

Аналогічно досліджуємо інший показник пасажирських перевезень - кількість перевезених пасажирів. Результати представлені на рисунках 6 та 7. В першому рядку таблиці даних наведено фактичні статистичні дані, в другому - розраховані по відповідній моделі трендової залежності.

Для показника кількість перевезених пасажирів були вибрані два типи моделей трендових залежностей:

- лінійна модель виду

$$y = -4,9048x + 75,907,$$

з величиною достовірності апроксимації

$$R^2 = 0,7291,$$

- поліноміальна модель виду

$$y = 0,0443x^4 - 1,3238x^3 + 13,37x^2 - 56,255x + 131,68,$$

з величиною достовірності апроксимації

$$R^2 = 0,9243.$$

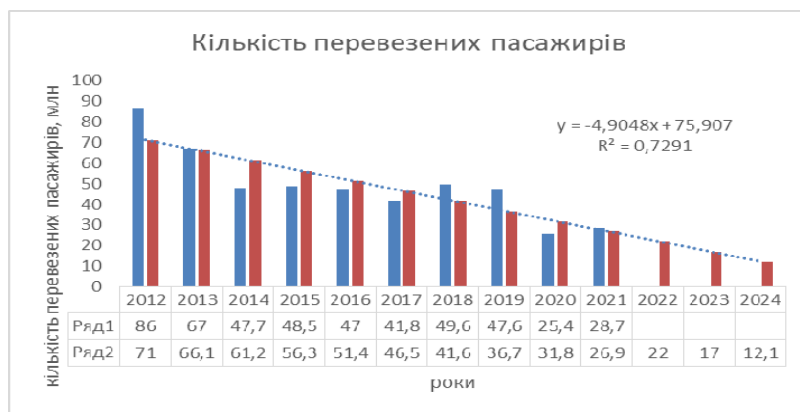


Рисунок 6 – Зміна кількості перевезених пасажирів в Кіровоградській області в 2012-2021 роки з прогнозом на 2022-2024 роки за лінійною моделлю

Джерело: розроблено авторами

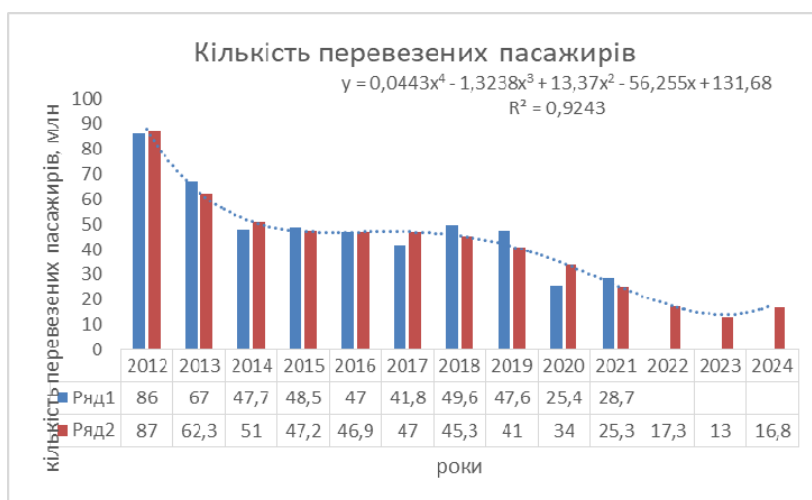


Рисунок 7. – Зміна кількості перевезених пасажирів в Кіровоградській області в 2012-2021 роки з прогнозом на 2022-2024 роки за поліноміальною моделлю

Джерело: розроблено авторами

З рисунків видно, що лінії тренду візуально досить точно відображають відповідність трендової зміни та тенденцію до спадання показника кількості перевезених пасажирів за розглянутий період часу. Лінійна модель показника кількості перевезених пасажирів дає можливість спрогнозувати нижню межу цього показника. Відхилення прогнозованого значення досліджуваного показника за лінійною моделлю 27%, а за поліноміальною – 7,6%.

Зважаючи на досить високі коефіцієнти апроксимації, можна зробити висновок, що обидві моделі придатні для прогнозування кількості перевезених пасажирів на автомобільному транспорті в Кіровоградській області в 2024 році. Прогнозоване значення цього показника буде складати 16,8 млн. для в прогнозованому діапазоні 12,1...28,9 млн. з довірчим інтервалом в 95%.

Висновки. В результаті проведеної роботи по аналізу, статистичній обробці та прогнозуванню таких показників пасажирського автомобільного транспорту, як кількість перевезених пасажирів та пасажирообігу, встановлено, що:

- 1) при існуючій ситуації на ринку перевезень та соціально-політичній ситуації в країні буде спостерігатись падіння цих показників;
- 2) застосування адекватних математичних моделей поведінки пасажирообігу та кількості перевезених пасажирів дозволило визначити обсяги пасажирських автомобільних перевезень та пасажирообіг на майбутній період з високим ступенем достовірності;
- 3) результати досліджень можна застосувати для прогнозування потреб в матеріально-технічних, трудових, фінансових ресурсах для ефективної роботи підприємств автомобільного транспорту в Кіровоградській області.

Список літератури

1. Liu, H., Xu, Y., Stockwell, N., Rodgers, M. O., & Guensler, R. A comparative life-cycle energy and emissions analysis for intercity passenger transportation in the U.S. by aviation, intercity bus, and automobile. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48, 267-283. doi:10.1016/j.trd.2016.08.027.
2. Zheng, J., Lin, J., Allwood, J. M., & Dean, T. A universal mass-based index defining energy efficiency of different modes of passenger transport. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture* 2021. 4(4). Pp. 423-433. doi:10.1016/j.ijlmm.2021.06.004
3. Guo, J., Xue, Y., Cai, J., Gao, Z., Xu, G., & Zhang, H. A bus passenger reidentification dataset and a deep learning baseline-using triplet embedding. *Multimedia Tools and Applications*. 2021. 80(11). Pp. 16425-16440. doi:10.1007/s11042-020-08944-0
4. Амоша О.І., Філіппова О.С. Європейський досвід забезпечення ефективного функціонування підприємств міського пасажирського транспорту. *Економіка будівництва і міського господарства*. 2010. № 4. С.179 – 189.
5. Ільчук В.П., Базилук А.В., Хоменко І.О. Організаційно-економічні засади реформування міського пасажирського транспорту. *Проблеми і перспективи економіки та управління*. 2015. № 1. С. 42-49.
6. Wang, Z. Z., Liu, X. Y. Analysis on difference between supply and demand of urban taxi passenger in the case of carpooling. *Applied mechanics and materials*. 2014. Pp. 543-547.4378-4382. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.
7. Maternini, G., Cadei, M. A comfort scale for standing bus passengers in relation to certain road characteristics. *Transportation Letters*. 2014. 6(3). Pp. 136-141. doi: 10.1179/1942787514Y.0000000020
8. Аулін В.В., Голуб Д.В. Теоретичне обґрунтування прогнозування розподілу попиту пасажирів на послуги різних типів міського транспорту. *Вісник ЖДТУ*. 2014. № 2(69). С.16-20.
9. Aulin, V., Hrynkiv, A., Lyashuk, O., Vovk, Y., Lysenko, S., Holub, D., Zamota, T., Pankov, A., Sokol, M., Ratynskiy, V., Lavrentieva, O. Increasing the functioning efficiency of the working warehouse of the “Uvk Ukraine” company transport and logistics center. *Scientific Letters of the University of Zilina*. 2020. 22(2). Pp. 3-14.
10. Aulin, V., Lyashuk, O., Pavlenko, O., Velykodnyi, D., Hrynkiv, A., Lysenko, S., Holub, D., Vovk, Y., Dzyura, V., Sokol, M. Realization of the logistic approach in the international cargo delivery system *Scientific Letters of the University of Zilina*. 2019. 21(2). Pp. 3-12.

11. Телетов О.С., Васильева О.А. Маркетингові дослідження в системі міських пасажирських перевезень. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2012. № 2. С. 13-21.
12. Солодка Д. М. Поняття часового ряду, його пам'яті в технічному аналізі. *Наука і молодь. Гуманітарна серія*. 2012. №11-12. С. 35-38.
13. Широкопетлева М.С., Пономаренко О.А., Дудар З.В. Порівняння методів прогнозування часових рядів. *Бионика интеллекта*. 2018. № 2 (91). С. 41–47.
14. Головне управління статистики у Кіровоградській області. URL: <http://www.kr.ukrstat.gov.ua/>

References

1. Liu, H., Xu, Y., Stockwell, N., Rodgers, M. O., & Guensler, R. (2016). A comparative life-cycle energy and emissions analysis for intercity passenger transportation in the U.S. by aviation, intercity bus, and automobile. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48, 267-283. doi:10.1016/j.trd.2016.08.027 [in English].
2. Zheng, J., Lin, J., Allwood, J. M., & Dean, T. (2021). A universal mass-based index defining energy efficiency of different modes of passenger transport. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 4(4), 423-433. doi:10.1016/j.ijlmm.2021.06.004 [in English].
3. Guo, J., Xue, Y., Cai, J., Gao, Z., Xu, G., & Zhang, H. (2021). A bus passenger reidentification dataset and a deep learning baseline-using triplet embedding. *Multimedia Tools and Applications*, 80(11), 16425-16440. doi:10.1007/s11042-020-08944-0 [in English].
4. Amosha, O.I. & Filippova, O.S. (2010), Yevropejs'kyj dosvid zabezpechennia efektyvnoho funktsionuvannya pidpriemstv mis'koho pasazhyrs'koho transportu [European experience of ensuring the efficient functioning of urban passenger transport enterprises]. *Ekonomika budivnytstva i mis'koho hospodarstva - Economics of construction and urban economy*, 4, pp. 179-189 [in Ukrainian].
5. Il'chuk, V.P., Bazyl'iu, A.V. & Khomenko, I.O. (2015). Orhanizatsijno-ekonomichni zasady reformuvannya mis'koho pasazhyrs'koho transportu [Organizational and economic principles of reforming urban passenger transport]. *Problemy i perspektyvy ekonomiky ta upravlinnia - Problems and prospects of economics and management*, 1, 42-49 [in Ukrainian].
6. Wang, Z. Z. & Liu, X. Y. (2014). Analysis on difference between supply and demand of urban taxi passenger in the case of carpooling. *Applied mechanics and materials*. Pp. 543-547.4378-4382. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.543-547.4378 [in English].
7. Maternini, G. & Cadei, M. (2014). A comfort scale for standing bus passengers in relation to certain road characteristics. *Transportation Letters*, 6(3), 136-141. doi: 10.1179/1942787514Y.0000000020
8. Aulin, V.V. & Holub, D.V. (2014). Teoretychne obhruntuvannya prohnozuvannya rozpodilu popytu pasazhyriv na posluhy riznykh typiv mis'koho transportu [Theoretical rationale for forecasting the distribution of passenger demand for services of various types of urban transport]. *Visnyk ZhDTU - Bulletin of ZHTU*, № 2(69), 16-20 [in Ukrainian].
9. Aulin, V., Hrynkiv, A., Lyashuk, O., Vovk, Y., Lysenko, S., Holub, D., Zamota, T., Pankov, A., Sokol, M., Ratynskiy, V., Lavrentieva, O. (2020) Increasing the functioning efficiency of the working warehouse of the “Uvk Ukraine” company transport and logistics center. *Scientific Letters of the University of Zilina*, 22(2), pp. 3-14 [in English].
10. Aulin, V., Lyashuk, O., Pavlenko, O., Velykodnyi, D., Hrynkiv, A., Lysenko, S., Holub, D., Vovk, Y., Dzyura, V., Sokol, M. (2019). Realization of the logistic approach in the international cargo delivery system. *Scientific Letters of the University of Zilina*, 21(2), pp. 3-12 [in English].
11. Tielietov, O.S. & Vasyl'ieva, O.A. (2012). Marketynhovi doslidzhennia v systemi mis'kykh pasazhyrs'kykh perevezen' [Marketing research in the urban passenger transport system]. *Marketynh i menedzhment innovatsij - Marketing and innovation management*, 2, 13-21 [in Ukrainian].
12. Solodka, D.M. (2012). Poniattia chasovoho riadu, joho pam'iaty v tekhnichnomu analizi [The concept of time series, its memory in technical analysis]. *Nauka i molod'. Humanitarna seriia - Science and youth. Humanitarian series*, 11-12, 35-38 [in Ukrainian].
13. Shyrokopetlieva, M.S., Ponomarenko, O.A. & Dudar, Z.V. (2018). Porivniannia metodiv prohnozuvannya chasovykh riadiv [Comparison of time series forecasting methods]. *Byonyka yntellekta - Bionics of intelligencem*, 2 (91), 41–47 [in Ukrainian].
14. Holovne upravlinnia statystyky u Kirovohrads'kij oblasti [Main Department of Statistics in Kirovograd region] (2024). Retrieved from: <http://sumy.ukrstat.gov.ua/?menu=38&level=3> [in Ukrainian].

Iryna Filimonikhina, Assos. Prof., PhD phys.& math. sci., **Marina Semeniuta**, Assos. Prof., PhD phys.& math. sci., **Serhiy Yakymenko**, Assos. Prof., PhD phys.& math. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Forecasting indicators of passenger transportation by road transport

The development of the automotive industry is significantly influenced by changes in the socio-economic and socio-political situations in the country. These changes cause changes in such indicators of passenger transport as the number of transported passengers and passenger traffic. In recent years, there has been a tendency for these indicators to fall.

The purpose of this study is to obtain reliable short-term forecast estimates for the number of transported passengers and passenger traffic in the Kirovohrad region.

In the work, an analysis of statistical data on the number of transported passengers and passenger traffic of the Main Department of Statistics in the Kirovohrad Region was carried out.

For the analysis, standard methods of time series research were used using the Microsoft Excel 2016 software package and the Mathcad mathematical package for the analysis of statistical data and methods of forecasting their changes in a certain period.

Linear and exponential models of trend dependencies were chosen for passenger traffic.

The number of transported passengers was studied using linear and polynomial models of trend dependencies.

As a result of the work carried out on the analysis, statistical processing and forecasting of such indicators of passenger road transport as the number of transported passengers and passenger traffic, it was established that with the existing situation on the transportation market and the socio-political situation in the country, a decline in these indicators will be observed.

The application of adequate mathematical models of the behavior of passenger traffic and the number of transported passengers made it possible to determine the volume of passenger road transport and passenger traffic for the future period with a high degree of reliability. The results of the research can be used to determine the needs for material, technical, labor, and financial resources for the effective operation of road transport enterprises in the Kirovohrad region.

time series, passenger traffic, number of transported passengers, approximation, forecasting

Одержано (Received) 30.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 04.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 656.078

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.229-240](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.229-240)

Ю.Б. Коваль, асп., **О.В. Чорна**, доц., канд. екон. наук, **П.В. Попович**, проф., д-р техн. наук, **О.С. Шевчук**, доц., канд. техн. наук, **І.О. Лоїк**, асп., **С.А. Мишко**, асп., **М.О. Вітрук**, асп., **В.О. Дрожай**, асп.

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

e-mail: o.romanyshyn@wuni.edu.ua

Особливості розвитку ринку транспортних послуг

У статті розглянуто основні тенденції розвитку ринку транспортної логістики в розрізі пасажирських, а також вантажних перевезень. Аналітично досліджено основні чинники, які є визначниками діяльності з позицій динаміки розвитку транспортних компаній. Проаналізовано економічну активність галузі транспорту з дослідженнями структурних компонентів ринків вантажних і пасажирських перевезень, а також базових залежностей функціонування з їх впливом на динаміку розвитку логістичного ринку. Розглянуто тренди транспортної логістики на основі дослідження характеристик та особливостей перевезень за видами транспорту. Визначено базових замовників клієнтів транспортних компаній, що формують сталий портфель замовлень транспортних послуг, зокрема доведено, що стійкість зростання транспортно-логістичного ринку, ріст обсягів перевезень в Україні базується на транспортуванні вантажів, що мають пряме чи опосередковане відношення до галузі

© Ю.Б. Коваль, О.В. Чорна, П.В. Попович, О.С. Шевчук, І.О. Лоїк, С.А. Мишко, М.О. Вітрук, В.О. Дрожай, 2024

агропромислового комплексу та дорожньо-будівельної галузі економіки країни. Встановлено, на протязі п'яти довоєнних років в Україні частка транспортування автомобільним і залізничним транспортом має стійку тенденцію до зростання на основі збільшення попиту на перевезення зазначених галузей економіки країни, що підтверджує усталеність позитивного тренду для транспортно-логістичного ринку. Товарний та споживчий ринки разом з ринком логістичних послуг мають взаємопов'язані напрями розвитку і загалом залишаються збалансованими, тоді як ринок автомобільних і залізничних перевезень демонструє сталий тренд зростання з прогнозованою імовірністю уповільнення темпів росту. Результати дослідження можуть застосовуватися при прогнозуванні рівня усталеності сегментів ринку логістичних послуг враховуючи вантажні а також пасажирські перевезення за видами транспорту, а також для удосконалення чи оновлення інструментів для планування роботи транспортно-експедиційних, логістичних і перевізних підприємств.

транспортна логістика, пасажирські перевезення, вантажні перевезення, структура ринку логістики, логістичні послуги

Постановка проблеми. Збільшення обсягів перевезень вантажів і пасажирів протягом крайніх п'яти років вимагає систематизації масиву інформації для раціонального зменшення рівня затрат транспортних компаній, що працюють на ринках вантажних і пасажирських перевезень. Це вимагає проведення структурованого системного аналітичного дослідження економічної активності комплексно для всієї транспортної галузі, визначення реальної структури вказаних ринків базуючись на урахуванні характеристик вантажів за видами транспорту, встановлення реальних закономірностей разом у комплексі з динамікою розвитку сегментів логістичного ринку. Найбільш повне урахування компонент всього комплексу причинно-наслідкових зв'язків з прогнозуванням змін параметрів перевезень забезпечить коректне прогнозування можливих впливів на розвиток галузі транспортної логістики. Повне розуміння процесів та реальних причин а також векторів розвитку товарного, споживчого та логістичного ринків в Україні сприятиме визначенню їх збалансованості та оптимальному управлінню транспортними компаніями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В сучасних умовах необхідно здійснити інноваційну модернізацію в усіх галузях народного господарства, зокрема враховуючи економічний вплив транспортної галузі [1-5, 8-13] на економіку країни. Доведено, перевізники не утримують тарифи на вантажні перевезення на рівні попередніх років (до 2022р.) на основних торговельних напрямках, використовуючи важелі управління рівнем напруженості матеріальних потоків порівняно з доCOVIDним періодом, також і з 2023 роком [6-20]. Додатково, різке зростання витрат впливає на тарифи фрахту, зростаючі витрати на паливомастильні матеріали а також паливо, які залишаються високими та нестабільними через вторгнення Росії в Україну, стимулюють об'єктивне підвищення тарифів фрахтування. Дефіцит робочої сили та інфляція також призвели до значного зростання вартості праці, що суттєво збільшує операційні витрати. Загалом, і виробники і торговельні мережі і транспортні компанії по всьому світу продовжують стикатися з рядом викликів, включаючи високі витрати на вантажоперевезення, збої в ланцюгах постачання та зростання вартості палива. Ці обставини створюють значні проблеми для вантажовідправників і постачальників логістичних послуг, змушуючи їх шукати способи і впливи мінімізації зменшення рівня прибутків. Функціонування, а також розвиток транспортного ринку в нашій державі є прямим наслідком діяльності і транспортно-експедиційних, і комерційно-посередницьких підприємств з перевізниками, що в комплексі власним впливом прямо можуть впливати і таким чином визначати вектори розвитку послуг в сфері транспорту, отже це в свій час може бути об'єктом та предметом досліджень транспортних систем.

Постановка завдання. Отже, на теперішній час вважаємо, що дослідження з сегментованим та системним аналізом базових векторів розвитку і сегментів і ринку транспортних послуг вцілому для забезпечення та з метою отримання реальних

очікуваних результатів через визначення обґрунтованих компонентів, що максимально впливають на розвиток суб'єктів підприємницької діяльності в досліджуваній галузі за розглядуваний період. Аналітичні дослідження реальних статистичних а також воасних експериментальних даних з подальшою формалізацією може бути основою максимально коректного встановлення потрібних, чи шуканих показників параметрів автомобільних і будь яких перевезень, включаючи інтермодальні та мультимодальні перевезення, види вантажів, тенденції попиту на перевезення за видами транспорту, напрямки розміщення та обсяги виробництв а видами продукції, а також перспективи підвищення прибутковості вантажних і пасажирських перевезень.

Виклад основного матеріалу. За даними Державного комітету статистики України та Міністерства економіки України, станом на кінець 2020 р. оборот роздрібної торгівлі збільшився до 20% порівняно до кінця 2019 р. Причому максимальне зростання торгівлі у роздріб (юридичні та фізичні особи-підприємці) відбулося у 2019р. при порівнянні з 2018р., це підтверджено для Київської (21%), Вінницької (18,7%), Тернопільської (18,5%), Черкаської (15,8%) областей, а також у м. Київ (15,2%) [1-3, 8-12].

Суттєве зростання внутрішнього попиту на основі мультиплікторного ефекту спричинив ріст у сферах будівництва, також вплив мали сфер торгівлі і послуг за напрямками. Найбільшими замовникамт транспортних послуг за укладеними господарськими договорами за досліджувані періоди були фірми будівельної галузей, які як і підприємства, що функціонують у аграрному секторі спричинили максимальне збільшення обсягів перевезень всіх видів вантажів такими видами транспорту, як залізничний і автомобільний. Тенденції, за якими розвивається така галузь економіки країни, як торгівля, включають відчутне зменшення попиту відповідно і купівель за номенклатурою продукції за групами товарів при одночасному збільшенні валових доходів, що є негативною ознакою яка спричинена зростанням індексу цін і не більше, як свідчать статистичні дані, також економічним спадом, непередбачуваністю політики та макроекономіки, що ускладнює залучення капіталу через IPO чи SPO. Очевидні негативні зміни, так як ринок споживчого кредитування з 2022р. охолоджується, при роботі з товарними кредитами радикально змінили основні функції самої дистрибуції.

Виходячи з цього, раціональною необхідністю є формування прогнозів вантажних перевезень на основі середньо та довгострокових показників. Необхідно враховувати, що сам процес прогнозування на основі статистичних даних є умовним перенесенням подій минулих періодів на майбутні і тому застосування підходів евристичного прогнозування, використання відомих чи нових методів кореляційного та регресійного аналізу, ін. доцільно виконувати з урахуванням експертних оцінок.

Виходячи з аналізу статистичних даних, за оцінкою Міністерства економіки України, протягом 2019 р. і до початку Російської агресії динаміка змін (рисунок 1) у транспортній галузі мала однозначний позитивний характер на основі стабільного зростання вантажообороту і пасажирообороту [1-3]. Цьому сприяв ріст споживчого ринку в Україні, що доведено на базі досліджень з врахуванням всіх ключових факторів, які чинили вплив на споживчий ринок: соціально-культурних, регуляторних, демографічних, макроекономічних, конкурентних, дослідженими відомими маркетинговими та аналітичними компаніями на основі ґрунтованого аналізу нормативних документів і статистичних відомостей, аналітичних досліджень попиту, матеріалів спеціалізованих мас -медіа, що доводить коректність даних.



Рисунок 1 – Динаміка вантажо - та пасажиро - обороту у 2018-2019рр.

Джерело: на підставі [3]

Продуктивність залізничного та автомобільного транспорту, задіяного на вантажних перевезеннях підтримувалася на позитивному рівні практично винятково завдяки контрактам з виробниками сільськогосподарської продукції, працюючих до того ж на основі системних законодавчих пільг, додатково і суттєво високій продуктивності перевезень сприяв і високий врожай злакових культур - ріст був в межах 15%- 20% у 2019/2020 рр., також ремонт і будівництво інфраструктурних об'єктів в країні забезпечували транспортні компанії стабільними замовленнями за досліджуваній період. Щодо пасажирських перевезень, рисунок 2. Зростання фіксували з причини бурхливого як для нашої країни розвитку авіаційного транспорту, адже база росту була невисокою, законодавець і виконавча влада забезпечили лібералізацію авіаційних перевезень до того ж на авіаринок країни успішно зайшли європейські лідери малобюджетних пасажирських перевезень. Проте маємо суттєве падіння практично у всіх сегментах товарного виробництва, зокрема машинобудівних підприємств, переробної промисловості які були потужними користувачами послуг транспортних компаній. Рівень розвитку ринку залізничних перевезень вантажів в країні некоректно корелює з вимогами вантажовідправників та вантажоодержувачів, встановлено відчутну проблематику з доставкою вантажів залізничним та морським і внутрішнім водним транспортом, очевидно, що рівень зносу залізничного рухомого складу, складу морського та внутрішнього водного транспорту були такими, що суттєво уповільнили ріст прибутковості даних сегментів галузі.

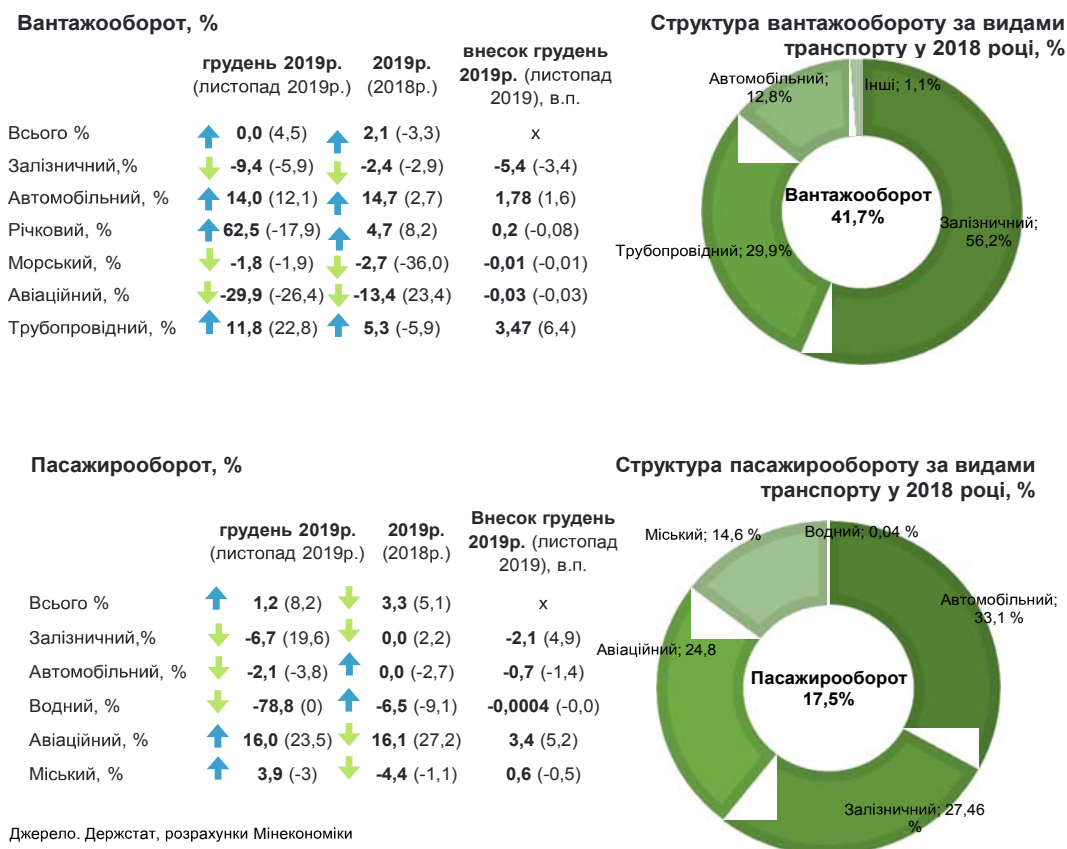


Рисунок 2 – Структура вантажообороту

Джерело: на підставі [3]

За аналітичними дослідженнями і проведеним оцінюванням, виконаним ТОВ Meibach Logistik, Armstrong & Associates, Inc. [19, 20] встановлено, під впливами глобальних економічних негативних змін динаміка зростання товарних ринків та сегменту логістичного аутсорсингу ринків Індії, Китаю і Бразилії не зазнали відчутних негативних змін, на відміну від логістичного ринку країн Європи, де динаміка об'єму логістичного аутсорсингу сповільнюється. Зрозуміло, у перспективі економічна кон'юнктура має негативний вплив на ринок логістики. За даними [19, 20], встановлено що структура ринку логістичних послуг з урахуванням послуг обробки та зберігання, дистрибуції, перетерпіла зміни, адже доля транспортно-експедиторських послуг даного ринку просіла, а сегмент логістичних послуг, які надавалися за досліджуваній період у комплексі зростає, як і частка управлінської логістики. Основою позитивного напрямку розвитку світової торгівлі відповідно привабливості ринків з точки зору інвестицій однозначно можемо вважати розвиток логістичної інфраструктури. Фінансова група «Agility» працює з власними показниками розвитку товарних ринків (виходячи з інвестиційної привабливості), наприклад «Agility» запропоновано ідекс розвитку логістичних ринків AEMLI - Agility Emerging Markets Logistics Index, який є коректним відображенням рівня привабливості саме логістичних ринків з позиції інвестиційної привабливості для майбутніх інвесторів у даний ринок [19, 20].

Найбільші зміни в загальному індексі були зумовлені низкою факторів, зокрема: зміною моделей торгівлі, покращенням інфраструктури, показниками безпеки та безпеки, а також покращеним середовищем стартапів і цифровим середовищем. Прикладом є Україна, де останні дані відображають менш катастрофічну картину, ніж минулого року, що призвело до часткового відновлення індексу. Камбоджа виграла від

нових моделей світової торгівлі, покращення інфраструктури та зростання у показниках безпеки та безпеки. Постійні показники Бразилії за різними показниками протягом року, коли багато країн похитнулися, дозволили їй піднятися в рейтингу. Хоча Росія залишається в рамках методологічної структури, яку показано сірим кольором, оскільки торгівля та міжнародні можливості обмежені через триваючу війну з Україною (рис. 3,4) [19, 20].

Міжнародні можливості. Заходи із захисту міжнародної торгівлі дозволили Україні повернути частину позицій, які вона втратила минулого року. Конфлікт в Ефіопії стримував прямі іноземні інвестиції (ПІІ), і на додаток до зниження кредитного рейтингу країни знизився міжнародний субіндекс (рис. 3,4) [19, 20].

Основи бізнесу. Мексика отримала вигоду від інвестицій в інфраструктуру, на додаток до показника індексу Герфіндаля–Гіршмана, який свідчить про те, що ринок стає все більш конкурентним і доступним. Україна дещо відновилася завдяки новим цифрам, які точніше відображають реальність життя в країні (рис. 3,4,5) [19, 20].

За даним дослідженням, для ринків логістики які розвиваються, в оцінці внутрішніх можливостей логістики, Україна у 2023 р. без змін (рис. 3 а). Щодо оцінки зовнішніх можливостей у логістиці, Україна покращила рейтинг на одинадцять позицій (рис. 3 б, рис. 4). У рейтингу можливостей для бізнесу наша держава піднялася на вісім позицій [16 - 20].

Rank	Country	Score	Change
1	China	8.54	0
2	India	7.86	0
3	Indonesia	6.33	0
4	Qatar	5.72	0
5	UAE	5.52	0
6	Brazil	5.46	0
7	Saudi Arabia	5.41	0
8	Mexico	5.37	0
9	Vietnam	5.26	+7
10	Malaysia	5.25	-1
11	Turkey	5.24	+2
12	Pakistan	5.20	-2
13	Egypt	5.18	-1
14	Thailand	5.13	0
15	Nigeria	5.10	-4
16	Bangladesh	5.06	+1
17	Philippines	5.06	+1
18	Russia	5.04	
19	Oman	4.96	+2
20	Bahrain	4.92	0
21	Kuwait	4.90	-6
22	Jordan	4.84	0
23	Uruguay	4.84	+5
24	Argentina	4.83	0
25	Iran	4.81	+12
26	Chile	4.81	-1
27	Algeria	4.79	-4
28	Tanzania	4.74	+5
29	Colombia	4.73	+1
30	Peru	4.72	-1
31	Sri Lanka	4.71	+8
32	Kazakhstan	4.67	-1
33	South Africa	4.67	-6
34	Kenya	4.66	+2
35	Lebanon	4.66	-9
36	Ghana	4.66	-1
37	Ethiopia	4.64	+9
38	Venezuela	4.62	+2
39	Libya	4.62	+2
40	Bolivia	4.60	+5
41	Morocco	4.59	-9
42	Uganda	4.58	+5
43	Cambodia	4.56	0
44	Tunisia	4.55	-10
45	Ecuador	4.52	-7
46	Paraguay	4.51	-4
47	Myanmar	4.45	-3
48	Angola	4.40	0
49	Ukraine	4.34	0
50	Mozambique	4.33	0

а)

Rank	Country	Score	Change
1	China	9.08	0
2	India	7.60	0
3	Vietnam	6.44	+1
4	Indonesia	6.34	+2
5	Mexico	6.25	-2
6	Saudi Arabia	6.11	+3
7	UAE	6.10	0
8	Malaysia	6.03	0
9	Thailand	5.96	-4
10	Brazil	5.75	+1
11	Russia	5.62	
12	Turkey	5.49	-2
13	Philippines	5.22	0
14	Chile	5.15	0
15	South Africa	5.14	+3
16	Peru	5.04	-1
17	Colombia	5.02	0
18	Morocco	5.00	-2
19	Oman	4.96	+1
20	Qatar	4.93	-1
21	Sri Lanka	4.89	+1
22	Argentina	4.72	+8
23	Egypt	4.72	0
24	Bahrain	4.68	0
25	Kuwait	4.64	+3
26	Ecuador	4.63	0
27	Pakistan	4.60	+2
28	Jordan	4.59	-7
29	Kazakhstan	4.51	-4
30	Cambodia	4.49	+4
31	Kenya	4.49	-4
32	Ukraine	4.49	+11
33	Lebanon	4.44	-2
34	Uruguay	4.44	+2
35	Ghana	4.42	+2
36	Bangladesh	4.37	-3
37	Tunisia	4.33	-5
38	Mozambique	4.31	+1
39	Bolivia	4.30	-4
40	Paraguay	4.28	+2
41	Myanmar	4.23	+4
42	Nigeria	4.22	-2
43	Algeria	4.22	+3
44	Libya	4.20	+6
45	Iran	4.19	+3
46	Ethiopia	4.18	-8
47	Angola	4.16	-3
48	Uganda	4.15	-7
49	Tanzania	4.05	-2
50	Venezuela	3.79	-1

б)

Рисунок 3 – Внутрішні (а) та зовнішні (б) можливості ринків логістики за країнами
Джерело: на підставі [19]

Rank	Rank Change	Country	Overall Score	Last Year's Score	Domestic Opportunities	International Opportunities	Business Fundamentals	Digital Readiness
1	0	China	8.61	8.31	8.54	9.08	6.71	8.07
2	0	India	7.21	7.43	7.86	7.89	6.35	6.28
3	0	UAE	6.49	6.59	5.52	6.10	8.71	6.88
4	0	Malaysia	6.17	6.16	5.25	6.03	7.84	6.55
5	0	Indonesia	6.16	6.08	6.33	6.34	6.07	5.70
6	0	Saudi Arabia	6.05	6.02	5.41	6.11	7.28	6.02
7	0	Qatar	5.85	6.02	5.72	4.93	7.21	6.36
8	+2	Vietnam	5.73	5.52	5.26	6.44	6.03	5.20
9	0	Mexico	5.60	5.55	5.37	6.25	5.41	5.16
10	-2	Thailand	5.59	5.67	5.13	5.96	5.51	5.87
11	0	Turkey	5.45	5.49	5.24	5.49	5.59	5.62
12	-1	Chile	5.39	5.43	4.81	5.15	6.94	5.46
13	-1	Russia	5.35	5.18	5.04	5.62	5.12	5.53
14	+5	Brazil	5.29	5.17	5.46	5.75	4.21	5.21
15	-3	Oman	5.27	5.46	4.96	4.96	6.22	5.48
16	-2	Bahrain	5.22	5.31	4.92	4.68	6.68	5.34
17	-2	Jordan	5.19	4.59	4.59	4.59	4.25	5.25
18	0	Philippines	5.06	5.18	5.06	5.22	4.23	5.50
19	+4	Uruguay	5.04	4.98	4.84	4.44	6.37	5.18
20	+1	Egypt	5.04	5.06	5.18	4.72	5.83	4.65
21	-2	Kuwait	5.03	6.25	4.80	4.64	5.44	4.38
22	-2	Morocco	4.99	5.08	4.59	5.00	6.10	4.72
23	-1	Kazakhstan	4.99	4.99	4.67	4.51	6.07	5.34
24	0	South Africa	4.97	4.94	4.67	5.14	5.24	4.99
25	0	Kenya	4.91	4.86	4.66	4.49	5.23	5.69
26	+4	Sri Lanka	4.88	4.66	4.71	4.89	4.67	5.32
27	-1	Colombia	4.85	4.75	4.73	5.02	4.96	4.68
28	-1	Peru	4.83	4.78	4.72	5.04	4.87	4.67
29	-3	Pakistan	4.82	4.81	5.20	4.60	4.42	4.88
30	+1	Argentina	4.68	4.66	4.83	4.72	4.17	4.78
31	-2	Ghana	4.65	4.72	4.66	4.42	5.09	4.66
32	+5	Cambodia	4.65	4.46	4.56	4.49	4.44	5.16
33	+2	Bangladesh	4.61	4.53	5.06	4.37	3.90	4.82
34	+8	Ukraine	4.60	4.40	4.34	4.49	4.95	4.90
35	+4	Ecuador	4.56	4.46	4.52	4.63	4.51	4.54
36	-2	Nigeria	4.52	4.55	5.10	4.22	3.97	4.45
37	-2	Tunisia	4.50	4.60	4.55	4.33	5.04	4.25
38	-5	Lebanon	4.50	4.58	4.66	4.44	4.01	4.72
39	+1	Paraguay	4.49	4.46	4.51	4.28	4.43	4.83
40	-4	Iran	4.48	4.50	4.81	4.19	3.89	4.84
41	-2	Tanzania	4.43	4.47	4.74	4.05	4.69	4.30
42	-1	Algeria	4.39	4.45	4.79	4.22	4.50	3.93
43	0	Uganda	4.32	4.29	4.58	4.15	3.97	4.44
44	0	Bolivia	4.29	4.14	4.60	4.30	3.85	4.12

Рисунок 4 – Зовнішні можливості ринків логістики за країнами

Джерело: на підставі [19]

Business Fundamentals

Rank	Country	Score	Change
1	UAE	8.71	0
2	Malaysia	7.84	+2
3	Saudi Arabia	7.28	0
4	Qatar	7.21	-2
5	Jordan	6.95	+4
6	Chile	6.94	+2
7	China	6.71	0
8	Bahrain	6.68	-2
9	Uruguay	6.37	+4
10	India	6.35	+4
11	Oman	6.22	-6
12	Morocco	6.10	-2
13	Kazakhstan	6.07	-1
14	Indonesia	6.07	+2
15	Vietnam	6.03	+4
16	Egypt	5.83	+2
17	Kuwait	5.64	-6
18	Turkey	5.59	-3
19	Thailand	5.51	-2
20	Mexico	5.41	+5
21	South Africa	5.24	+2
22	Kenya	5.23	+2
23	Russia	5.17	-3
24	Ghana	5.09	-2
25	Tunisia	5.04	-4
26	Colombia	4.96	+2
27	Ukraine	4.95	+12
28	Peru	4.87	+2
29	Tanzania	4.69	-3
30	Sri Lanka	4.67	+2
31	Ecuador	4.51	-2
32	Algeria	4.50	-5
33	Cambodia	4.44	+3
34	Paraguay	4.43	0
35	Pakistan	4.42	+3
36	Philippines	4.23	-3
37	Brazil	4.21	0
38	Argentina	4.17	-3
39	Lebanon	4.01	+2
40	Uganda	3.97	0
41	Nigeria	3.97	+2
42	Bangladesh	3.90	+2
43	Iran	3.89	-12
44	Bolivia	3.85	-2
45	Ethiopia	2.98	0
46	Angola	2.75	+3
47	Mozambique	2.55	-1
48	Myanmar	1.74	-1
49	Libya	1.63	-1
50	Venezuela	1.47	0

Рисунок 5 – Оцінка показників базису діяльності

Джерело: на підставі [19]

Європейська енергетична криза після вторгнення Росії в Україну додала додатковий рівень складності до рішень, які виробники повинні приймати щодо своїх стратегій пошуку, виробництва та управління ланцюгом поставок. Висока вартість газу та електроенергії спричиняє те, що можна назвати «другою хвилею» переміщення виробництва з Європи, якщо не вагомим фактором у прийнятті рішення про перенесення виробництва в море чи ні. Це забезпечує поштовх для ринків з доступом до джерел недорогої енергії, Саудівська Аравія є одним із головних бенефіціарів [19, 20]. За методиками, запропонованими Agility, інвестиційна привабливість логістичних ринків, окрім логістичної інфраструктури ними оцінюється як сукупність ряду показників, кожний з яких має певний ваговий коефіцієнт, що періодично корегуються, а саме транспортні комунікації за рівнем їх величини та розвитку з урахуванням ринкової сумісності. За інформацією з аналітичного звіту, виконаного Agility Emerging Markets Logistics Index у 2024 складено рейтинг країн за можливостями логістичних ринків, за оцінками показників базису діяльності ринків з детальним описом за субіндексами наведень в пропонованій методиці [19, 20]. Наша країна [14,19,20,21] покращила показники, змістившись на 8 позицій.

Показники основ бізнесу (рис.5) також покращилися, на 12 [16,17, 18,19,20].

Глобальні економічні перспективи. Щоб оцінити настрої керівників відділів логістики щодо стану світової економіки, респондентів запитали, чи очікують вони світової рецесії у 2024 році. Об'єднання всіх відповідей, які передбачають рецесію, показує, що майже половина респондентів очікують глобальної рецесії в наступному році. Навпаки, близько чверті респондентів вважають, що світова економіка уникне рецесії у 2024 році та побачить помірне або сильне зростання. Це підкреслює інтенсивність невизначеності, що охопила світову економіку. 49,4% респондентів прогнозують рецесію на тлі різкого уповільнення зростання в найбільших економіках. У жовтні 2023 року МВФ відзначив зниження зростання ВВП до 2,9% у 2024 році, що значно нижче історичного (2000–2019) середнього показника в 3,8%. Світова економіка все ще не відповідає тенденціям до пандемії. Збіг факторів ланцюга змінюються, щоб не лише врахувати конкурентоспроможність місць розташування, але й вирішувати завдання підвищення стійкості, продуктивності та відповідності стандартам ESG, одночасно зменшуючи ризики. У зв'язку з цим результати опитування показують, що значна частина підприємств не хоче залишати китайський ринок, але така ж значна частина підприємств шукає альтернативи Китаю. Майбутні плани компаній малюють картину переналаштованих ланцюжків поставок, які все більше обходять Китай. Згідно з результатами опитування, починаючи з 2023 року Індія буде більш привабливим місцем виробництва та постачання, ніж Китай. Відповіді також підкреслюють високий рівень невизначеності, що панує у світовій економіці, з очікуванням рецесії через різке уповільнення зростання в найбільших економіках. Досліджуючи показники економічної активності у галузі транспорту встановлені основні функціональні залежності, структурні нюанси з базовими особливостями ринків перевезень: вантажного та пасажирського. Також досліджено проблематику та тенденції розвитку ринку транспортної логістики за видами транспорту. На цій основі визначено, що базові замовники для транспортних компаній, зокрема ті, які формують сталий портфель замовлень транспортних послуг, та забезпечують стійкість зростання транспортно- логістичного ринку перевезень в Україні мають пряме чи опосередковане відношення до галузі агропромислового комплексу та дорожньо-будівельної галузі. Доля автомобільного транспорту в системі зростає на тлі зростання попиту на вантажоперевезення, що свідчить про стабільний розвиток галузі. Споживчий, товарний оптовий та логістичний ринки в Україні демонструють схожі тенденції розвитку, які є збалансованими, а ринок транспортної

логістики, зокрема вантажних перевезень, має сталу тенденцію до розвитку, незважаючи на зниження темпів зростання.

Результати опитування показують, що ринок все ще характеризується надзвичайно високими витратами на логістику з кількох причин, зокрема перевізники з загальновідомих причин не підтримують ставки на вантажні перевезення на рівні попереднього року на основних торговельних напрямках, використовуючи важелі управління матеріальними потоками. Додатково, різке зростання витрат впливає на тарифи на фрахт. Наприклад, вищі витрати на паливо, які залишаються високими та нестабільними через вторгнення Росії в Україну, продовжують підвищувати тарифи на фрахт. Дефіцит робочої сили та інфляція також призвели до значного зростання вартості праці, що суттєво збільшує операційні витрати. Загалом, компанії по всьому світу продовжують стикатися з рядом викликів, включаючи високі витрати на вантажоперевезення, збої в ланцюгах постачання та зростання вартості палива. Ці обставини створюють значні проблеми для вантажовідправників і постачальників логістичних послуг, змушуючи їх шукати способи зменшити вплив на прибутки.

Встановлено, що у 2018-2023 роках на вантажні перевезення найбільше вплинули такі чинники: зростання споживчого попиту на природний газ в країнах європейського Союзу; сталий суттєвий внутрішній попит у роздрібній торгівлі, значний попит в сегменті споживачів, що мають відношення до агропромислового сектору економіки, а також працюють у сфері будівельної та будівельно – дорожньої галузей. Стосовно пасажирських перевезень автомобільним, повітряним, морським та внутрішнім водним транспортом, в даному сегменті транспортної логістики суттєвий вплив мали такі фактори як вихід на ринок авіаційних перевезень пасажирів авіакомпаній, навіть з урахуванням банкрутств (Ernest avia), а також значне здорожчання вартості транспортних послуг беручи за базу порівняння 2018р.

Встановлено, що у 2015-2019 роках попит на вантажні автомобільні перевезення коливався, а обсяги виконаної роботи змінювалися. Згідно з дослідженнями, структура парку вантажних автомобілів українських підприємств, особливо тих, що працюють на внутрішніх перевезеннях, суттєво не змінилася і не відповідає попиту – більшість вантажівок є морально застарілими. Виявлено, що вантажопідйомність до 90% вантажівок становить 1-10 тонн, причому близько 71% вантажних автомобілів експлуатуються понад 10 років, що призводить до збільшення витрат на перевезення. У 2015-2019 роках до 50% сумарного пробігу вантажного автотранспорту склав пробіг з вантажем.

За досліджуваний період 21,4% обсягу експорту в сегменті комерційних послуг в структурі займали транспортні послуги, причому в Україні частка імпорту досягла до 0,5%, частка експорту – 1,1% ринку послуг транспортної логістики. У Європейському Союзі фіксується близько 31,1% імпорту і 43,3% експорту послуг світової транспортної логістики. За статистикою, щодо Європейського Союзу, міжнародні морські перевезення становлять до 56%, автодорожні – до 21%, залізничні - до 3%, повітряні - до 24%. Причому, більш половини світового зовнішньоторговельного товарообміну здійснюється за мультимодальними схемами транспортування вантажів. Транспортно-експедиторські компанії та логістичні оператори контролюють 75% ринку. У структурі експортно-імпортних і транзитних операцій, доля автомобільних перевезень становить 12%, залізничного транспорту - 56,2%, трубопровідного - 29,9%. Порівняно з 2010-2015 роками доля перевезень автомобільним транспортом зросла в межах до 6%, а залізничних – на 7%. Обсяги транзиту автомобільним транспортом зросли, і таке середнє щорічне збільшення обсягу транзитних вантажопотоків свідчить про сталий довоєнний ріст транзитного потенціалу країни в розрізі автомобільних перевезень.

Висновки. Проаналізовано економічну активність галузі транспорту з дослідженнями структурних компонентів ринків вантажних і пасажирських перевезень, а також базових залежностей функціонування з їх впливом на динаміку розвитку логістичного ринку. Розглянуто тренди транспортної логістики на основі дослідження характеристик та особливостей перевезень за видами транспорту. Визначено базових замовників клієнтів транспортних компаній, що формують сталий портфель замовлень транспортних послуг, зокрема доведено, що стійкість зростання транспортно-логістичного ринку, ріст обсягів перевезень в Україні базується на транспортуванні вантажів, що мають пряме чи опосередковане відношення до галузі агропромислового комплексу та дорожньо-будівельної галузі економіки країни. Встановлено, на протязі п'яти довоєнних років в Україні частка транспортування автомобільним і залізничним транспортом має стійку тенденцію до зростання на основі збільшення попиту на перевезення зазначених галузей економіки країни, що підтверджує усталеність позитивного тренду для транспортно-логістичного ринку. Товарний та споживчий ринки разом з ринком логістичних послуг мають взаємопов'язані напрями розвитку і загалом залишаються збалансованими, тоді як ринок автомобільних і залізничних перевезень демонструє сталий тренд зростання з прогнозованою імовірністю уповільнення темпів росту. Таким чином, можна виокремити домінуючий вплив автомобільного та залізничного транспорту у забезпеченні потреб дорожньої та будівельної галузей, а також агросектору. Баланс у споживчому, оптовому та логістичному ринках, разом зі стабільним розвитком ринку логістичних послуг, підкреслює позитивні перспективи транспортного сектору країни.

Список літератури

1. Державний комітет статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (Дата звернення: 27.03.2024)
2. Міністерство інфраструктури України URL:<http://www.mintrans.gov.ua> (Дата звернення: 27.03.2024)
3. Міністерство економіки України URL: https://www.me.gov.ua/Documents/List?lang=uk-UA&id=f9c84884-09b4-42ff-9b8a-8924586e9d72&tag=docs_project (Дата звернення: 27.03.2024)
4. Іщенко Н.М. Маркетинг транспортних послуг : навч. посіб. для студ. спеціальності «Економіка підприємства». Миколаєв : ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. 272 с. URL: <http://lib.chdu.edu.ua/pdf/posibnuku/333/4.pdf> (Дата звернення: 27.03.2024)
5. Кушнір Н., Сюсько О. Аналіз сучасного стану світового ринку транспортних послуг. *Геополітика України: історія і сучасність*. 2019. №2(23). С. 135-146. URL: [https://doi.org/10.24144/2078-1431.2019.2\(23\)](https://doi.org/10.24144/2078-1431.2019.2(23)) (Дата звернення: 27.03.2024)
6. International Trade Statistics 2011, Statistic database WTO. URL: <http://www.wto.org> (Дата звернення: 27.03.2024)
7. Source. URL: https://transport.ec.europa.eu/facts-funding/studies-data/eu-transport-figures-statistical-pocketbook_en (Дата звернення: 27.03.2024)
8. Рахман М. С., Заїка О. В., Чорній Д. М. Маркетинговий аналіз транспортних послуг України на зовнішньому ринку. *Modern Economics*. 2021. № 29(2021). С. 143–150. DOI: [https://doi.org/10.31521/modecon.V29\(2021\)-22](https://doi.org/10.31521/modecon.V29(2021)-22).
9. Холод А. Маркетинговий аналіз ринку транспортних послуг. *Вісник СумДУ. Серія «Економіка»*. 2023. № 3. С. 29–38. – DOI: 10.21272/1817-9215.2023.3-02.
10. Рахман М. С., Євтушенко В. А. Дослідження транспортно-логістичних послуг як експортного потенціалу України. *Бізнес Інформ*. 2018. № 5. С. 42–49. URL: http://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2018-5_0-pages-42_49.pdf.
11. Гірна О. Б., Кобилюх О. Я. Реалії та перспективи для транспортної логістики. *Молодий вчений*. 2020. № 7. С. 202–214. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-7-83-45>

12. Попович П. В., Шевчук О. С., Матвіїшин А. Й., Лотоцька В. М. Дослідження тенденцій розвитку ринку вантажних автомобільних перевезень у сучасних умовах. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2016. № 2. С. 224–229.
13. Попович П., Шевчук О., Мурований І. Підвищення ефективності технологій перевезень організаційними шляхами надання транспортних послуг. *Вісник ХНТУСГ*. 2017. №184. С 124–130.
14. Маркетинг транспортних послуг: навч. посібник / О. І. Зоріна, В. А. Волохов, І. В. Волохова та ін.; за ред. О. І. Зоріної. Харків: УкрДУЗТ. 2018. 305 с.
15. Meibach Logistik. URL: <http://www.miebach.com> (Дата звернення: 27.03.2024)
16. A&A's. URL: <http://www.3plogistics.com/> (Дата звернення: 27.03.2024)
17. Тюріна Н. М., Гой І. В., Бабій І. В. Логістика: навч. посіб. К.: «Центр учбової літератури», 2015. 392 с.
18. Agility. URL: <https://emli.agility.com/rankings/> (Дата звернення: 27.03.2024)
19. Agility. URL: <https://www.agility.com/en/topics/supply-chain/> (Дата звернення: 27.03.2024)
20. УВК. URL: <http://www.uvk.ua/ua/reviews> (eforum.lntu.edu.ua) (Дата звернення: 27.03.2024)

References

1. Derzhavnyj komitet statystyky Ukrainy [State Statistics Committee of Ukraine]. Retrieved from: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (Last accessed: 27.03.2024) [in Ukrainian].
2. Ministerstvo infrastruktury Ukrainy [Ministry of Infrastructure of Ukraine]. Retrieved from: <http://www.mintrans.gov.ua>. (Last accessed: 27.03.2024) [in Ukrainian].
3. Ministerstvo ekonomiky Ukrainy [Ministry of Economy of Ukraine]. Retrieved from: https://www.me.gov.ua/Documents/List?lang=uk-UA&id=f9c84884-09b4-42ff-9b8a-8924586e9d72&tag=docs_project (Last accessed: 27.03.2024) [in Ukrainian].
4. Ischenko, N.M. (2013). *Marketynh transportnykh posluh [Marketing of transport services]*. Mykolaiev: ChDU im. Petra Mohyly. Retrieved from <http://lib.chdu.edu.ua/pdf/posibnuku/333/4.pdf> (Last accessed: 27.03.2024) [in Ukrainian].
5. Kushnir, N. & Sius'ko O. (2019). Analiz suchasnoho stanu svitovoho rynku transportnykh posluh [Analysis of the current state of the world market of transport services]. *Heopolityka Ukrainy: istoriia i suchasnist' - Geopolitics of Ukraine: history and modernity*, 2(23), 135-146 [in Ukrainian].
6. International Trade Statistics 2011, WTO. (2011). International Trade Statistics [Electronic resource]. Retrieved from <http://www.wto.org> (Last accessed: 27.03.2024)
7. European Commission. (n.d.). EU transport in figures: Statistical Pocketbook. Retrieved from https://transport.ec.europa.eu/facts-funding/studies-data/eu-transport-figures-statistical-pocketbook_en (Last accessed: 27.03.2024)
8. Rakhman, M. S., Zaika, O. V. & Chornij D. M. (2021). Marketynhovyj analiz transportnykh posluh Ukrainy na zovnishn'omu rynku [Marketing analysis of transport services of Ukraine on the foreign market]. *Modern Economics*, 29(2021), 143-150. DOI: [https://doi.org/10.31521/modecon.V29\(2021\)-22](https://doi.org/10.31521/modecon.V29(2021)-22) [in Ukrainian].
9. Kholod, A. (2023). Marketynhovyj analiz rynku transportnykh posluh [Marketing analysis of the transport services market]. *Visnyk SumDU. Seriiia «Ekonomika» - Bulletin of Sumy State University. "Economics" series*, 3, 29-38 DOI: 10.21272/1817-9215.2023.3-02 [in Ukrainian].
10. Rakhman, M. S. & Yevtushenko, V. A. (2018). Doslidzhennia transportno-lohistychnykh posluh iak eksportnoho potentsialu Ukrainy [Research of transport and logistics services as export potential of Ukraine]. *Biznes Inform - Business Inform*, 5, 42-49. URL: http://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2018-5_0-pages-42_49.pdf [in Ukrainian].
11. Hirna, O. B. & Kobylukh, O. Ya. (2020). Realii ta perspektyvy dlia transportnoi lohistyky [Realities and prospects for transport logistics]. *Molodyj vchenyj - A young scientist*, 7, 202–214. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-7-83-45> [in Ukrainian].
12. Popovych, P. V., Shevchuk, O. S., Matviishyn, A. J. & Lotots'ka, V. M. (2016). Doslidzhennia tendentsij rozvytku rynku vantazhnykh avtomobil'nykh perevezen' u suchasnykh umovakh [Study of trends in the development of the freight road transportation market in modern conditions]. *Visnyk Zhytomyr'skoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia: Tekhnichni nauky - Bulletin of the Zhytomyr State Technological University. Series: Technical sciences*, (2), 224-229 [in Ukrainian].
13. Popovych, P., Shevchuk, O. & Murovanyj, I. (2017). Pidvyschennia efektyvnosti tekhnolohij perevezen' orhanizatsijnymy shliakhamy nadannia transportnykh posluh [Increasing the efficiency of

- transportation technologies through organizational ways of providing transport services]. *Visnyk KhNTUSH - Bulletin of KhNTUSG*, 184, 124-130 [in Ukrainian].
14. Zorina, O. I., Volokhov, V. A. & Volokhova I. V. et al. (2018). Marketynh transportnykh posluh [Marketing of transport services]. Zorina O. I. (Ed.). Kharkiv: UkrDUZT [in Ukrainian].
 15. Meibach Logistik. Retrieved from: <http://www.miebach.com> (Last accessed: 27.03.2024).
 16. A&A's. Retrieved from: <http://www.3plogistics.com/> (Last accessed: 27.03.2024).
 17. Tiurina, N. M., Hoj, I. V. & Babij, I. V. (2015). Lohistyka [Logistics]. K.: «Tsentr uchbovoi literatury» [in Ukrainian].
 18. Agility. Retrieved from: <https://emli.agility.com/rankings/> (Last accessed: 27.03.2024).
 19. Agility. Retrieved from: <https://www.agility.com/en/topics/supply-chain/> (Last accessed: 27.03.2024).
 20. UVK Retrieved from: http://www.uvk.ua/ua/reviews_ (Last accessed: 27.03.2024).

Yurii Koval, post-graduate, **Olga Chorna**, Assoc. Prof., Ph.D econ. sci., **Pavlo Popovich**, Prof., DSc., **Oksana Shevchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ihor Loik**, post-graduate, **Serhii Myshko**, post-graduate, **Maksym Vitruk**, post-graduate, **Vlad Drozhak**, post-graduate
Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

Features of the development of the transportation services market

The article examines the main trends in the development of the transport logistics market in terms of passenger and cargo transportation. The main factors that determine the activity from the perspective of the dynamics of the development of transport companies have been analytically investigated. The economic activity of the transport industry was analyzed with studies of the structural components of the freight and passenger transport markets, as well as the basic dependencies of functioning with their influence on the dynamics of the development of the logistics market. The trends of transport logistics are considered based on the study of the characteristics and features of transportation by types of transport. The basic customers of customers of transport companies that form a stable portfolio of orders for transport services have been determined, in particular it has been proven that the stability of the growth of the transport and logistics market, the growth of transportation volumes in Ukraine is based on the transportation of goods that are directly or indirectly related to the field of agro-industrial complex and road construction branches of the country's economy. It was established that during the five pre-war years in Ukraine, the share of transportation by road and rail transport has a steady trend of growth based on the increase in demand for transportation of the specified branches of the country's economy, which confirms the establishment of a positive trend for the transport and logistics market. The commodity and consumer markets, together with the logistics services market, have interrelated directions of development and generally remain balanced, while the road and rail transportation market shows a steady growth trend with a predicted probability of slowing growth rates. The results of the study can be used in forecasting the level of stability of logistics services market segments, taking into account cargo and passenger transportation by types of transport, as well as for improving or updating tools for planning the work of transport forwarding, logistics and transportation enterprises.

transport logistics, passenger transportation, cargo transportation, logistics market structure, logistics services

Одержано (Received) 06.05.2024

Прорецензовано (Reviewed) 13.06.2026

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 656.078

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.241-247](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.241-247)

Н.М. Фалович, доц., канд. екон. наук, **О.С. Шевчук**, доц., канд. техн. наук,
В.А. Фалович, проф., д-р екон. наук, **О.П. Захарчук**, доц., канд. техн. наук
Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

П.А. Бакулін, магістр

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

*e-mail: n.falovych@gmail.com, oksana_shevchuk84@ukr.net, falovych@gmail.com,
 OlenaSkyba8500@gmail.com, nataliabakulina79@gmail.com*

Соціальні та економічні параметри формування плану сталої міської мобільності Тернопільської міської територіальної громади

Стаття присвячена аналізу соціальних та економічних параметрів формування Плану сталої міської мобільності (ПСММ) Тернопільської міської територіальної громади. У дослідженні розглянуто ключові аспекти розвитку громади, включаючи демографічні тенденції, рівень зайнятості, економічні показники та соціальну інфраструктуру. Зроблено прогнозування щодо розвитку економічного сектору громади: окремо для м. Тернопіль та окремо для сільських поселень. Окреслено ключові напрямки розвитку господарства громади та перспективи розподілу працездатного населення за окремими видами діяльності. Визначено основні виклики та можливості, що стоять перед громадою, а також пропонують стратегічні підходи до покращення якості життя мешканців та підвищення конкурентоспроможності громади на регіональному рівні.

розподіл населення, соціальна інфраструктура, мобільність населення, транспортні райони, пасажирські кореспонденції

Постановка проблеми. Місто Тернопіль є центром Тернопільської області та з 21 листопада 2018 року центром створеної Тернопільської міської територіальної громади у склад якої увійшли десять населених пунктів (с. Вертелка, с. Глядки, с. Городище, с. Іванківці, с. Кобзарівка, с. Курівці, с. Малашівці, с. Носівці, с. Плесківці, с. Чернихів). Згідно з даними станом на 2020 рік чисельність населення в Тернопільській МТГ становила 226400 осіб.

Таблиця 1 – Чисельність наявного населення Тернопільської міської територіальної громади станом на 1.01.2020 року (осіб)

Склад ОТГ (населені пункти)	всього	у тому числі	
		чоловіки	жінки
м. Тернопіль	223500	102140	121360
с. Кобзарівка	330	140	190
с. Вертелка	356	152	204
с. Курівці	621	261	360
с. Малашівці	259	111	148
с. Іванківці	335	146	189
с. Чернихів	400	172	228
с. Глядки	263	117	146
с. Плесківці	125	50	75
с. Городище	111	49	62
с. Носівці	100	44	56
Всього	226400	103382	123018

Джерело: розроблено авторами на основі [1]

© Н.М. Фалович, О.С. Шевчук, В.А. Фалович, О.П. Захарчук, П.А.Бакулін, 2024

Таблиця 2 – Чисельність чоловіків (за віком) Тернопільської міської територіальної громади станом на 1.01.2020 року(осіб)

Чоловіки за віком						
0-5р.	6-14р.	15-18р.	19-25р.	25-35р.	35-60р.	60 і старше
7208	11738	4025	9295	18470	36022	15312
15	17	6	13	28	52	23
11	17	6	14	28	53	23
20	33	16	26	51	103	46
10	17	5	11	22	41	18
10	16	4	13	24	49	22
15	25	5	16	30	60	26
7	10	4	9	19	38	15
7	9	3	6	12	27	10
6	6	2	5	9	17	10
3	5	2	4	7	12	8
7312	11893	4078	9412	18700	36474	15513

Джерело: розроблено авторами на основі [2]

Таблиця 3 – Чисельність жінок (за віком) Тернопільської міської територіальної громади станом на 1.01.2020 року(осіб)

Жінки за віком						
0-5р.	6-14р.	15-18р.	19-25р.	25-35р.	35-60р.	60 і старше
7787	11822	4067	9583	20563	43410	23937
30	35	10	12	39	72	44
40	33	8	13	30	64	46
51	47	14	27	56	133	68
20	23	9	10	30	60	26
24	25	9	12	20	58	44
17	29	8	17	38	82	40
9	21	8	10	23	40	32
9	10	8	5	14	36	24
6	12	5	6	12	19	11
7	10	4	5	10	11	9
8000	12067	4150	9700	20835	43985	24281

Джерело: розроблено авторами на основі [2]

Згідно з діючою містобудівною документацією Тернопільської МТГ [3] сформульовано головні аспекти розвитку економічного сектору громади та перспективи зайнятості працездатного населення за видами діяльності. Сільські території об'єднаної громади планується охопити новими об'єктами промисловості, сільського господарства та невиробничої сфери. Також у планах у виробничому секторі залучення до економічної діяльності на нових об'єктах близько 1260 працівників, з яких близько 1000 працівників - індустріальному парку, інша частина – у селах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті здійснено аналіз статистичної інформації щодо розселення наявного населення м. Тернопіль та Тернопільської міської територіальної громади, розвитку господарського комплексу та соціальної інфраструктури. Проведено аналіз генерального плану та містобудівної документації.

Постановка завдання. Визначення основних напрямків формування соціально-економічної інфраструктури Тернопільської міської територіальної

громади, дослідження демографічних чинників розселення населення громади за транспортними районами, а також прогнозування чисельності та структури населення громади.

Виклад основного матеріалу. В ході вивчення розселення населення Тернопільської МТГ можемо констатувати що найгустіше заселеним транспортним районом є «Мікрорайон №9», на другому місці - «Мікрорайон №11». Ці транспортні райони є найбільшими об'єктами тяжіння пасажирських кореспонденцій. Проте, зважаючи на майбутнє планування рекреаційних зон та плани реконструкції існуючих забудов масштаби та структура транспортних потоків може змінитися.

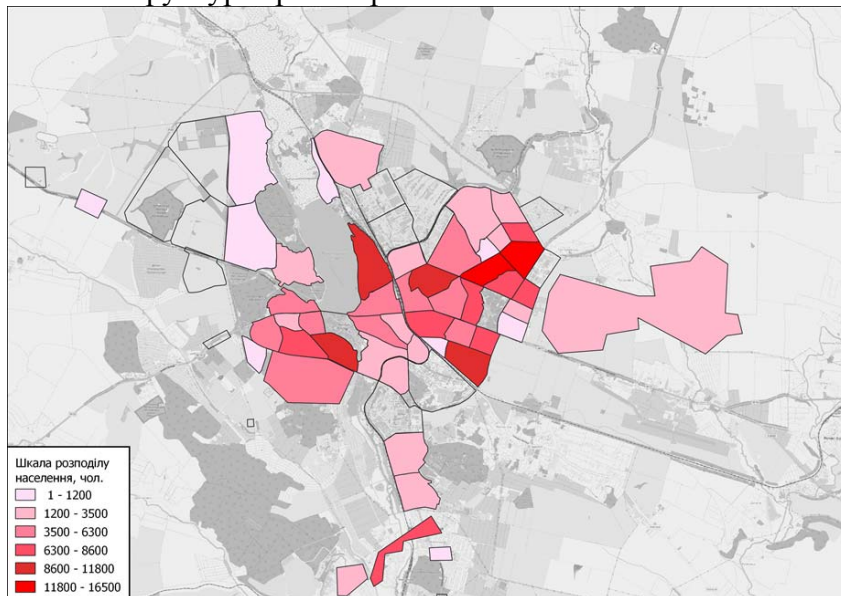


Рисунок 1 - Розподіл населення за транспортними районами міста

Джерело: розроблено автором або на підставі [4]

Прогноз чисельності населення Тернопільської МТГ розглянуто окремо для м. Тернопіль та сіл. Чисельність населення м. Тернопіль до 2031 року прогнозується у 230 тис. осіб, відповідно до діючого Генерального плану міста. Для прогнозу чисельності населення сіл, за відсутності статистичної інформації щодо природного та механічного руху населення по кожному окремому населеному пункту, приймалися наявні дані перепису 2001 року, існуючої чисельності населення та прогноз чисельності сільського населення по Зборівському району.

Визначення прогнозних значень чисельності населення в селах Тернопільської МТГ до 2031 та 2036 років представлено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Існуючий та прогнозний розподіл населення в працездатному віці, тис. осіб (орієнтовно)

Назва населених пунктів	Реалістичний варіант		Оптимістичний варіант	
	на 01.01.2031	на 01.01.2036	на 01.01.2031	на 01.01.2036
с. Кобзарівка	289	279	311	308
с. Вертелка	329	318	354	350
с. Курівці	667	644	716	709
с. Малашівці	235	227	253	250
с. Іванківці	281	272	302	299
с. Чернихів	351	339	376	373
с. Глядки	200	193	214	212
с. Плєсківці	129	124	138	137

Джерело: розроблено авторами на основі [1]

У таблиці 5 наведено дані з орієнтовною чисельністю зайнятих у господарському комплексі громади та прогноз чисельності на розрахунковий період.

Таблиця 5 – Зайнятість населення Тернопільської МТГ на об'єктах промисловості, сільського господарства та невиробничої сфери (наявні та прогнозні розрахунки)

Сфери зайнятості	Існуючий стан	Розрахунковий строк
Населення, усього	217,4	230,0
Трудові ресурси (А+Б+В), усього	148,3	128,6
Усього зайнято, у т.ч.:	112,5	122,3
А. Виробнича сфера, усього	31,82	31,5
у тому числі:		
– добувна та обробна промисловість, виробництво електроенергії, виробництво та розподіл газоподібного палива, тепла та води	16,44	18,5
– будівництво	5,74	6,0
– транспорт та зв'язок	8,75	8,8
– інші (сільське та лісове господарство)	0,88	0,5
Б. Невиробнича сфера, усього	45,3	51,8
В. Малі підприємства	19,5	17,0
Г. Підприємці - фізичні особи	15,9	22,0
В. Незайняте населення та безробітні	35,77	6,3

Джерело: розроблено авторами на основі [5,6,8]

Зокрема проектними об'єктами сільської місцевості громади є: тваринництво (свинарство, конярство), підприємства добувної та переробної промисловості, а також підприємства-виробники електроенергії.

У виробничий сектор економіки Тернопільської МТГ передбачається задіяти близько 1260 працівників (в індустріальному парку 1000 працівників, у селах відповідно 260 працівників).

Таблиця 6 – Проектні об'єкти на території Тернопільської МТГ

	Перелік об'єктів	Чисельність працівників, (орієнтовно)
Тернопільська міськрада	індустріальний парк	1000
с. Кобзарівка	сонячна електростанція	5
с. Кобзарівка	добування торфу	5
с. Вертелка	сонячна електростанція	5
с. Курівці	ковбасний цех	20
с. Курівці	свинокомплекс (3000 голів)	100
с. Курівці	свинокомплекс (1500 голів)	50
с. Малашівці	цех бутильованої води	10
с. Малашівці	сміттєсортувальний цех	10
с. Іванківці	сонячна електростанція	10
с. Плєсківці	вітроелектростанція	10
с. Плєсківці	2 конєферми (до 50 голів кожна)	20
с. Плєсківці	цех бутильованої води	10
с. Глядки	сонячна електростанція	5
Разом		1260

Джерело: розроблено авторами

Розвиток невиробничого сектора економіки значною мірою пов'язаний із зростанням туристично-рекреаційної діяльності. Найбільший вплив туристично-рекреаційна галузь здійснює на такі види економічної діяльності, як «тимчасове розміщення та організація харчування» (розміщення відпочивальників у рекреаційних установах). Очікується, що рекреаційні заклади будуть працювати переважно сезонно. Основні види таких закладів – це бази відпочинку та пансіонати. Впродовж прогнозованого періоду у рекреаційній діяльності буде задіяно близько 1200 осіб, з яких у готельній діяльності приблизно 100 осіб.

Також в громаді планується розвиток транспортної сфери та сфери зв'язку, що у свою чергу тягне за собою збільшення чисельності працівників. Зростання чисельності найманих працівників планується також у сфері перевезення туристів та відпочивальників, а також у суміжних транспортних послугах.

Висновки. На основі аналізу нормативно-правової бази [7,9,10] та проведеного дослідження можемо запропонувати такі рекомендації для розвитку соціальної інфраструктури, яка обслуговує населення та має пріоритетне значення, зазвичай фінансується з місцевого бюджету:

1. Розвиток дошкільної освіти:

- У селах Вертелка та Іванківці необхідно створити окремі заклади дошкільної освіти.
- У селах Кобзарівка і Курівці рекомендується організувати дошкільні групи на базі загальноосвітніх шкіл.
- Забезпечити транспортування дітей дошкільного віку з села Малашівці до закладу дошкільної освіти у селі Кобзарівка, а з сіл Плєсківці та Глядки до закладу дошкільної освіти у селі Чернихів.

2. Медичне обслуговування:

- Заклади охорони здоров'я потребують збільшення автопарку на три одиниці. Один автомобіль слід розмістити в селі Малашівці при АЗПСМ, а інший при ФАП у селі Глядки. Це рішення базується на постанові Кабінету Міністрів України від 21.11.2012 №1119 «Про норматив прибуття бригад екстреної (швидкої) медичної допомоги на місце події».
- Госпітальні округи Тернопільської області наразі не визначені, оскільки розпорядження Кабінету Міністрів України від 22.03.2017 №204-р втратило чинність згідно з розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27.11.2019 №1254-р.

3. Фізкультурно-оздоровчі та спортивні споруди:

- Пропонується будівництво нових спортивних споруд у Тернополі відповідно до генерального плану (з урахуванням змін). У нових громадських центрах та селах громади за оновленою містобудівною документацією передбачено зведення спортивних залів та плавальних басейнів.

4. Культурне та мистецьке обслуговування:

- Сучасний рівень попиту на культурні та мистецькі послуги знизився через науково-технічний прогрес. Телебачення та інтернет наблизили розважальні, мистецькі та інформаційні продукти до населення, а електронні книги, планшети та інтернет складають конкуренцію бібліотекам.

5. Торгівля та харчування:

- Підприємства торгівлі та харчування матимуть у прогнозований період ємність значно вищу від нормативних показників, тому додаткового розвитку не потребують. Проте ринкові відносини та попит будуть впливати на їх подальший розвиток.

6. Побутове обслуговування:

- Попит також буде регулювати обсяг підприємств побутового обслуговування, ємність яких за нормативами є майже на 45% нижчою за норму.

Список літератури:

1. Головне управління статистики у Тернопільській області. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення 12.06.2024)
2. Статистичний збірник «Тернопіль у цифрах 2017» Головного управління статистики у Тернопільській області.
3. Схема планування території Тернопільської міської територіальної громади. Пояснювальна записка. Київ 2019.
4. Територіальне районування м. Тернополя. Том 1. Загальна пояснювальна записка 5-17-ПЗ.
5. Єдина державна електронна база з питань освіти. URL: <https://info.edbo.gov.ua> (дата звернення 12.06.2024)
6. Тернопільська міська рада. URL: <https://ternopilcity.gov.ua/news/52999.html> (дата звернення 12.06.2024)
7. Указ Президента «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» від 30.09.2019 N 722/2019. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/MN022183> (дата звернення 12.06.2024)
8. Внесення дострокових змін до генерального плану міста Тернопіль. Пояснювальна записка. Київ-2017.
9. Закон України «Про транспорт», редакція від 16.10.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232/94-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення 12.06.2024)
10. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про затвердження плану заходів з реалізації Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» від 07 квітня 2021 р. № 321-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> (дата звернення 12.06.2024)

References

1. Holovne upravlinnia statystyky u Ternopil's'kij oblasti [Main Department of Statistics in Ternopil region]. Retrieved from: URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (Last accessed: 12.06.2024) [in Ukrainian].
2. Statystychnyj zbirnyk «Ternopil' u tsyfrakh 2017» [Statistical collection "Ternopil in numbers 2017"]. Holovne upravlinnia statystyky u Ternopil's'kij oblasti [in Ukrainian].
3. Skhema planuvannia terytorii Ternopil's'koi mis'koi terytorial'noi hromady . [Territory planning scheme of the Ternopil urban territorial community] 2019. Kyiv [in Ukrainian].
4. Terytorial'ne rajonuvannia m. Ternopolia. Tom 1. Zahal'na poiasniual'na zapyska 5-17-PZ [Territorial zoning of the city of Ternopil. Volume 1. General explanatory note 5-17-PZ] [in Ukrainian].
5. Yedyna derzhavna elektronna baza z pytan' osvity [The single state electronic database on education. Retrieved from: URL: <https://info.edbo.gov.ua> (Last accessed: 12.06.2024) [in Ukrainian].
6. Ternopil's'ka mis'ka rada [Ternopil city council]. Retrieved from: URL: <https://ternopilcity.gov.ua/news/52999.html> (Last accessed: 12.06.2024) [in Ukrainian].
7. Ukaz Prezydenta «Pro Tsili staloho rozvytku Ukrainy na period do 2030 roku» vid 30.09.2019 N 722/2019 [Presidential Decree "On Sustainable Development Goals of Ukraine for the period until 2030" dated September 30, 2019 N 722/2019]. Retrieved from: URL: <https://ips.ligazakon.net/document/MN022183> (Last accessed: 12.06.2024) [in Ukrainian].
8. Vnesennia dostrokovykh zmin do heneral'noho planu mista Ternopil' [Introduction of early changes to the general plan of the city of Ternopil] (2017). Kyiv [in Ukrainian].
9. Zakon Ukrainy «Pro transport» redaktsiia vid 16.10.2020 [Law of Ukraine "On Transport" edition of 16.10.2020]. Retrieved from: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232/94-%D0%B2%D1%80#Text> (Last accessed: 12.06.2024) [in Ukrainian].
10. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy «Pro zatverdzhennia planu zakhodiv z realizatsii Natsional'noi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku» vid 07 kvitnia 2021 r. № 321-r [Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine "On approval of the plan of measures for the implementation of the National Transport Strategy of Ukraine for the period until 2030" dated April 7, 2021 No. 321]. Retrieved from: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> (Last accessed: 12.06.2024) [in Ukrainian].

Nataliia Falovych, Assoc. Prof., Ph.D econ. sci., **Oksana Shevchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.,
Volodymyr Falovych, Prof., Doctor of Economic Sciences, **Olena Zakharchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

Petro Bakulin, Master
Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

Social and economic parameters of the formation of PSMM of Ternopil urban territorial community

The process of urbanization promotes an increase in the population density of territories, which has significant consequences for the formation of the living environment of residents of cities and nearby settlements, and is an important factor in the socio-economic development of society. At the same time, the growth of population concentration in cities leads to a rapid increase in the need for movement and an increase in the number of vehicles. Facing the choice of strategic directions for the development of settlements, which would allow overcoming the existing challenges of transportation.

The article is devoted to the analysis of the social and economic parameters of the formation of the Sustainable Urban Mobility Plan (SMM) of the Ternopil urban territorial community. The study examines key aspects of community development, including demographic trends, employment rates, economic performance and social infrastructure. A forecast of the development of the economic complex of the Ternopil MTG was made separately for the city of Ternopil and villages. According to the current urban planning documentation of the Ternopil MTG, the main directions of development of the community's economic complex and prospects for the distribution of the working-age population by types of economic activity were determined. The distribution of the population of Ternopil MTG by age and gender was analyzed. The main challenges and opportunities facing the community are identified, and strategic approaches to improving the quality of life of residents and increasing the community's competitiveness at the regional level are proposed.

The measures proposed within the framework of PSMM are aimed not only at the development of infrastructural support of the community's transport system, but also at the organization of the use of urban space in accordance with the mobility needs of all population groups, improving the quality of data collection necessary for analysis, capacity development and promotion of sustainable modes of movement.

population distribution, social infrastructure, population mobility, transport areas, passenger correspondence

Одержано (Received) 09.05.2024

Прорецензовано (Reviewed) 13.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 711.4

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.247-256](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.247-256)

О.С. Шевчук, доц., канд. техн. наук, **К.М. Березька**, доц., канд. техн. наук, **О.П. Захарчук**, доц., канд. техн. наук, **Н.М. Фалович**, доц., канд. екон. наук, **Р.В. Сіран**, асп.
Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна
e-mail: oksana_shevchuk84@ukr.net, k.berezka@wunu.edu.ua, olenaskyba8500@gmail.com, n.falovych@gmail.com, Siran_rv@ukr.net

Інституційні та нормативно-правові аспекти регулювання сталої міської мобільності

Сучасні умови та виклики, з якими зіштовхуються українські міста та громади вносять свої корективи у можливість реалізації стратегічних планів розвитку з дотриманням принципів сталої мобільності. У статті розкрито та проаналізовано українське законодавство та його інтеграцію з міжнародним законодавством з питань транспортної інфраструктури, сталої міської мобільності та можливості втілити прийняті законодавчі акти у життя українського суспільства. На сьогоднішній день це питання є досить актуальним, після завершення війни необхідно відбудувати міста, транспортну

© О.С. Шевчук, К.М. Березька, О.П. Захарчук, Н.М. Фалович, Р.В. Сіран, 2024

інфраструктуру України на засадах економічного, екологічного та соціального розвитку. Європейський досвід нам говорить, що містобудівні документи повинні включати проєктувальні рішення, що мають людиноорієнтований характер для безпечного і сталого міського середовища, пропагують відмову автомобілів в повсякденному використанні без вагомих причин, пропонують планування нових територій із функціональним різноманіттям та чіткою ієрархією вулиць та кварталів.

законодавчі акти, урбанізація, міська мобільність, сталий розвиток, громадський транспорт, транспортна інфраструктура, екологічні аспекти, безпека руху

Постановка проблеми. Посилення урбанізаційних тенденцій у містах викликає значні зміни в різних аспектах міського життя. Інфраструктурний розвиток стає критично важливим, оскільки необхідно створювати ефективні транспортні системи, включаючи громадський транспорт, велодоріжки та пішохідні зони, а також впроваджувати інтелектуальні транспортні системи для зменшення заторів. Забезпечення доступного житла та розробка нових житлових районів з урахуванням енергоефективності та екологічних стандартів є ключовими завданнями, так само як і модернізація водопостачання, каналізації, електропостачання та інших комунальних послуг для задоволення зростаючих потреб населення. Варто відзначити, що ключові принципи розвитку сталої мобільності, які полягають у збалансованому розвитку та взаємній інтеграції різних видів транспорту та поєднанні економічних, соціальних та екологічних аспектів не передбачені діючими галузевими програмними документами у сфері транспорту, містобудування та екології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вікторія Прокопенко активно займається питанням у вивченні розвитку сталої мобільності та досліджує кращі практики міст України, метою її роботи є виявити кращий досвід українських міст з врахуванням їх догягнень в сфері мобільності, екології та рівня доступності [7]. Анна Сотникова досліджує взаємодію пішохідних та велосипедних потоків на вулично-дорожній мережі міста [9]. Литвиненко Тарас вивчає методики створення велоінфраструктури у великих і середніх містах та використання екологічних видів транспорту [8]. Дослідження сталої міської мобільності ґрунтуються на законах та нормативних актах, що регулюють розвиток міських громад та мобільність, серед таких документів: Конституція України, Закон України «Про транспорт», закони про місцеве самоврядування, про співробітництво територіальних громад та інші.

Постановка завдання. Аналіз інституційних та нормативно-правових аспектів регулювання та визначення пріоритетних напрямків розвитку сталої міської мобільності у містах України. Дані стратегічні документи, направлені на вирішення нагальних проблем функціонування транспортної системи, сфери землекористування та в інших сферах, дотичних до розвитку сталої мобільності. Результатом впровадження даних регламентацій, що враховують принципи сталості, є розвиток міст України у визначених стратегічних напрямках.

Виклад основного матеріалу дослідження. Соціально-економічний розвиток стає ще важливішим в умовах посилення урбанізації, оскільки міські економіки потребують підтримки малого та середнього бізнесу, інноваційних компаній і створення нових робочих місць. Покращення доступу до якісної освіти та медичних послуг, а також розвиток інфраструктури для навчання і здоров'я стають пріоритетними завданнями. Важливо також забезпечувати рівні можливості для всіх мешканців міста та боротися з бідністю і соціальною нерівністю.

Екологічна стійкість міст в умовах посилення урбанізації включає розширення парків, скверів та інших зелених зон для покращення якості повітря і забезпечення місць відпочинку. Впровадження енергоефективних технологій у будівництві та міському господарстві, використання відновлюваних джерел енергії стають критично

важливими. Ефективне управління відходами, включаючи сортування, переробку та повторне використання матеріалів, також є важливим аспектом.

Технологічні інновації грають ключову роль у розвитку міст, спрямовані на використання цифрових технологій для управління міськими процесами, наприклад, розумні системи освітлення, управління трафіком та моніторинг екологічного стану. Розвиток високошвидкісних інтернет-мереж та впровадження інтернету речей (IoT) підвищують ефективність міських послуг.

Посилення урбанізаційних тенденцій ставить перед містами нові виклики, але водночас відкриває великі можливості для розвитку. Урбаністичне планування має бути комплексним і включати розробку стратегії міського розвитку з урахуванням усіх аспектів – економічних, соціальних та екологічних. Участь громадськості у процесах планування і прийняття рішень сприяє більшому залученню та відповідальності громади за розвиток міста.

Основні пункти, які дозволяють обрати стратегічні напрямки розвитку міст України і дозволяють подолати транспортні проблеми:

- Як забезпечити комфортне, швидке та екологічне переміщення містом для громадян?
- Як ефективно планувати і використовувати територію міст?
- Як зробити місто привабливим для людей з використанням цифрових технологій?

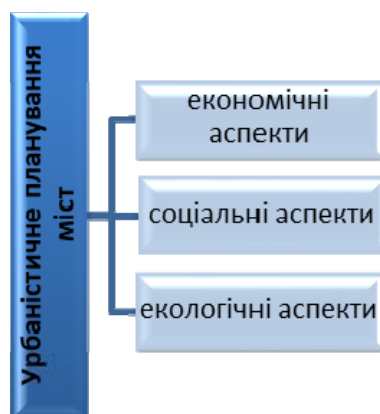


Рисунок 1 - Основні аспекти розвитку міст

Джерело: розроблено авторами

Розвиток сучасного міста в умовах зростання урбанізації є складним і багатограним процесом, що включає економічні, соціальні, екологічні та технологічні аспекти (рис. 1).

Із врахуванням міжнародного досвіду можна чітко сформулювати план, який буде містити лише комплексний підхід до транспортного планування. Розробка плану сталої мобільності у містах стала ключовим питанням та документом, який дозволить спланувати майбутнє міста із врахуванням побажань мешканців та залучення професіоналів практиків із транспортного планування, щоб зробити життя у містах комфортним, безпечним і адаптованим до сучасних викликів та швидкого розвитку технологій [5].

Концепція сталої мобільності передбачає, що в пріоритеті мають бути пішоходи, друге місце – велосипедисти, третє місце – громадський транспорт і лише на третьому місці – приватні автомобілі (рис. 2). Лише тоді коли комплексно враховувати всі фактори можна забезпечити сталий розвиток міст.

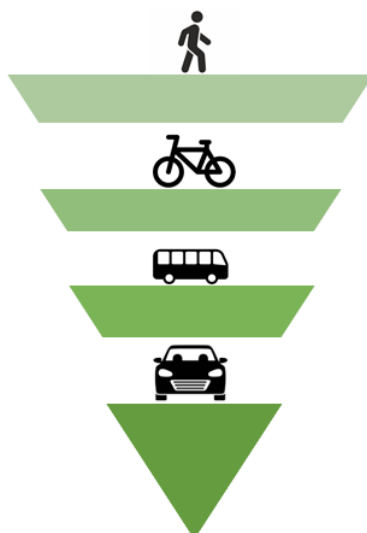


Рисунок 2 - Ієрархічна структура планування міського простору

Джерело: розроблено авторами

Одним з найбільш ефективних інструментів управління сталим розвитком транспортних систем міст є розробка та впровадження Плану сталої міської мобільності (ПСММ).

План сталої міської мобільності (*Sustainable Urban Mobility Plan, SUMP*) – це стратегічний документ, який має на меті поліпшення якості життя мешканців міста шляхом розвитку ефективної та екологічної транспортної системи. Основні цілі такого плану включають зменшення шкідливих викидів, покращення транспортної доступності, підвищення безпеки на дорогах та сприяння використанню громадського транспорту, велосипедів і пішохідного руху. Ключові етапи та елементи розробки Плану сталої міської мобільності починаються з аналізу поточної ситуації, який включає збір даних та оцінку поточного стану транспортної системи, зокрема обсяги трафіку, інфраструктуру, громадський транспорт, аварійність, рівень забруднення повітря та шуму, а також оцінку потреб мешканців та бізнесу [10].

Наступним кроком є визначення стратегічних цілей і конкретних завдань, наприклад, зменшення шкідливих викидів в навколишнє середовище, підвищення частки використання громадського транспорту, застосування заходів дорожньої безпеки, побудова нових велосипедних доріжок, модернізація парку громадського транспорту, впровадження системи контролю за паркуванням. Після цього розробляється стратегія, яка включає інтеграцію транспорту, забезпечення зручного сполучення між різними видами транспорту (автомобілі, автобуси, трамваї, метро, велосипеди), а також екологічні заходи, такі як впровадження електричних автобусів, створення зон з обмеженим трафіком, збільшення зелених зон [6].

Планування заходів передбачає як короткострокові заходи, такі як вдосконалення існуючої інфраструктури і зміни в регулюванні руху, так і довгострокові проекти, такі як будівництво нових ліній метро та розвиток мережі електричних зарядних станцій. Після цього здійснюється впровадження заходів згідно з планом, забезпечення фінансування, залучення громадськості та постійний моніторинг за досягненням поставлених цілей з можливістю корекції плану при необхідності [3].

Важливим аспектом є залучення громадськості через регулярні консультації з громадськістю та бізнесом, врахування їхніх зауважень та пропозицій, а також інформування про етапи реалізації та досягнуті результати. У рамках ПСМ передбачено розвиток громадського транспорту, створення виділених смуг для автобусів,

впровадження електронних квитків, модернізація рухомого складу, розширення тротуарів, облаштування пішохідних зон, підземних і надземних переходів, будівництво велодоріжок, велопарковок, створення пунктів прокату велосипедів, впровадження зон платного паркування, створення карпулінгових сервісів, підтримка електромобілів, розвиток мережі зарядних станцій та стимулювання використання електроскутерів.

Розробка та впровадження Плану сталої міської мобільності сприяє створенню комфортних, безпечних та екологічно чистих міських просторів, що в кінцевому підсумку покращує якість життя громадян.

Приклади заходів у рамках ПСММ:

▪ **Розвиток громадського транспорту:** створення виділених смуг для автобусів, впровадження електронних квитків, модернізація рухомого складу.

▪ **Пішохідна інфраструктура:** розширення тротуарів, облаштування пішохідних зон, підземних і надземних переходів.

▪ **Велосипедна інфраструктура:** будівництво велодоріжок, велопарковок, створення пунктів прокату велосипедів.

▪ **Зменшення використання приватних автомобілів:** впровадження зон платного паркування, створення карпулінгових сервісів.

▪ **Розвиток електротранспорту:** підтримка електромобілів, розвиток мережі зарядних станцій, стимулювання використання електроскутерів.

Для України концепція сталого розвитку була задекларована рядом міжнародних документів, які підкреслюють важливість забезпечення розвитку сталої мобільності, як одного з інструментів досягнення глобальних цілей сталого розвитку (рис. 3):

- Рамкова конвенція ООН зі зміни клімату;
- Резолюція Генеральної Асамблеї ООН «Перетворення нашого світу»;
- Нова програма розвитку міст;
- Лейпцизька Хартія «Міста Європи на шляху до сталого розвитку».



Рисунок 3 - Міжнародне законодавство в концепції сталого розвитку

Джерело: розроблено авторами

На сьогодні в національному законодавстві найбільш значущими з точки зору забезпечення сталої мобільності є наступні документи (рис. 4):

- Угода про асоціацію України з ЄС;
- Національна транспортна стратегія «Drive Ukraine 2030»;
- Указ Президента «Про цілі сталого розвитку України на період до 2030».

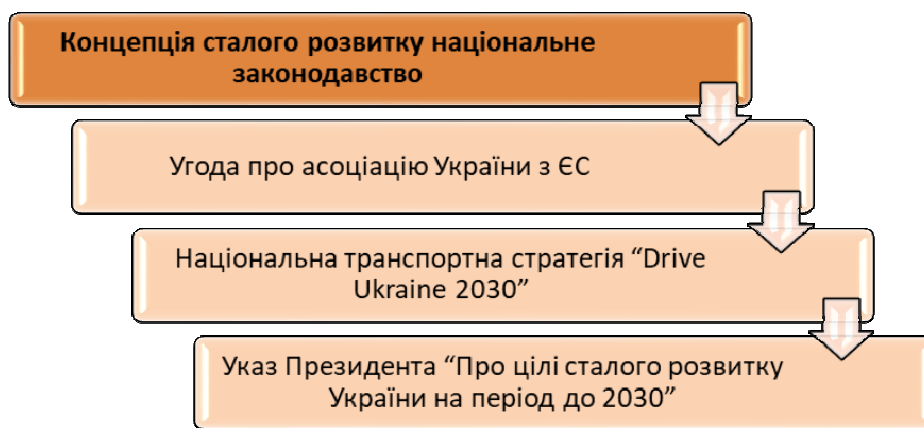


Рисунок 4 - Національне законодавство в концепції сталого розвитку

Джерело: розроблено авторами

Угодою про асоціацію з ЄС передбачено, що Україна буде розвивати сталу національну транспортну політику, що охоплює всі види транспорту та забезпечує ефективну і безпечну транспортну систему. Угода про асоціацію з ЄС є міжнародним договором України і має вищий рівень в ієрархії законодавчих актів. Це означає, що Угода є підставою для перегляду, доповнення та вдосконалення змін до національного законодавства України з метою забезпечення виконання визначених зобов'язань щодо розвитку транспортного сектору [2].

Основним системним документом, що регламентує розвиток сфери транспорту на державному рівні є Національна транспортна стратегія (НТС). Даним документом закладаються засади наближення рівня транспортних послуг та розвитку інфраструктури відповідно до європейської практики та їх стандартів, що враховують принципи сталої міської мобільності.

У зв'язку з тим, що НТС до 2030 року була прийнята пізніше за акти законодавства у сфері транспорту та інфраструктури, вони можуть бути змінені та доповнені на підставі визначених стратегією пріоритетів розвитку. Водночас усі інші програмні документи у галузі міського пасажирського транспорту повинні відповідати положенням НТС, а стратегії сталого розвитку міст та громад чи місцеві галузеві програми повинні керуватися визначеними в ній завданнями (рис. 5).

Загалом підтримання Україною глобальних цілей сталого розвитку, проголошених резолюцією Генеральної Асамблеї ООН, задекларовано Указом Президента «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» [1].

Серед глобальних цілей є такі, що пов'язані з забезпеченням сталої міської мобільності, таблиця 1.

Таблиця 1- Глобальні цілі для забезпечення сталої міської мобільності

№	Зміст цілі для забезпечення сталої міської мобільності
Ціль 3	забезпечення здорового способу життя та сприяння благополуччю для всіх у будь-якому віці
Ціль 9	створення стійкої інфраструктури, сприяння всеохоплюючій і сталій індустріалізації та інноваціям
Ціль 11	забезпечення відкритості, безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст, інших населених пунктів;
Ціль 13	вжиття невідкладних заходів щодо боротьби зі зміною клімату та її наслідками

Джерело: на підставі [1]

У даному напрямку передбачено низку операційних цілей та завдань, що включають розвиток сталої мобільності.

Також варто відмітити, що в Україні на національному рівні були розроблені та затверджені інші стратегічні документи, що визначають розвиток складових сталої мобільності. Зокрема, забезпечення високого рівня транспортної доступності та задоволення потреб у пересуваннях маломобільних груп населення передбачено Національною стратегією із планування території для їх безбар'єрного пересування в напрямку «Фізична безбар'єрність».

Усунення проблеми високих показників рівня смертності внаслідок дорожньо-транспортних пригод та запровадження безпеки на дорогах. Встановлення нових вимог на проектування та будівництво вулиць і доріг з урахуванням безпеки руху також підтримує вектор розвитку сталої мобільності в частині інфраструктурного забезпечення. З набранням чинності ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів» посилюються вимоги до проектувальних рішень щодо забезпечення безпеки пішоходів, захисту пасажирів від наїзду на зупинках громадського транспорту, заборони влаштування тимчасових автостоянок на тротуарах та пріоритизації громадського транспорту з влаштуванням відокремлених смуг руху [4].



Рисунок 5 – Основні завдання розвитку сталої міської мобільності в містах України
Джерело: розроблено авторами

На місцевому рівні на сьогодні головним нормативним документом, що визначає цілі та завдання довгострокового розвитку є Стратегічний план розвитку громад. Даним документом визначається стратегічний напрямок забезпечення високої якості життя мешканців громади, що збігається з принципами сталого розвитку.

Затверджений стратегічний план розвитку громади містить загальні положення розвитку сталої мобільності, проте більш конкретні стратегічні заходи з розвитку громади визначаються містобудівною документацією місцевого рівня: схемою планування території громади, генеральними планами населених пунктів та планами зонування території, детальними планами території.

Висновки. Проаналізовані документи охоплюють широке коло проблем, спрямованих на покращення життя місцевих громад. Зокрема, вони стосуються розвитку пасажирського транспорту, вдосконалення транспортної інфраструктури, запровадження нових маршрутів та поліпшення існуючих, а також забезпечення комфортних та безпечних умов для пасажирів. Розвиток велосипедної інфраструктури включає будівництво нових велосипедних доріжок, встановлення велосипедних парковок і популяризацію велосипедного транспорту як екологічної альтернативи. Розвиток паркових зон спрямований на підвищення доступності для маломобільних груп населення, озеленення територій та покращення екологічного стану, а також облаштування парків з урахуванням потреб різних категорій населення. Охорона навколишнього природного середовища зосереджена на збереженні біорізноманіття, зменшенні забруднення повітря, води та ґрунту, і створенні та підтримці заповідних зон. Економічний та соціальний розвиток громади передбачає підтримку малого та середнього бізнесу, створення нових робочих місць, розвиток інфраструктури для руху громадського транспорту. Розвиток житлово-комунального господарства охоплює модернізацію житлового фонду, поліпшення якості комунальних послуг, енергоефективність та впровадження сучасних технологій у сфері ЖКГ.

Список літератури

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року: веб-сайт. URL: https://publications.chamber.ua/2017/Infrastructure/UDD/National_Transport_Strategy_2030.pdf (дата звернення 05.06.2024).
2. Міністерство інфраструктури України: веб-сайт. URL: <http://www.mintrans.gov.ua> (дата звернення 05.06.2024).
3. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій: веб-сайт. URL: https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf (дата звернення 08.06.2024).
4. ДБН В. 2.3-5:2018. Вулиці і дороги населених пунктів. К.: Мінрегіон України, 2018. 61 с. (дата звернення 11.06.2024).
5. Концептуальні основи модернізації транспортної інфраструктури середніх міст в Україні / Шевчук О.С. та ін. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2024. № 1 (22). С. 369-377. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1380>
6. Визначення рівня завантаження зупинок громадського транспорту на основі кластерного аналізу / Шевчук О.С. та ін. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2024. № 1(22). С. 357-367. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1379>.
7. Вікторія Прокопенко. Розвиток сталої мобільності: кращі практики міст України. Дослідження практик мобільності. 2021. 72 с. <https://ua.boell.org/sites/default/files/2021-03/Mobility%20Practices%20Research%20-%202018-3-2021.pdf>
8. Литвиненко Т.П., Гасенко Л.В. Прийоми організації інфраструктури для руху індивідуальних екологічних транспортних засобів. *Енергоефективність у будівництві та архітектурі*. 2015. Вип. 7. С. 155 – 160. <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/18f65992-ba62-4706-82e9-5f4ae5643054/content>
9. Анна Сотникова, Анжела Франке. Взаємодія пішохідного та велосипедного потоків у міській вулично-дорожній мережі. *Транспортні технології*. 2020. № 1 (20). С. 74-82.

- <https://science.lpnu.ua/uk/tt/vsi-vypusky/vypusk-1-nomer-1-2020/vzayemodiya-pishohidnyh-ta-velosypednyh-potokiv-na-vulychno>.
10. Населення України : веб-сайт. URL: http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2019/zb_chnn2019.pdf (дата звернення 12.06.2024).

References

1. Natsional'na transportna stratehiia Ukrainy na period do 2030 roku: veb-sajt [National transport strategy of Ukraine for the period up to 2030: website]. Retrieved from: https://publications.chamber.ua/2017/Infrastructure/UDD/National_Transport_Strategy_2030.pdf (Last accessed: 05.06.2024) [in Ukrainian].
2. Ministerstvo infrastruktury Ukrainy: veb-sajt [Ministry of Infrastructure of Ukraine: website]. Retrieved from: <http://www.mintrans.gov.ua> (Last accessed: 05.06.2024) [in Ukrainian].
3. Planuvannia ta zabudova terytorij: veb-sajt [Planning and development of territories: website]. (2019). *DBN B.2.2-12:2019* Retrieved from: https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf (Last accessed: 08.06.2024) [in Ukrainian].
4. Vulytsi i dorohy naselenykh punktiv [Streets and roads of settlements]. (2018). *DBN V.2.3.-5:2018* K.: Minrehion Ukrainy (Last accessed: 11.06.2024) [in Ukrainian].
5. Shevchuk, O.S. et al. (2024). Kontseptual'ni osnovy modernyzatsii transportnoi infrastruktury serednykh mist v Ukraini [Conceptual basis of modernization of transport infrastructure of medium cities in Ukraine]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti - Advances in mechanical engineering and transport*, 1(22), 369-377 [in Ukrainian].
6. Shevchuk, O.S. et al. (2024). Vyznachennia rivnia zavantazhennia zupynok hromads'koho transportu na osnovi klasternoho analizu [Determining the level of loading of public transport stops based on cluster analysis]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti - Advances in mechanical engineering and transport*, 1(22), 357-368 [in Ukrainian].
7. Prokopenko, V. (2021). Rozvytok staloi mobil'nosti: kraschi praktyky mist Ukrainy. Doslidzhennia praktyk mobil'nosti [Development of sustainable mobility: best practices of Ukrainian cities. Study of mobility practices]. <https://ua.boell.org/sites/default/files/2021-03/Mobility%20Practices%20Research%20-%202018-3-2021.pdf> [in Ukrainian].
8. Lytvynenko, T. P. & Khasenko, L.V. (2015). Pryjomy orhanizatsii infrastruktury dlia rukhu indyvidual'nykh ekolohichnykh transportnykh zasobiv [Methods of infrastructure organization for the movement of individual ecological transport]. *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi – Energy efficiency in construction and architecture*, 7, 155-160. <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/18f65992-ba62-4706-82e9-5f4ae5643054/content> [in Ukrainian].
9. Sotnykova, A. & Franke, A. (2020). Vzaiemodiia pishohidnoho ta velosypednoho potokiv u mis'kij vulychno-dorozhnij merezhi [Interaction of pedestrian and bicycle flows in the city street and road network]. *Transportni tekhnologii - Transport technologies*, 1 (20), 74-82. <https://science.lpnu.ua/uk/tt/vsi-vypusky/vypusk-1-nomer-1-2020/vzayemodiya-pishohidnyh-ta-velosypednyh-potokiv-na-vulychno> [in Ukrainian].
10. Nasedennia Ukrainy : veb-sajt [Population of Ukraine: website]. Retrieved from: http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2019/zb_chnn2019.pdf (Last accessed: 12.06.2024) [in Ukrainian].

Oksana Shevchuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Kateryna Berezka**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Olena Zakharchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Natalia Falovych**, Assoc. Prof., Ph.D econ. sci., **Roman Siran**, post-graduate

West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

Institutional and legal aspects of regulating sustainable urban mobility

The article is devoted to the analysis of the institutional and legal aspects of regulating sustainable urban mobility, which is an important element of modern urban policy. Sustainable urban mobility aims to create efficient, safe, and environmentally friendly transport systems that contribute to improving the quality of life of urban residents and ensuring sustainable urban development.

The article examines key institutional aspects, including the role of government authorities at the national and local levels, mechanisms for coordination between various stakeholders, and financial institutions that support the development of transport projects.

Legal aspects are considered in terms of the legislative framework and regulatory tools governing the transport system. The analysis includes laws and regulations that prioritize environmentally friendly types of transport, regulate emissions, ensure road safety, and set standards for public transport.

The article also explores the implementation of innovative technologies in the field of urban mobility, such as electric vehicles, shared transport systems, and intelligent transport systems. The importance of regulatory support for the development of innovations, including standardization and certification of new technologies, is emphasized.

Public involvement in the decision-making process is another important aspect discussed in the article. Mechanisms for holding public consultations, taking residents' opinions into account, and ensuring transparency in the implementation of sustainable mobility projects are highlighted.

It can be concluded that institutional and legal aspects are crucial for the successful implementation of sustainable urban mobility. They provide the necessary foundation for a comprehensive approach to urban mobility management, coordination of actions by various stakeholders, and the creation of legal conditions for the development of environmentally friendly, safe, and efficient transport systems in cities. These measures contribute to improving the quality of life of citizens, reducing the negative impact of transport on the environment, and ensuring sustainable urban development.

legislation, urbanization, urban mobility, sustainable development, public transport, transport infrastructure, environmental aspects, traffic safety

Одержано (Received) 13.05.2024

Прорецензовано (Reviewed) 14.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 656:338

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.256-272](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.256-272)

В.А. Войтов, проф., д-р техн. наук, **А.Г. Кравцов**, доц., канд. техн. наук, **А.В. Войтов**, доц., канд. техн. наук, **Н.Г. Бережна**, доц., канд. техн. наук, **І.І. Сисенко**, канд. техн. наук, **Л.Ф. Кривенко**, директор АТП 16363, **І. Г. Бабарика**, доц., канд. с-г. наук
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна
e-mail: vavoitovva@gmail.com

Концепція оцінки ергономічної стійкості транспортного потоку великих міст з урахуванням динамічності зміни впливових факторів

Представлено концепцію оцінки стійкості руху транспортних потоків з урахуванням динамічності зміни впливових факторів. У роботі розроблено методичний підхід прогнозування завантаженості вулиць великих міст. Методичний підхід враховує коливання динамічності транспортного потоку у вигляді зміни прискорення руху автомобілів в потоці та коливання зміни інфраструктури дорожнього середовища, яке пов'язане з кількістю світлофорів, пішохідних переходів та кількістю смуг руху. Сформульовано концепцію моделювання та прогнозування стійкості транспортних потоків великих міст до утворення заторів. Обґрунтовано основні складові концепції, за якими поетапно виконується така оцінка з урахуванням динамічності зміни впливових факторів. Запропонована концепція відрізняється від відомих тим, що враховує коливання параметрів транспортного потоку – щільності та швидкості руху автомобілів, як функції часу.

концепція, стійкість, транспортний потік, прогнозування, динамічна модель, щільність транспортного потоку, швидкість руху, критерій робастності транспортного потоку, амплітуда коливань, період коливань, затор

Постановка проблеми. Транспортний потік та затори на вулицях великих міст, особливо у «години пік», є проблемою, яка впливає на надійність транспортного обслуговування населення. Тому прогнозування та управління транспортними потоками, прогнозування виникнення заторів є актуальною задачею та потребує застосування системного підходу. Особливо впливовим є коливання параметрів транспортного потоку, таких як щільність та швидкість руху. В останні роки було опубліковано багато наукових статей де представлено методичні підходи вирішення таких проблемних питань. Аналіз публікацій показує, що застосування моделювання є найбільш перспективним при вирішенні таких завдань та дозволяє врахувати коливання на перевантажених ділянках. Для цього автори робіт застосовують різноманітні критерії, які дозволяють прогнозувати стійкість транспортних потоків та умови появи заторів.

Робота є продовженням робіт [1-4], де в роботі [1] розроблено математичну модель ергономічної стійкості транспортного потоку. Модель дозволяє прогнозувати затори на різних ділянках дорожньої мережі. Відмінністю моделі є те, що враховується динаміка транспортного потоку [1]. В роботі [2] розроблено критерій оцінки стійкості транспортного потоку, який отримав назву критерій робастності [3]. Подальший розвиток прогнозування появи заторів з урахуванням коливань щільності потоків та коливання швидкості руху автомобілів, представлено в роботі [4].

Відмінною особливістю представленого нами дослідження є обґрунтування критерію визначення моменту чи межі виникнення заторів. Величина критерію, яка має фізичне значення «запасу стійкості» до заторів, дозволила отримати рейтинг факторів, що впливають на запас стійкості транспортного потоку. Наявність такого рейтингу дає змогу обирати раціональні маршрути доставки кореспонденцій з урахуванням міської транспортної мережі, виконувати експертну оцінку існуючої транспортної мережі, розробляти практичні рекомендації щодо організації дорожнього руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Авторами роботи [5] представлено оцінку вразливості міських систем дорожнього руху. Автори відзначають, що більшість існуючих робіт зосереджена, головним чином, на ефективності дорожньої мережі з погляду її структури, але ігнорує аналіз її функціональної вразливості. Таким чином, у цій статті пропонується нова концепція для аналізу вразливості дорожніх мереж на основі аналізу реального транспортного потоку. По-перше, будується зважена модель мережі дорожнього руху з використанням параметрів транспортного потоку, отриманого з використанням моделі рівноваги. По-друге, формується комплексний індикатор важливості вузла, який запроваджується шляхом інтеграції методу ентропійних ваг. Вразливість мережі у різних сценаріях аналізується як із структурного так і з функціонального погляду.

У роботах [6-8] представлено огляд літератури та оцінка впливових факторів на завантаження дорожньої мережі. Наприклад, у роботі [6] розроблено методологію вирішення проблеми пошуку кращої детермінованої моделі для опису емпіричного взаємозв'язку між фундаментальними параметрами транспортного потоку, середньою швидкістю, щільністю потоку на основі простих критеріїв. Авторами розглядалися як однорежимні, так і багаторежимні моделі, всього 17 моделей. Отримані результати дослідження допомогли визначити найбільш ефективні моделі, що відповідають граничним умовам та забезпечують простоту, емпіричну точність та гарну оцінку параметрів транспортного потоку.

У роботах [7,8], з метою оцінки дорожніх конфліктів, прийнято макроскопічний показник, названий «час, проведений у конфлікті (TSC)». Для оцінки TSC пропонується і використовується двовимірна структура, заснована на

характеристиках транспортного засобу, що розглядається. TSC моделюється як функція макроскопічних змінних транспортного потоку, а саме щільності транспортного потоку, швидкості, стандартного відхилення швидкості та складу транспортного потоку, в рамках двоетапної моделі. Результати показали, що умови завантаження транспортних потоків мають вирішальне значення для безпеки дорожнього руху.

У роботах [9-13], з метою підвищення точності прогнозування, враховується динаміка транспортних потоків. У роботі [9] описано набір керованих моделей транспортних потоків, що ґрунтуються на концепції марківського процесу. На думку авторів, базові моделі можуть бути додатково модифіковані для отримання ефектів, аналогічних моделям високого порядку, при реєстрації нестабільної поведінки транспортного потоку під час перевантажень. У роботі [10] представлена модель динамічного розподілу транспортного потоку (DTA), яка може оцінити вплив переміщення вузьких місць на продуктивність дорожньої мережі, з точки зору часу в дорозі, так і маршрутів руху. У роботі [11] проаналізовано ключові характеристики нестабільності дорожнього руху, на основі тимчасових рядів швидкості, які отримані з стаціонарних детекторів. Автори стверджують, що такий підхід можна використовувати для перевірки моделей, відкаліброваних за іншими критеріями щодо їхньої колективної динаміки. Автори застосовують запропоновані критерії до статистичних баз даних транспортних потоків на кількох автомагістралях у Німеччині, що містять близько 400 випадків заторів, тим самим забезпечуючи основу для калібрування моделі та оцінки якості з урахуванням просторово-часової динаміки. Перші тести з мікроскопічними та макроскопічними моделями показують, що критерії одночасно надійні та інформативні, тобто чітко розрізняють моделі з більш високою та нижчою інформативною здатністю. У роботах [12,13] проводилася оцінка домінування міського руху шляхом інтеграції теорії складних мереж із просторово-часовими даними про траєкторії з кількох джерел, враховуючи динамічний характер різних видів транспорту, включаючи громадський транспорт. Показано, що інтеграція динамічних оцінок суттєво змінює традиційні статичні результати. З цієї точки зору, стаття покликана об'єднати дві точки зору в літературі, а саме ймовірнісний аналіз нестабільності дорожнього руху з характеристикою швидкісних випадкових процесів та аналіз аварій. З цією метою в роботі [13] описується процедура, яка ґрунтується на оцінці та моделюванні моделей ARIMA для випадкових процесів зміни швидкості на ділянці автомагістралі, особливо на крайній лівій смугі.

У роботі [14] представлена системна динаміка (SD) як методологія, яку можна використовувати для розуміння поведінки та динаміки складних систем з часом. SD використовує ряд інструментів та методів, таких як діаграми впливу та причинно-наслідкові зв'язки, комп'ютерне моделювання та оптимізація. Системна динаміка застосовується для полегшення аналізу складних фізичних та соціальних систем.

Проведений аналіз літературних джерел дозволяє стверджувати, що облік динаміки транспортного потоку дозволить підвищити ймовірність прогнозу виникнення заторів на міських дорожніх мережах. Основними значущими факторами, що впливають на виникнення заторів, є величини та коливання щільності транспортного потоку, а також величини та коливання швидкості транспортних засобів у потоці з урахуванням середньоквадратичного відхилення зазначених параметрів у часі.

Підвищені значення щільності транспортного потоку та швидкості руху транспортних засобів у потоці впливають на виникнення дорожньо-транспортних пригод. Така закономірність зазначається в роботах [15-19]. Авторами робіт проаналізовано різні параметри транспортного потоку та зроблено висновок, що

швидкість транспортних засобів у потоці є найбільш значущим фактором, що впливає на виникнення дорожньо-транспортних пригод. Наприклад, у роботі [20] представлені докази сильного зв'язку між параметрами транспортного потоку та ймовірністю дорожньо-транспортних пригод. Змінні транспортного потоку вимірюються за допомогою стандартних пристроїв моніторингу, таких як детектори з однією індуктивною петлею. Встановлено, що ключовими елементами транспортного потоку, що впливають на безпеку, є щільність та швидкість, а також тимчасові зміни щільності транспортного потоку та швидкості транспортних засобів у потоці. Автори роботи [21] досліджують модель часових рядів, яка побудована з використанням моделі передачі даних осередків для відображення стану транспортного потоку за допомогою трійних чисел. Потім за допомогою кластерного аналізу досліджувалась динаміка транспортного потоку. Проведено чисельне моделювання, результат якого показав ефективність запропонованого методу. На думку авторів, розроблений метод дозволить краще зрозуміти динаміку транспортних потоків на автомагістралях та вплив на дорожньо-транспортні пригоди.

Нестабільність транспортного потоку досліджується у роботі [22]. На основі експериментальних результатів автори стверджують, що швидкість руху, а не відстань між транспортними засобами (або щільність), може бути кращим індикатором нестабільності дорожнього руху, оскільки транспортні засоби можуть мати різну відстань за однакової швидкості. Для транспортних засобів існує критична швидкість між 30-40 км/год, вище за яку стандартне відхилення швидкості автомобіля майже досягає насичення, що вказує на те, що транспортний потік, ймовірно, буде стабільним. Навпаки, нижче за цю критичну швидкість транспортний потік нестабільний і може призвести до утворення заторів.

Автори робіт [23, 24], досліджуючи параметри транспортного потоку, приходять до висновку, що швидкість транспортних засобів у потоці є найбільш важливим фактором, що сприяє виникненню дорожньо-транспортних пригод. Тому в низці країн широко впроваджується регулювання швидкості з метою підвищення безпеки дорожнього руху. Для цього впроваджуються автоматизовані системи контролю швидкості на ділянках доріг.

З аналізу представлених робіт [15-24] випливає, що найбільш значущим фактором, що впливає на стабільність транспортного потоку міської дорожньої мережі, є швидкість транспортних засобів у потоці. Існує критична швидкість між 30 і 40 км/год, вище за яку транспортний потік буде стабільним. Навпаки, нижче за цю критичну швидкість транспортний потік нестабільний і може призвести до утворення заторів. Однак підвищення швидкості до рівня критичної негативно впливає на безпеку дорожнього руху. З метою зниження ймовірності виникнення дорожньо-транспортних пригод швидкість обмежують. Наявний конфлікт інтересів.

Вплив інфраструктури дорожньої мережі на виникнення заторів присвячені роботи [25-28]. Наприклад, у роботі [25] зазначається, що незважаючи на те, що смуги руху мають однакову ширину, транспортний потік не буде однаковим, оскільки навколишнє середовище різне. Автори роботи [26] роблять висновок, що виникнення заторів мимовільно, якщо середня щільність транспортного потоку перевищує певне критичне значення. Таким чином, "вузьке місце" є лише спусковим гачком, а не основною причиною заторів. Автори роботи показують, що виникнення заторів — це колективне явище, подібне до «динамічних» фазових переходів та формування закономірностей у нерівноважній системі. Коливання щільності транспортного потоку викликає нестабільність, і тоді однорідний рух не може підтримуватися. Зрештою,

з'являється кластер перешкод, який поширюється назад як одиночна хвиля з тією ж швидкістю, що і кластер перешкод на дорозі.

Автори робіт [27,28], для аналізу причин виникнення заторів у міській дорожній мережі, пропонують застосовувати кластерний аналіз. Такий аналіз дозволяє визначити найбільш перевантажені ділянки доріг. Автори використовують метод плаваючих даних про автомобілі, для визначення кластерів, де можуть виникати затори. Для визначення кореляції між кластерами проведено статистичні розрахунки, виходячи з яких зроблено висновки, що такий підхід може ефективно визначати характер заторів у міській дорожній мережі. Аналіз поведінки заторів показав, що у вечірні години пік затори більш серйозні та поширені, ніж у ранкові. Загалом результати можуть бути використані для розробки схеми опису потенційних проблем у дорожньому русі та систем прогнозування заторів.

Аналізу впливу кількості пішохідних переходів та світлофорів дорожньої мережі на виникнення заторів та дорожньо-транспортних пригод присвячені роботи [29-34]. Наприклад, у роботі [29] використовується статистичне моделювання вивчення впливу елементів дорожньої інфраструктури, насамперед тих, які пов'язані з конструкцією поперечних перерізів, на кількість аварій у міських районах. Автори відзначають, що проектування поперечного перерізу є важливим етапом у процесі геометричного проектування дорожньої мережі, оскільки він впливає на ключові експлуатаційні характеристики, такі як пропускна здатність, вартість, безпека та загальна функціональність об'єкта транспортної системи. У статті [30] досліджувалася взаємодія транспортних та пішохідних потоків високої інтенсивності на регульованих перехрестях з метою підвищення пропускної спроможності таких перехресть. Для дослідження довжини затору використовувалася модель транспортного потоку, що включає психофізіологічну модель слідування за транспортним засобом, що рухається попереду. Щоб проаналізувати вплив пішохідних переходів на потоки транспортних засобів у роботі [31] було побудовано дві міські двосмугові клітинно-автоматні моделі транспортного потоку, одна з яких стосується ділянок з нерегульованим пішохідним переходом, а інша - нерегульованих ділянок із випадковим переходом вулиці пішоходами. MATLAB використовується для чисельного моделювання різних умов дорожнього руху, при цьому формуються просторово-часова діаграма та реляційні графіки параметрів транспортних потоків, які потім зазнають порівняльного аналізу. Результати моделювання показують, що коли щільність транспортних засобів нижче 25 автомобілів/(км. смуги), пішоходи помірно впливають на транспортний потік. Коли щільність транспортних засобів вище 60 автомобілів/(км. смуги), швидкість транспортних засобів значно зменшується, особливо на ділянках з нерегульованим пішохідним переходом.

У роботах [32-34] представлені різні моделі, що дозволяють зрозуміти різноманітність фізичних явищ, пов'язаних із дорожнім рухом. Для дослідження цих моделей застосовуються аналітичні та чисельні методи. Наприклад, в роботі [32] представлені результати, отримані на мікроскопічних моделях руху автомобілів. Типовим явищем є динамічний перехід перешкод від вільного транспортного потоку (FT) з низькою щільністю до перевантаженого транспортного потоку з високою щільністю. Перехід із перешкодами має фазову діаграму. Затори в перевантаженому русі показують різні хвилі щільності. Деякі з цих хвиль щільності демонструють типові нелінійні хвилі, такі як солітон, трикутна ударна хвиля та кінк. Хвилі щільності описуються нелінійними хвильовими рівняннями: рівнянням Кортевега-де-Вріса (КдВ); рівнянням Бюргерса та модифікованим рівнянням КдВ. У роботі [33] використовується

модель клітинних автоматів, у роботі [34] модель TST-кластеризації, яка є адаптацією алгоритму DB-Scan, який дозволяє кластеризувати процес за простором, часом і типом.

Підсумовуючи роботи, які присвячені появі заторів, можна зробити висновок, що при вирішенні таких завдань необхідно враховувати інфраструктуру дорожньої мережі, наприклад, кількість смуг руху, кількість світлофорів та пішохідних переходів на ділянках (кластерах) дорожньої мережі, що досліджується. Перераховані параметри впливають на щільність потоку і швидкість руху автомобілів в потоці, викликають коливання, особливо в «години пік».

Аналіз публікацій, які враховують та моделюють коливання параметрів транспортних потоків на дорожніх мережах великих міст, вплив коливань на виникнення заторів, дозволяють зробити висновок, що впливовими факторами є щільність транспортного потоку та швидкість руху автомобілів у потоці та зміна зазначених факторів в часі. Перераховані фактори повинні входити в загальну систему (концепцію) прогнозування ергономічної стійкості транспортних потоків великих міст. Концепція повинна враховувати середньостатистичне (стаціонарне) значення критерія робастності потоку та вносити корегування для окремих кластерів дорожньої мережі. Корегування враховує функції зміни факторів в реальному часі.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка концепції прогнозування ергономічної стійкості транспортних потоків великих міст. Концепція повинна враховувати середньостатистичне (стаціонарне) значення критерія робастності та вносити корегування для окремих кластерів дорожньої мережі. Корегування враховує функції зміни впливових факторів, наявність смуг руху, кількість пішохідних переходів та світлофорів.

Виклад основного матеріалу. Дана робота є продовженням публікацій [1-4] і відрізняється тим, що має враховувати коливання динамічності транспортного потоку у вигляді зміни прискорення руху автомобілів під час руху та коливання зміни інфраструктури дорожнього середовища, яке пов'язане з кількістю світлофорів, пішохідних переходів та кількістю смуг для руху.

Коефіцієнт підсилення K_2 , який враховує динаміку транспортного потоку, в роботі [4] представлено формулою:

$$K_2 = \frac{\sigma_a \cdot N^2 \cdot l_a^3}{v^2 \cdot L^2} = \sigma_a \cdot p^2 \frac{l_a^3}{v^2}. \quad (1)$$

де σ_a – середньоквадратичне відхилення прискорення автомобілів в транспортному потоці, м/с²;

N – кількість автомобілів на ділянці дороги довжиною 1000 м;

l_a – довжина автомобіля, м;

v – швидкість руху автомобілів у транспортному потоці, м/с;

L – довжина контрольованої ділянки дороги, зазвичай приймається рівною 1000 м;

p – щільність транспортного потоку, 1/м.

Коефіцієнт підсилення K_3 , який враховує дорожню інфраструктуру, в роботі [4] представлено формулою:

$$K_3 = \frac{N \cdot l_a \cdot k^2 \cdot s^2}{10 \cdot L} = k^2 \cdot s^2 \cdot p \frac{l_a}{10}, \quad (2)$$

де k – кількість пішохідних переходів на ділянці дороги довжиною 1000 м;
 s – кількість світлофорів на ділянці дороги довжиною 1000 м.

Наведені вирази (1) – (2) дозволять визначити значення критерія робастності і виконати моделювання його зміни в часі з урахуванням амплітуди коливань та періоду коливань.

Величину прискорення автомобілів у транспортному потоці розрахуємо за виразом:

$$a = \frac{N_e}{v \cdot M}, \text{ м/с}^2, \quad (3)$$

де N_e – ефективна потужність двигуна автомобіля, розмірність Вт;

v – швидкість руху автомобіля, розмірність м/с;

M – маса автомобіля, розмірність кг.

Середньоквадратичне відхилення прискорення автомобілів у транспортному потоці (σ_a) виразимо формулою:

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (a_i - a_{cp})^2}, \text{ м/с}^2, \quad (4)$$

де m – кількість вимірювань прискорення автомобілів на ділянці дороги довжиною 1000 м;

a_i – величина прискорення автомобіля у транспортному потоці i -го виміру, м/с²;

a_{cp} – середнє значення прискорення автомобілів у транспортному потоці, м/с².

Колівання параметра щільності транспортного потоку з урахуванням динамічності (прискорення) автомобілів у потоці, представимо виразом:

$$p(t) = p_{cp} + p_{cp} \left(A_a \cdot \sin \frac{K \cdot t}{T_{nep}} \right), \text{ 1/м}, \quad (5)$$

де p_{cp} - середнє значення параметра щільності розраховується за формулою, яку наведено в роботі [4]:

A_a – амплітуда коливань прискорення автомобілів на ділянці дороги довжиною 1000 м розраховується за формулою:

$$A_a = \frac{\sigma_a}{a_{cp}}, \quad (6)$$

K – коефіцієнт, який враховує діапазони моделювання;

t – реальний час, година;

T_{nep} – період коливань, година.

Колівання параметра швидкості руху автомобілів, представимо у вигляді:

$$v(t) = v_{cp} + v_{cp} \left(A_a \cdot \sin \frac{K \cdot t}{T_{nep}} \right), \text{ м/с}, \quad (7)$$

де v_{cp} – середнє значення швидкості руху автомобілів, розраховується за формулою, яку наведено в роботі [4]:

Коефіцієнт, що враховує зміну дорожньої інфраструктури на ділянках (кластерах) дорожньої мережі довжиною $L=1000$ м, розраховується за формулою:

$$K_3 \approx \frac{k \cdot s}{n} = d, \quad (8)$$

де n – кількість смуг руху на контрольованій ділянці.

Коефіцієнт d , що враховує зміну дорожньої інфраструктури, формула (8) прямо пропорційний кількості пішохідних переходів і світлофорів і зворотно пропорційний кількості смуг руху, безрозмірна величина.

Середньоквадратичне відхилення зміни дорожньої інфраструктури на окремих кластерах виразимо формулою:

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (d_i - d_{cp})^2}, \quad (9)$$

де m – кількість вимірювань величини зміни дорожньої інфраструктури на контрольованій ділянці.

A_d – амплітуда коливань зміни дорожньої інфраструктури в часі що досліджується, безрозмірна величина, розраховується за формулою:

$$A_d = \frac{\sigma_d}{d_{cp}}, \quad (10)$$

d_{cp} – середнє значення зміни дорожньої інфраструктури на ділянці дорожньої мережі довжиною $L=1000$ м, або кластері.

Вираз для моделювання коливання щільності транспортного потоку в часі що досліджується з урахуванням зміни дорожньої інфраструктури, представимо у вигляді:

$$p(t) = p_{cp} + p_{cp} \left(A_d \cdot \sin \frac{K \cdot t}{T_{nep}} \right), \text{ 1/м}, \quad (11)$$

Вираз для моделювання коливання швидкості руху автомобілів у транспортному потоці в часі що досліджується з урахуванням зміни дорожньої інфраструктури, представимо у вигляді:

$$v(t) = v_{cp} + v_{cp} \left(A_d \cdot \sin \frac{K \cdot t}{T_{nep}} \right), \text{ м/с}, \quad (12)$$

Отримані вирази зміни щільності транспортного потоку в реальному часі, вираз (5) та (11) та вирази зміни швидкості руху автомобілів в реальному часі, вираз (7) та (12) дозволяють виконати моделювання впливу змін прискорення руху автомобілів та зміну дорожньої інфраструктури на щільність та швидкість руху.

Залежності зміни критерію робастності (RR) для різних значень щільності (p) при зміні величин прискорення автомобілів (a) у потоці представлено на рис. 1.

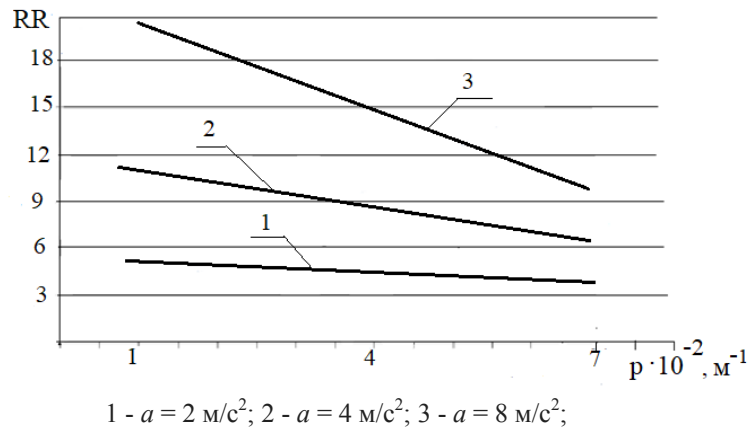


Рисунок 1 - Залежності зміни діапазону робастності транспортного потоку

для різних значень щільності при зміні величин прискорення автомобілів у потоці

Джерело: розроблено авторами

Аналіз представлених залежностей, рис.1, дозволяє зробити наступні висновки. Збільшення величин прискорення автомобілів у потоці значно збільшує діапазон робастності. Крива 3 на рис.1 відповідає величині прискорення 8 м/с^2 , що характеризує динамічність транспортного потоку. При малих значеннях прискорення автомобілів, крива 1, запас стійкості до утворення заторів зменшується, що негативно впливає на транспортний потік, є вірогідність утворення заторів. Отримані залежності не суперечать висновкам роботи [22], але збільшення прискорення вплине на появу дорожньо-транспортних пригод. Має місце конфлікт інтересів.

Наявність коливань щільності транспортного потоку, формула (5) з амплітудою, яка розраховується за формулою (6) дозволяє внести корегування у величину критерію робастності. Корегування можна робити для різних кластерів дорожньої мережі, для різного часу доби та враховувати період коливань.

Аналогічне прогнозування можна зробити при зміні швидкості руху автомобілів у транспортному потоці, формула (7), та оцінити вплив на діапазон робастності за наявності коливань швидкості з амплітудою, яка розраховується за формулою (6). Це дозволяє внести корегування у величину критерію робастності.

Залежності зміни діапазону робастності транспортного потоку (RR) для різних значень щільності (p) при зміні інфраструктури дорожньої мережі (d), представлено на рис.2.

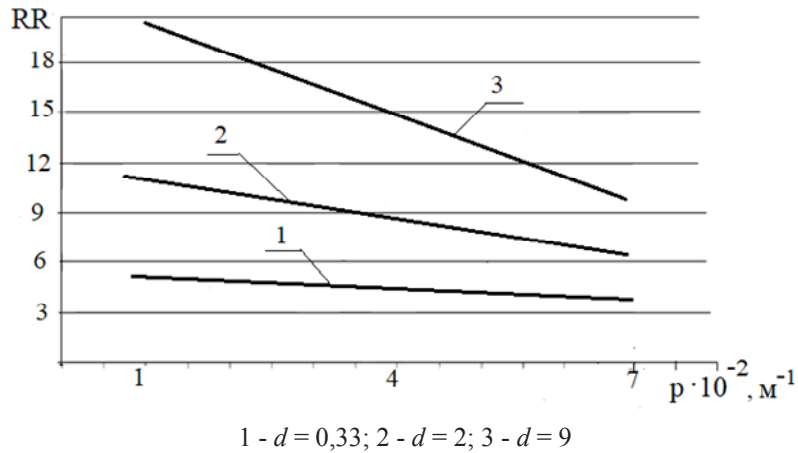


Рисунок 1 - Залежності критерію робастності при зміні щільності та прискорення автомобілів у потоці

Джерело: розроблено авторами

Аналіз залежностей, які наведено на рис.1, дозволяє зробити наступні висновки. Збільшення величин прискорення автомобілів сприяє збільшенню критерію робастності. При величині прискорення автомобілів у потоці 8 м/с^2 , крива 3, спостерігається максимальна величина робастності. Зниження величин прискорення автомобілів, крива 1, зменшує діапазон робастності, що негативно впливає на транспортний потік, є вірогідність утворення заторів. Отримані залежності не суперечать висновкам роботи [22], але збільшення прискорення вплине на появу дорожньо-транспортних пригод. Має місце конфлікт інтересів.

Наявність коливань параметра щільності, формула (5) з амплітудою, яка розраховується за формулою (6) дозволяє внести корегування у величину критерію робастності. Корегування можна робити для різних кластерів дорожньої мережі, для різного часу доби та враховувати період коливань.

Аналогічне прогнозування можна зробити при зміні швидкості руху автомобілів у транспортному потоці, формула (7), та оцінити вплив на діапазон робастності за наявності коливань швидкості з амплітудою, яка розраховується за формулою (6). Це дозволяє внести корегування у величину критерію робастності.

Залежності зміни діапазону робастності транспортного потоку (RR) для різних значень щільності (p) при зміні інфраструктури дорожньої мережі (d), представлено на рис.2.

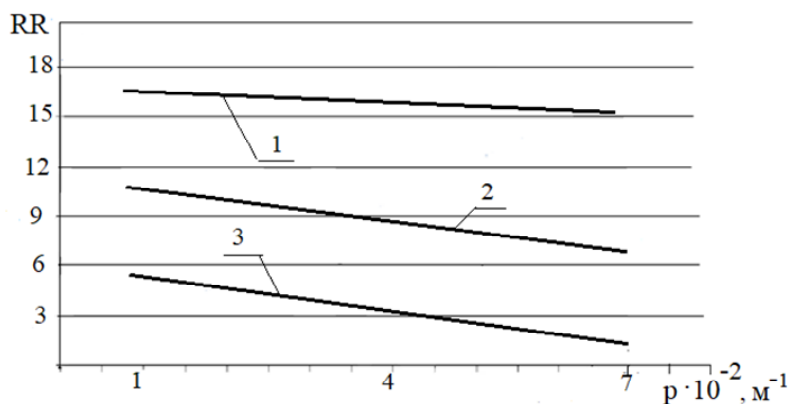


Рисунок 2 - Залежності зміни діапазону робастності транспортного потоку для різних значень щільності при зміні дорожньої інфраструктури

Джерело: розроблено авторами

Залежності побудовано для різних значень параметра (d), який розраховується за формулою (8). Збільшення кількості смуг та одночасно зменшення кількості світлофорів та пішохідних переходів на контрольованому кластері, крива 1, значно збільшує стійкість руху транспортних засобів у потоці. І навпаки, зменшення кількості смуг, збільшення кількості світлофорів та пішохідних переходів на контрольованому кластері, крива 3, значно зменшує стійкість руху транспортних засобів у потоці. Корегування щільності, формула (11) та швидкості руху, формула (12), можна виконати з урахуванням амплітуди коливань, формула (10). Корегування можна робити для різних кластерів дорожньої мережі, для різного часу доби та враховувати період коливань.

Як впливає з поданих залежностей дана стаття доповнює роботу [4]. Додатково враховуються параметри динамічності транспортного потоку у вигляді величин прискорення та параметри дорожньої інфраструктури у вигляді кількості смуг на проїжджій частині, кількості світлофорів та пішохідних переходів. Аналогічно враховується амплітуда коливань та період коливань в часі, в період появи «години пік». Для підвищення точності моделювання можна застосовувати основні положення кластерного аналізу.

Підсумовуючи результати досліджень, які наведено в роботах [1-4] та враховуючи результати представленої роботи, можна сформулювати систему поглядів (понять) на процеси стійкості транспортних потоків великих міст до утворення заторів. Така система у науковій літературі носить назву концепція.

Основні складові концепції оцінки ергономічної стійкості транспортного потоку представлено у вигляді структурно-логічної схеми на рис.3.

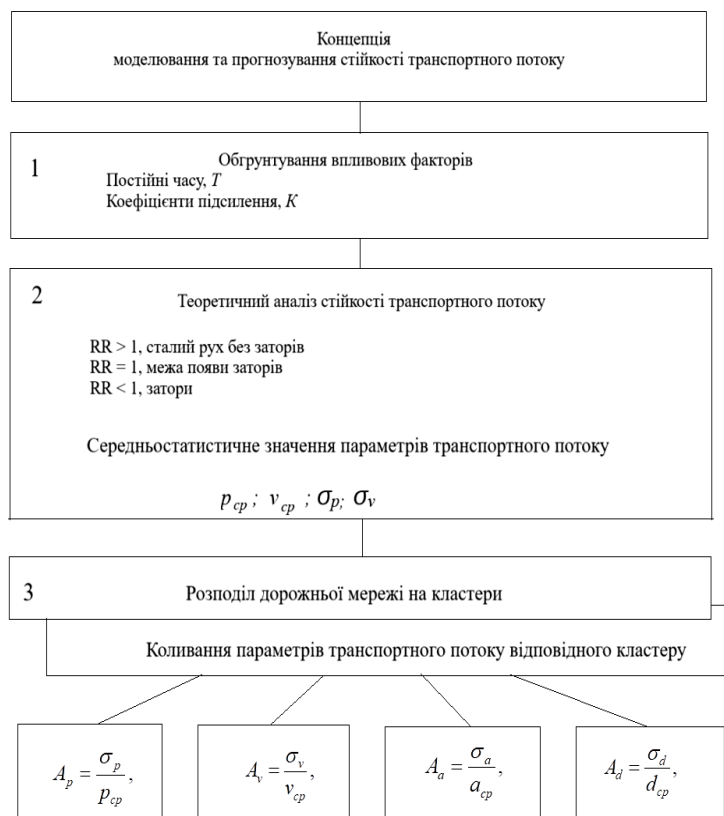


Рисунок 3 – Структурно-логічна схема концепції оцінки ергономічної стійкості транспортного потоку великих міст

Джерело: розроблено авторами

Системний підхід такої концепції можна поділити на три рівні.

Перший рівень – теоретичне обґрунтування значимих факторів, які характеризують транспортний процес і дуже впливають на виникнення заторів у міській дорожній мережі. Такі фактори об'єднані в комплексні показники, які отримали назву постійні часу T_i , розмірність секунда та коефіцієнти підсилення K_i , безрозмірні величини. Формули визначення постійних часу T_i і коефіцієнтів підсилення K_i , представлені у роботах [1,3].

Другий рівень – теоретичне обґрунтування межі втрати стійкості, критерій робастності RR дорівнює одиниці, що характеризує межу виникнення заторів у міській дорожній мережі. Критерій отримано у роботі [2] шляхом аналізу диференційного рівняння, яке описує транспортний потік. Однак другий рівень концепції має недолік, побудований для стаціонарного процесу та не враховує динамічність потоку у часі. Такі зміни характерні для міської дорожньої мережі в «години пік».

Третій рівень – корекція значення критерію робастності (RR) міської дорожньої мережі з урахуванням коливань. Коливання щільності та швидкості транспортних засобів розглянуті у роботі [4]. Додатково враховуються динаміка транспортного потоку у вигляді прискорення автомобілів у потоці та наявність смуг руху, пішохідних переходів та світлофорів на окремих ділянках дорожньої мережі. Для підвищення інформативності, ділянки дорожньої мережі розбиваються на кластери.

Висновки. Отримав подальший розвиток підхід в моделюванні та прогнозуванні утворення заторів на дорогах великих міст. Методичний підхід враховує коливання динамічності транспортного потоку у вигляді зміни прискорення руху автомобілів в потоці та коливання зміни інфраструктури дорожнього середовища, яке пов'язане з кількістю світлофорів, пішохідних переходів та кількістю смуг для руху транспортних засобів.

Шляхом моделювання встановлено, що збільшення величин прискорення транспортних засобів під час руху у потоці значно збільшує діапазон робастності. При малих значеннях прискорення автомобілів, запас стійкості до утворення заторів зменшується, що негативно впливає на транспортний потік, є вірогідність утворення заторів. Наявність коливань, за рахунок зміни прискорення автомобілів, дозволяє внести корегування у значення діапазону робастності. Корегування можна робити для різних кластерів дорожньої мережі, для різного часу доби та враховувати період коливань.

Наведено залежності зміни діапазону робастності при зміні інфраструктури дорожньої мережі. Встановлено, що збільшення кількості смуг та одночасно зменшення кількості світлофорів та пішохідних переходів на контрольованому кластері, значно збільшує стійкість руху транспортних засобів у потоці. І навпаки, зменшення кількості смуг, збільшення кількості світлофорів та пішохідних переходів на контрольованому кластері, значно зменшує стійкість руху транспортних засобів у потоці. Корегування щільності та швидкості руху можна виконати з урахуванням амплітуди коливань.

Сформульовано концепцію моделювання та прогнозування стійкості транспортних потоків великих міст до утворення заторів. Обґрунтовано основні складові концепції, за якими поетапно виконується така оцінка з урахуванням динамічності зміни впливових факторів. Запропонована концепція відрізняється від відомих тим, що враховує коливання параметрів транспортного потоку – щільності та швидкості руху транспортних засобів у часі. Такі зміни характерні для міської дорожньої мережі в «години пік».

Список літератури

1. Оцінка ергономічної стійкості транспортного потоку на дільницях дорожньої мережі. Ідентифікація математичної моделі / Войтов В.А. та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 7(38), ч.І. С. 236-245. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).1.236-245](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.236-245)
2. Обґрунтування критерію стійкості транспортного потоку на дільницях дорожньої мережі / Кравцов А.Г. та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 7(38), ч.ІІ. С. 222-230. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.222-230](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.222-230)
3. Дослідження математичної моделі стійкості транспортного потоку на дільницях дорожньої мережі міста / Горяїнов О.М. та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 8(39), ч.І. С. 183-195. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).1.183-195](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).1.183-195)
4. Прогнозування завантаженості вулиць великих міст з урахуванням коливань щільності та швидкості руху транспортних потоків / Войтов В.А. та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2024. Вип. 9(40), ч.І. С. 165-177. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).1.165-177](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).1.165-177)
5. Wang, S., Chen, C., Zhang, J., Gu, X., & Huang, X. Vulnerability assessment of urban road traffic systems based on traffic flow. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*. 2022. 38, 100536. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2022.100536>
6. Romanowska, A., & Jamroz, K. Comparison of traffic flow models with real traffic data based on a quantitative assessment. *Applied Sciences*. 2021. 11(21), 9914. <https://doi.org/10.3390/app11219914>
7. Gore, N., Chauhan, R., Easa, S., & Arkatkar, S. Traffic conflict assessment using macroscopic traffic flow variables: A novel framework for real-time applications. *Accident Analysis & Prevention*. 2023. 185, 107020. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107020>
8. Mohammadian, S., Haque, M. M., Zheng, Z., & Bhaskar, A. Integrating safety into the fundamental relations of freeway traffic flows: A conflict-based safety assessment framework. *Analytic methods in accident research*. 2021. 32, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.amar.2021.100187>
9. Lan, C. J., & Davis, G. A. Empirical assessment of a Markovian traffic flow model. *Transportation research record*. 1997. 1591(1), P. 31-37. <https://doi.org/10.3141/1591-05>
10. Juran, I., Prashker, J. N., Bekhor, S., & Ishai, I. A dynamic traffic assignment model for the assessment of moving bottlenecks. *Transportation research part C: emerging technologies*. 2009. 17(3), P. 240-258. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2008.10.003>
11. Treiber, M., & Kesting, A. Validation of traffic flow models with respect to the spatiotemporal evolution of congested traffic patterns. *Transportation research part C: emerging technologies*. 2012. 21(1), P. 31-41. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2011.09.002>
12. Mei, Y., Wang, S., Gong, M., & Chen, J. Urban Traffic Dominance: A Dynamic Assessment Using Multi-Source Data in Shanghai. *Sustainability*. 2024. 16(12), 4956. <https://doi.org/10.3390/su16124956>
13. Pompigna, A., & Mauro, R. A Statistical Simulation Model for the Analysis of the Traffic Flow Reliability and the Probabilistic Assessment of the Circulation Quality on a Freeway Segment. *Sustainability*. 2022. 14(23), 16019. <https://doi.org/10.3390/su142316019>
14. Goh, Y. M., & Love, P. E. Methodological application of system dynamics for evaluating traffic safety policy. *Safety science*. 2012. 50(7), P. 1594-1605. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.03.002>
15. Zeng, J., Qian, Y., Wang, B., Wang, T., & Wei, X. The impact of traffic crashes on urban network traffic flow. *Sustainability*. 2019. 11(14), 3956. <https://doi.org/10.3390/su11143956>
16. Xiao, D., Ding, H., Sze, N. N., & Zheng, N. Investigating built environment and traffic flow impact on crash frequency in urban road networks. *Accident Analysis & Prevention*. 2024. 201, 107561. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107561>
17. Ognjenovic, S., Donceva, R., & Vatin, N. Dynamic homogeneity and functional dependence on the number of traffic accidents, the role in urban planning. *Procedia Engineering*, 2015. 117. P. 551-558. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.212>

18. Theofilatos, A., & Yannis, G. A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety. *Accident Analysis & Prevention*. 2014. 72, P. 244-256. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.06.017>
19. Cheng, Z., Lu, J., & Li, Y. Freeway crash risks evaluation by variable speed limit strategy using real-world traffic flow data. *Accident Analysis & Prevention*. 2018. 119, P. 176-187. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.07.009>
20. Golob, T. F., Recker, W. W., & Alvarez, V. M. Freeway safety as a function of traffic flow. *Accident Analysis & Prevention*. 2004. 36(6), P. 933-946. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2003.09.006>
21. Shi, A., Tao, Z., Xinming, Z., & Jian, W. Evolution of traffic flow analysis under accidents on highways using temporal data mining. In *2014 Fifth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications*. 2014. P. 454-457. <https://doi.org/10.1109/ISDEA.2014.109>
22. Jiang, R., Jin, C. J., Zhang, H. M., Huang, Y. X., Tian, J. F., Wang, W., ... & Jia, B. Experimental and empirical investigations of traffic flow instability. *Transportation research part C: emerging technologies*. 2018. 94, P. 83-98. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.08.024>
23. Shen, J., & Yang, G. Crash risk assessment for heterogeneity traffic and different vehicle-following patterns using microscopic traffic flow data. *Sustainability*. 2020. 12(23), 9888. <https://doi.org/10.3390/su12239888>
24. Cascetta, E., Punzo, V., & Montanino, M. Empirical analysis of effects of automated section speed enforcement system on traffic flow at freeway bottlenecks. *Transportation research record*. 2011. 2260(1), P. 83-93. <https://doi.org/10.3141/2260-10>
25. Hafram, S. M., & Asrib, A. R. Traffic Conditions and Characteristics: Investigation of Road Segment Performance. *International Journal of Environment, Engineering and Education*. 2022. 4(3), P. 108-114. <http://ijeedu.com/index.php/ijeedu/article/view/77>
26. Sugiyama, Y., Fukui, M., Kikuchi, M., Hasebe, K., Nakayama, A., Nishinari, K., ... & Yukawa, S. Traffic jams without bottlenecks—experimental evidence for the physical mechanism of the formation of a jam. *New journal of physics*. 2008. 10(3), 033001. DOI 10.1088/1367-2630/10/3/033001
27. Feng, X., Zhang, Y., Qian, S., & Sun, L. The traffic capacity variation of urban road network due to the policy of unblocking community. *Complexity*. 2021. 9292389. <https://doi.org/10.1155/2021/9292389>
28. Almatar, K. M. Traffic congestion patterns in the urban road network: (Dammam metropolitan area). *Ain Shams engineering journal*. 2023. 14(3), 101886. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101886>
29. Khattak, M. W., De Backer, H., De Winne, P., Brijs, T., & Pirdavani, A. Analysis of Road Infrastructure and Traffic Factors Influencing Crash Frequency: Insights from Generalised Poisson Models. *Infrastructures*. 2024. 9(3), 47. <https://doi.org/10.3390/infrastructures9030047>
30. Ernazarov, A. Efficiency of functioning of intersections with high-intensity traffic and pedestrian flows. *Technical science and innovation*. 2022. P. 192-197. <https://doi.org/10.51346/tstu-01.22.1-77-0162>
31. Zhao, H. T., Yang, S., & Chen, X. X. Cellular automata model for urban road traffic flow considering pedestrian crossing street. *Physica A: statistical mechanics and its applications*. 2016. 462, P. 1301-1313. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.06.146>
32. Nagatani, T. The physics of traffic jams. *Reports on progress in physics*. 2002. 65(9), 1331. DOI 10.1088/0034-4885/65/9/203
33. Fei, L., Zhu, H. B., & Han, X. L. Analysis of traffic congestion induced by the work zone. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2016. 450, P. 497-505. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.01.036>
34. Rodriguez, E., Ferreira, N., & Poco, J. JamVis: exploration and visualization of traffic jams. *The European Physical Journal Special Topics*. 2022. 231 (9), P. 1673-1687. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-021-00424-2>

References

1. Vojtov, V.A. et al. (2023). Otsinka erhonomichnoi stijkosti transportnoho potoku na dil'nytsiakh dorozhn'oi merezhi. Identyfikatsiia matematychnoi modeli [Assessment of ergonomic sustainability of traffic flow at road network sections. Identification of a mathematical model]. *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian scientific bulletin. Technical Sciences*, 7(38), 236-245. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).1.236-245](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.236-245) [in Ukrainian].
2. Kravtsov, A.H. et al. (2023). Obhruntuvannia kryteriiu stijkosti transportnoho potoku na dil'nytsiakh dorozhn'oi merezhi [Justification of the traffic flow stability criterion at the sections of the road network]. *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian scientific bulletin. Technical Sciences*, 7(38), 222-230. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.222-230](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.222-230) [in Ukrainian].
3. Horiainov, O.M. et al. (2023). Doslidzhennia matematychnoi modeli stijkosti transportnoho potoku na dil'nytsiakh dorozhn'oi merezhi mista [Study of the mathematical model of the stability of the traffic flow in the sections of the city's road network]. *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian scientific bulletin. Technical Sciences*, 8(39), 1, 183-195 [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).1.183-195](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).1.183-195) [in Ukrainian].
4. Vojtov V.A. et al. (2024). Prohnozuvannya zavantazhenosti vulyts' velykykh mist z urakhuvanniam kolyvan' shchil'nosti ta shvydkosti rukhu transportnykh potokiv [Forecasting the congestion of the streets of large cities, taking into account fluctuations in the density and speed of traffic flows]. *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian scientific bulletin. Technical Sciences*, 9(40), 1 pp. 165-177. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).1.165-177](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).1.165-177) [in Ukrainian].
5. Wang, S., Chen, C., Zhang, J., Gu, X., & Huang, X. (2022). Vulnerability assessment of urban road traffic systems based on traffic flow. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*. 38, 100536. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2022.100536> [in English].
6. Romanowska, A., & Jamroz, K. (2021). Comparison of traffic flow models with real traffic data based on a quantitative assessment. *Applied Sciences*. 11(21), 9914. <https://doi.org/10.3390/app11219914> [in English].
7. Gore, N., Chauhan, R., Easa, S., & Arkatkar, S. (2023). Traffic conflict assessment using macroscopic traffic flow variables: A novel framework for real-time applications. *Accident Analysis & Prevention*. 185, 107020. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107020> [in English].
8. Mohammadian, S., Haque, M. M., Zheng, Z., & Bhaskar, A. (2021). Integrating safety into the fundamental relations of freeway traffic flows: A conflict-based safety assessment framework. *Analytic methods in accident research*. 32, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.amar.2021.100187> [in English].
9. Lan, C. J., & Davis, G. A. (1997). Empirical assessment of a Markovian traffic flow model. *Transportation research record*. 1591(1), P.31-37. <https://doi.org/10.3141/1591-05> [in English].
10. Juran, I., Prashker, J. N., Bekhor, S., & Ishai, I. (2009). A dynamic traffic assignment model for the assessment of moving bottlenecks. *Transportation research part C: emerging technologies*. 17(3), P. 240-258. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2008.10.003> [in English].
11. Treiber, M., & Kesting, A. (2012). Validation of traffic flow models with respect to the spatiotemporal evolution of congested traffic patterns. *Transportation research part C: emerging technologies*. 21(1), P. 31-41. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2011.09.002> [in English].
12. Mei, Y., Wang, S., Gong, M., & Chen, J. (2024). Urban Traffic Dominance: A Dynamic Assessment Using Multi-Source Data in Shanghai. *Sustainability*. 16(12), 4956. <https://doi.org/10.3390/su16124956> [in English].
13. Pompigna, A., & Mauro, R. A (2022). Statistical Simulation Model for the Analysis of the Traffic Flow Reliability and the Probabilistic Assessment of the Circulation Quality on a Freeway Segment. *Sustainability*. 14(23), 16019. <https://doi.org/10.3390/su142316019> [in English].
14. Goh, Y. M., & Love, P. E. (2012). Methodological application of system dynamics for evaluating traffic safety policy. *Safety science*. 50(7), P. 1594-1605. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.03.002> [in English].
15. Zeng, J., Qian, Y., Wang, B., Wang, T., & Wei, X. (2019). The impact of traffic crashes on urban network traffic flow. *Sustainability*. 11(14), 3956. <https://doi.org/10.3390/su11143956> [in English].

16. Xiao, D., Ding, H., Sze, N. N., & Zheng, N. (2024). Investigating built environment and traffic flow impact on crash frequency in urban road networks. *Accident Analysis & Prevention*. 201, 107561. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107561> [in English].
17. Ognjenovic, S., Donceva, R., & Vatin, N. (2015). Dynamic homogeneity and functional dependence on the number of traffic accidents, the role in urban planning. *Procedia Engineering*, 117, P. 551-558. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.212> [in English].
18. Theofilatos, A., & Yannis, G. (2014). A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety. *Accident Analysis & Prevention*. 72, P. 244-256. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.06.017> [in English].
19. Cheng, Z., Lu, J., & Li, Y. (2018). Freeway crash risks evaluation by variable speed limit strategy using real-world traffic flow data. *Accident Analysis & Prevention*. 119, P. 176-187. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.07.009> [in English].
20. Golob, T. F., Recker, W. W., & Alvarez, V. M. (2004). Freeway safety as a function of traffic flow. *Accident Analysis & Prevention*. 36(6), P. 933-946. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2003.09.006> [in English].
21. Shi, A., Tao, Z., Xinming, Z., & Jian, W. (2014). Evolution of traffic flow analysis under accidents on highways using temporal data mining. In *2014 Fifth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications*. P. 454-457. <https://doi.org/10.1109/ISDEA.2014.109> [in English].
22. Jiang, R., Jin, C. J., Zhang, H. M., Huang, Y. X., Tian, J. F., Wang, W., ... & Jia, B. (2018). Experimental and empirical investigations of traffic flow instability. *Transportation research part C: emerging technologies*. 94, P. 83-98. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.08.024> [in English].
23. Shen, J., & Yang, G. (2020). Crash risk assessment for heterogeneity traffic and different vehicle-following patterns using microscopic traffic flow data. *Sustainability*. 12(23), 9888. <https://doi.org/10.3390/su12239888> [in English].
24. Cascetta, E., Punzo, V., & Montanino, M. (2011). Empirical analysis of effects of automated section speed enforcement system on traffic flow at freeway bottlenecks. *Transportation research record*. 2260(1), P. 83-93. <https://doi.org/10.3141/2260-10> [in English].
25. Hafram, S. M., & Asrib, A. R. (2022.) Traffic Conditions and Characteristics: Investigation of Road Segment Performance. *International Journal of Environment, Engineering and Education*. 4(3), P. 108-114. <http://ijeedu.com/index.php/ijeedu/article/view/77> [in English].
26. Sugiyama, Y., Fukui, M., Kikuchi, M., Hasebe, K., Nakayama, A., Nishinari, K., ... & Yukawa, S. (2008). Traffic jams without bottlenecks—experimental evidence for the physical mechanism of the formation of a jam. *New journal of physics*. 10(3), 033001. DOI 10.1088/1367-2630/10/3/033001 [in English].
27. Feng, X., Zhang, Y., Qian, S., & Sun, L. (2021). The traffic capacity variation of urban road network due to the policy of unblocking community. *Complexity*. 9292389. <https://doi.org/10.1155/2021/9292389> [in English].
28. Almatar, K. M. (2023). Traffic congestion patterns in the urban road network: (Dammam metropolitan area). *Ain Shams engineering journal*. 14(3), 101886. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101886> [in English].
29. Khattak, M. W., De Backer, H., De Winne, P., Brijs, T., & Pirdavani, A. (2024). Analysis of Road Infrastructure and Traffic Factors Influencing Crash Frequency: Insights from Generalised Poisson Models. *Infrastructures*. 9(3), 47. <https://doi.org/10.3390/infrastructures9030047> [in English].
30. Ernazarov, A. (2022). Efficiency of functioning of intersections with high-intensity traffic and pedestrian flows. *Technical science and innovation*. P. 192-197. <https://doi.org/10.51346/tstu-01.22.1-77-0162> [in English].
31. Zhao, H. T., Yang, S., & Chen, X. X. (2016). Cellular automata model for urban road traffic flow considering pedestrian crossing street. *Physica A: statistical mechanics and its applications*. 462, P. 1301-1313. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.06.146> [in English].
32. Nagatani, T. (2002). The physics of traffic jams. *Reports on progress in physics*. 65(9), 1331. DOI 10.1088/0034-4885/65/9/203 [in English].
33. Fei, L., Zhu, H. B., & Han, X. L. (2016). Analysis of traffic congestion induced by the work zone. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 450, P. 497-505. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.01.036> [in English].

34. Rodriguez, E., Ferreira, N., & Poco, J. (2022). JamVis: exploration and visualization of traffic jams. *The European Physical Journal Special Topics*. 231 (9), P. 1673-1687. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-021-00424-2> [in English].

Viktor Vojtov, Prof., DSc., **Andriy Kravtsov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Anton Voitov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Natalija Berezna**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Igor Sysenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Leonid Kryvenko**, Director of the enterprise 16363, **Ihor Babaryka**, Assoc. Prof., PhD ag-s. sci.
State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

The concept of assessing the ergonomic stability of the traffic flow of large places with the balance of the dynamics of changes in flow factors

The methodological approach of forecasting the congestion of the streets of large cities, taking into account the fluctuations in the density of traffic flows and the speed of movement of cars in the flow, received further development. The methodical approach takes into account fluctuations in the dynamics of the traffic flow in the form of changes in the acceleration of the movement of cars in the flow and fluctuations in changes in the infrastructure of the road environment, which is associated with the number of traffic lights, pedestrian crossings and the number of lanes for the movement of vehicles.

Through modeling, it was found that increasing the acceleration values of cars in the stream significantly increases the range of robustness. At low values of acceleration of cars, the reserve of resistance to the formation of traffic jams decreases, which negatively affects the traffic flow, there is a probability of the formation of traffic jams. The presence of fluctuations in the density of the traffic flow and the speed of movement of cars in the flow, due to changes in the acceleration of cars, allows making adjustments to the value of the robustness criterion. Adjustments can be made for different clusters of the road network, for different times of the day, and take into account the period of fluctuations. The dependences of the change in the robustness range of the traffic flow upon changing the infrastructure of the road network are given. It has been established that increasing the number of lanes and simultaneously reducing the number of traffic lights and pedestrian crossings on the controlled cluster significantly increases the stability of the movement of vehicles in the flow. Conversely, reducing the number of lanes, increasing the number of traffic lights and pedestrian crossings on the controlled cluster significantly reduces the stability of the movement of vehicles in the flow. Adjustment of density and movement speed can be performed taking into account the amplitude of oscillations.

The concept of modeling and forecasting the stability of traffic flows of large cities to the formation of traffic jams is formulated. The main components of the concept, according to which such an assessment is performed step by step, taking into account the dynamics of changes in influencing factors, are substantiated. The proposed concept differs from the known ones in that it takes into account fluctuations in traffic flow parameters - the density and speed of movement of vehicles over time. Such changes are characteristic of the city's road network during "peak hours".

traffic flow, forecasting, dynamic model, traffic flow density, traffic speed, traffic flow robustness criterion, oscillation amplitude, oscillation period, traffic flow stability, traffic jam

Одержано (Received) 16.05.2024

Прорецензовано (Reviewed) 17.06.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

ЗМІСТ

Комп'ютерні науки

- К.М. Марченко, О.В. Оришака, С.О. Брагінець, Д.О. Берестенко*
Вплив якості програмного забезпечення на продуктивність праці та стомлюваність працівників3

Прикладна механіка

- Б.А. Ляшенко, Л.А. Лопата, В.Н. Лопата, Н.П. Забойкіна*
Альтернативна технологія поверхневого зміцнення внутрішніх поверхонь довгомірних деталей.....13

Галузеве машинобудування

- А.Р. Анаракін, П.М. Єршомін, В.А. Мажара*
Синтез схем навантаження силових елементів кульково-гвинтового гідропідсилювача з аксіальною структурою приводу.....23

- О.В. Нестеренко, О.М. Васильковський, Р.В. Кісільов, В.М. Сало*
Аналіз одношарового руху зернового матеріалу у вертикальному пневмосепараційному каналі.....31

Будівництво та цивільна інженерія

- Victor Pashynskiy, Mykola Pashynskiy, Victor Pashynskiy*
Zoning of Thermal Actions on Load-Bearing Structures for the Territory of Ukraine 41

- В.М. Гордєєв, О.І. Кордун, В.А. Пашинський, М.В. Пашинський*
Аналіз тенденцій довготривалих змін кліматичних навантажень49

Агроінженерія

- О. В. Хмельовський*
Аналіз конструкцій глушників вакуумних насосів60

Автомобільний транспорт

- Д.В. Голуб, В.В. Аулін*
Математична модель підвищення якості управління мехатронною системою мікроклімату салону автомобіля 66

- А.Б. Гупка, В.В. Аулін, В.З. Гудь, І.Г. Ткаченко, Л.М. Слободян, Д.В. Міронов*
Дослідження впливу змінного електромагнітного поля на трибологічні властивості моторних оливи78

- О.Л. Ляшук, Д.В. Міронов, С.В. Лисенко, А.Б. Гупка, Ю.Д. Бодоряк*
Статистичний аналіз дорожньо-транспортних пригод у Тернопільській області та заходи щодо зниження аварійності.....88

- П.Б. Прогній, Р.В. Чорний, О.В. Чорна, М.В. Буряк, В.С. Колодій, І.Є. Величенко, Ю.М. Петришин*
До визначення способу регулювання гальмівних сил причіпної ланки автопоїзда.106

<i>О.П. Захарчук, В.О. Кисіль, О.С. Шевчук, Н.М. Фалович, В.Б. Захарчук</i> Оцінка економічної ефективності оптимізації трансмісії пасажирських автобусів типу Setra S 417	112
<i>О.П. Захарчук, А.О. Денис, О.С. Шевчук, Н.М. Фалович, В.Б. Захарчук</i> Удосконалення трансмісій міських пасажирських автобусів ЛАЗ-5208 LN	118
<i>П.Б. Прогній, П.В. Попович, О.С. Шевчук, І.О. Лоїк, С.А. Мишко, Ю.Б. Коваль, М.О. Вітрук</i> До аналізу викидів від зносу автомобільних шин, як екологічної складової використання автомобільного транспорту	127
<i>П.Б. Прогній, Д.П. Попович, О.В. Чорна, Р.І. Розум, М.В. Буряк, В.В. Бірючинський, М.Р. Баиуцький</i> Дослідження гальмівної динаміки автопоїзда	136
<i>В.В. Аулін, М.С. Магонець</i> Формування мікроклімату в салонах автотранспортних засобів підігрівачами різної конструкції	146
<i>В.В. Розум, В.В. Кудінов, І.В. Кудінов, О.І. Попович, В.О. Дрожай, Р.І. Розум, Р.В. Чорний</i> Охолоджуючі рідини для ДВЗ: огляд	158
Транспортні технології (за видами)	
<i>О.О. Кухаренко, Д.О. Шалапко, Л.А. Тарандушка</i> Інтеграція водневих технологій у транспортні двигуни внутрішнього згорання: аналіз впливу на ефективність та екологічність	164
<i>К.М. Березька, О.С. Шевчук, Н.М. Фалович, Ю. Р. Бубняк</i> Аналіз проблем і математичних методів для їх вирішення в транспортній логістиці	174
<i>Volodymyr Zahorianskyi</i> Consumer and transport containers for road transportation of main types of petroleum cargoes, ergonomic requirements for handling and warehousing	182
<i>Volodymyr Zahorianskyi, Olena Zahorianska, Tetyana Haikova</i> Application of the methods of ergonomic, operations research and theory of systems in modeling of the main parameters of a warehouse for tared and piece cargoes	189
<i>Д.В. Молоштан, С.О. Король, К. С. Король</i> Удосконалення організації дорожнього руху та експлуатації транспортних засобів методом математичного і комп'ютерного моделюванн	195

<i>В.В. Аулін, О.Л. Ляшук, А.В. Гриньків, О.П. Цьонь, В.З. Гудь, А.О. Головатий, С.Ю. Тищенко, А.А. Сергійчук</i> Формування логістичної інформаційної системи ефективного управління транспортними і виробничими підприємствами.....	204
<i>І.І. Філімоніхіна, М.Ф. Семенюта, С.М. Якименко</i> Прогнозування показників пасажирських перевезень на автомобільному транспорті.....	219
<i>Ю.Б. Коваль, О.В. Чорна, П.В. Попович, О.С. Шевчук, І.О. Лоїк, С.А. Мишко, М.О. Вітрук, В.О. Дрожак</i> Особливості розвитку ринку транспортних послуг.....	229
<i>Н.М. Фалович, О.С. Шевчук, В.А. Фалович, О.П. Захарчук, П.А.Бакулін</i> Соціальні та економічні параметри формування плану сталої міської мобільності Тернопільської міської територіальної громади.....	241
<i>О.С. Шевчук, К.М. Березька, О.П. Захарчук, Н.М. Фалович, Р.В. Сіран</i> Інституційні та нормативно-правові аспекти регулювання сталої міської мобільності.....	247
<i>В.А. Войтов, А.Г. Кравцов, А.В. Войтов, Н.Г. Бережна, І.І. Сисенко, Л.Ф. Кривенко, І. Г. Бабарика</i> Концепція оцінки ергономічної стійкості транспортного потоку великих міст з урахуванням динамічності зміни впливових факторів.....	256

CONTENT

Computer Science

Konstantyn Marchenko, Oleh Oryshaka, Stanislav Brahinets, Danyil Berestenko
The impact of software quality on work efficiency and employee fatigue.....3

Applied Mechanics

Boris Lyashenko, Larysa Lopata, Vitalii Lopata, Natalia Zaboykina
Alternative technology of surface strengthening of internal surfaces of durable parts..... 13

Industry Engineering

Anton Aparakin, Pavlo Yeromin, Vitaliy Mazhara
Synthesis of load schemes of power elements of a ball-screw hydraulic power steering
with an axial drive structure 23

Oleksandr Nesterenko, Oleksii Vasylykovskiy, Ruslan Kisilov, Vasyl Salo
Analysis of single-layer movement of grain material in a vertical pneumatic
separation channel 31

Construction and Civil Engineering

V.A. Пащинський, М.В. Пащинський, В.В. Пащинський
Районування температурних кліматичних впливів на несучі будівельні конструкції
для території України 41

Vadym Hordeiev, Oleksandr Kordun, Victor Pashynskiy, Mykola Pashynskiy
Analysis of trends in long-term changes in climatic loads..... 49

Agroengineering

Oleksandr Khmelovskiy
Analysis of Vacuum Pump Mufflers Designs.....60

Road Transport

Dmytro Holub, Viktor Aulin
Mathematical model of improving the quality of control of the mechatronic system
of the car interior microclimate 66

*Andrii Gypka, Victor Aulin, Victor Hud, Igor Tkachenko, Lubomir Slobodyan,
Dmitro Mironov*
Study of the influence of a variable electromagnetic field
on the tribological properties of motor oils.....78

Oleg Lyashuk, Dmytro Mironov, Serhii Lysenko, Andrii Hupka, Yurii Bodoriak
Statistical Analysis of Road Traffic Accidents in Ternopil Region and Measures
for Reducing Accident Rates 88

*Pavlo Prohniy, Ruslan Chorny, Olha Chorna, Mykola Buriak, Viktor Kolodii,
Ihor Velychenko, Yurii Petryshyn*
Research of braking dynamics of a road train.....106

<i>Olena Zakharchuk, Victoria Kysil, Oksana Shevchuk, Nataliia Falovych, Vasyl Zakharchuk</i> Assessment of the economic effectiveness of optimizing the transmission of Setra S 417 passenger buses	112
<i>Olena Zakharchuk, Anastasia Denis, Oksana Shevchuk, Nataliia Falovych, Vasyl Zakharchuk</i> Improvement of transmissions of city passenger buses LAZ-5208 LN.....	118
<i>Pavlo Prohnii, Pavlo Popovich, Oksana Shevchuk, Ihor Loik, Serhii Myshko, Yurii Koval, Maksym Vitruk</i> To the analysis of emissions from the wear of automobile tires as an environmental component of the use of road transport.....	127
<i>Pavlo Prohnii, Danylo Popovych, Olha Chorna, Ruslan Rozum, Mykola Buriak, Vitalii Biriuchynskyi, Mykhailo Bashutskyi</i> Research of braking dynamics of a road train.....	136
<i>Viktor Aulin, Mykhailo Mahopets</i> Formation of the microclimate in the cabins of motor vehicles by heaters of various designs	146
<i>Volodymyr Rozum, Valerii Kudinov, Ihor Kudinov, Oleksandr Popovych, Vlad Drozhak, Ruslan Rozum, Ruslan Chornuy</i> Coolants for internal combustion engines: an overview	158
Transport Technologies (by Types)	
<i>Olexandr Kukhareno, Denys Shalapko, Lyudmila Tarandushka</i> Hydrogen internal combustion engines in transport: enhancing efficiency and overcoming infrastructure challenges.....	164
<i>Kateryna Berezka, Oksana Shevchuk, Natalia Falovych</i> Analysis of problems and mathematical methods for their solution in transport logistics	174
<i>В. Г. Загорянський</i> Споживацька і транспортна тара для автомобільних перевезень основних видів нафтопродуктів, ергономічні вимоги до поводження і складування... ..	182
<i>В. Г. Загорянський, О. Л. Загорянська, Т. В. Гайкова</i> Застосування методів ергономіки, дослідження операцій і теорії систем в моделюванні основних параметрів складу тарно-штучних вантажів	189
<i>Dmytro Moloshtan, Serhii Korol, Kateryna Korol</i> Improvement of traffic organization and vehicle operation by means of mathematical and computer modeling	195

<i>Victor Aulin, Oleg Lyashuk, Andrii Hrynkiv, Oleg Tsyon, Victor Hud, Artem Holovatyy, Serhii Tyshchenko, Andrii Serhiychuk</i> Formation of a logistic information system for effective management of transport and production enterprises	204
<i>Iryna Filimonikhina, Marina Semeniuta, Serhiy Yakymenko</i> Forecasting indicators of passenger transportation by road transport.....	219
<i>Yurii Koval, Olga Chorna, Pavlo Popovich, Oksana Shevchuk, Ihor Loik, Serhii Myshko, Maksym Vitruk, Vlad Drozhak</i> Features of the development of the transportation services market.....	229
<i>Nataliia Falovych, Oksana Shevchuk, Volodymyr Falovych, Olena Zakharchuk, Petro Bakulin</i> Social and economic parameters of the formation of PSMM of Ternopil urban territorial community	241
<i>Oksana Shevchuk, Kateryna Berezka, Olena Zakharchuk, Natalia Falovych, Roman Siran</i> Institutional and legal aspects of regulating sustainable urban mobility	247
<i>Viktor Vojtov, Andriy Kravtsov, Anton Voitov, Natalija Berezna, Igor Sysenko, Leonid Kryvenko, Ihor Babaryka</i> The concept of assessing the ergonomic stability of the traffic flow of large places with the balance of the dynamics of changes in flow factors.....	256