

ISSN 2664-262X

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет

**ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВИЙ ВІСНИК.
ТЕХНІЧНІ НАУКИ**

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

**В и п у с к 5(36)
Частина II**

Кропивницький • 2022

ISSN 2664-262X

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

**CENTRAL UKRAINIAN SCIENTIFIC BULLETIN.
TECHNICAL SCIENCES**

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

**Issue 5(36)
Part II**

Kropyvnytskyi • 2022

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

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

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

Рекомендовано до друку Вченою радою Центральноукраїнського національного технічного університету, протокол від 30 травня 2022 року № 9.

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

Редакційна колегія: Аулін В.В., д-р техн. наук, проф., (заступник головного редактора за галузями: 13 «Механічна інженерія», 19 «Архітектура та будівництво», 20 «Аграрні науки та продовольство», 27 «Транспорт»); Кузик О.В., канд. техн. наук, доц. (відповідальний секретар за галузями: 13 «Механічна інженерія», 19 «Архітектура та будівництво», 20 «Аграрні науки та продовольство», 27 «Транспорт»); Осадчий С.І., д-р техн. наук, проф. (заступник головного редактора за галузями: 12 «Інформаційні технології», 15 «Автоматизація та приладобудування»); Березюк І.А., канд. техн. наук, доц. (відповідальний секретар за галузями: 12 «Інформаційні технології», 15 «Автоматизація та приладобудування»); Боков В.М., канд. техн. наук, доц.; Варума Аріфа, Dr PhD (Niger); Васильковський О.М., канд. техн. наук, проф.; Віхрова Л.Г., канд. техн. наук, проф.; Гамалій В.Ф., д-р ф.-м. наук, проф.; Галкін А.С., д-р техн. наук, проф.; Гасенко А.В., канд. техн. наук, доц.; Голуб Д.В., канд. техн. наук, доц.; Гриньків А.В., канд. техн. наук, ст. наук. співр.; Дарієнко В.В., канд. техн. наук, доц.; Зоценко М.Л., д-р техн. наук, проф.; Івашук В.В., д-р техн. наук, доц.; Карпушин С.О., канд. техн. наук, доц.; Кириченко А.М., д-р техн. наук, проф.; Клименко В.В., д-р техн. наук, проф.; Коваленко О.В., д-р техн. наук, доц.; Кондратець В.О., д-р техн. наук, проф.; Лисенко С.В., канд. техн. наук, доц.; Матейчик В.П., д-р техн. наук, проф.; Мацуї А.М. канд. техн. наук, доц.; Мелешко Є.В., д-р техн. наук, проф.; Немировський Я.Б., д-р техн. наук; Павленко І.І., д-р техн. наук, проф.; Пашинський В.А. д-р техн. наук, проф.; Пашинський М.В., канд. техн. наук; Россолов О.В., д-р техн. наук, доц.; Сало В. М., д-р техн. наук, проф.; Смірнов О.А., д-р техн. наук, проф.; Смірнов С.А., канд. техн. наук; Солових Є.К., д-р техн. наук, проф.; Сторчак М.Г., д-р техн. наук, ст. наук. співр. (Німеччина); Тарандушка Л.А., д-р техн. наук, доц.; Філімоніхін Г.Б., д-р техн. наук, проф.; Шепеленко І.В., д-р техн. наук, доц.; Яцун В.В., канд. техн. наук, доц.

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

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

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

Науковий вісник заснований у 1997 році.

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

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

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

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

DOI: 10.32515/2664-262X

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

UDC 004.42:61

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.3-10](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.3-10)**Oleksandr Dorenskyi**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Olena Drobko**,**Oleksandr Drieiev**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine**e-mail: dorenskyiop@kntu.kr.ua, ms.alenas@gmail.com, drieievom@kntu.kr.ua*

Improved Model and Software of the Digital Information Service of the Municipal Health Care Institutions

Today, state and municipal services are being actively digitized in Ukraine. In particular, the Kropyvnytskyi city authorities initiated the creation of several information systems (IS) necessary for the development of various spheres of activity based on public needs for municipal services. Among these are IS of medical services provided by the city's health care institutions. Thus, the scientific and technical task of implementing the software for the municipal medical services information system in the city of Kropyvnytskyi is relevant. The work aims to implement access to information about medical services of health care institutions in the city of Kropyvnytskyi by creating municipal information systems with iOS-client.

The scientific novelty of the obtained results is to improve the model of municipal information systems of medical services through the implementation of the offline mode of system operation, which in contrast to existing models of similar municipal systems provides access to IP data in the absence of Internet connection. The practical value of the results of scientific work is determined by the developed algorithms of the system, non-creation, work with the map and collection center of analytical, mobile iOS-application of the municipal medical services information system for the city of Kropyvnytskyi, published in the "App Store".

digitalization, digitalization, information system, medical service, software

Introduction. Modern technologies have made it possible to place large capacities on small devices, which has led to the popularization of smartphones. Mobile applications have become full-fledged analogs of PC applications and web services. Therefore, it's logical that the authorities want to use this tool to improve the mechanism of the state.

Based on the public need, the city authorities of Kropyvnytskyi initiated the creation of several information systems for municipal services, which are necessary for the development of various activity spheres. Their initiative is to create IS medical services. The municipal government is interested in a service that will provide access to up-to-date data about the medical equipment of all hospitals in the city by mobile application. Thus, the work aims to give access to information about health care institutions' medical services in the city of Kropyvnytskyi through the implementation of municipal IS with an iOS-client. The expected result is an iOS application that will meet the needs of the local community in free access to information about medical services in Kropyvnytskyi.

The object of the study is the process of providing access to information about medical services of municipal health care facilities by using the Internet, information and telecommunications technologies, and the subject is the technology of creation of IS medical services at the municipal level based on software application for mobile operating system iOS.

Achieving the goal of work will ensure the solution of the following tasks:

1) to analyze existing systems analogs and technical solutions of municipal information systems;

- 2) to develop a conceptual model of IS of medical services;
- 3) to improve the model of the municipal medical services information system to ensure access to IS data in the absence of the Internet;
- 4) to develop functioning algorithms for the client of municipal information systems of medical services on a mobile platform;
- 5) to implement client software IS medical services for mobile operating systems iOS and perform its qualified testing.

Analysis of recent research and publications. The analysis of analog systems [1, 3, 5, 9, 10] and municipal information resource www.kr-rada.gov.ua/elektronni-servisi revealed the activity of local governments in creating and promoting information systems, as well as examples of already implemented services for the community of Kropyvnytskyi: "Green Kropyvnytskyi", "Public Budget" and "Educational Map of Kropyvnytskyi"; all of them in some way facilitate the community's access to some information, but none of them provides access to information about health services, so the municipal health information system will be unique and relevant.

The application, which is the project's end product, is part of the municipal health information system. The purpose of IS is to describe an object or group of objects, states, and interactions, which are expressed through certain indicators. The main tasks include [4]: identifying sources of information; collection, registration, processing, and issuance of information; distribution of information between users.

The scope of municipal IS of medical services follows from the purpose: municipal - for all residents of Kropyvnytskyi; medical - for all individuals involved in the medical field: doctors and patients.

At the initiative of local governments, all medical institutions of the city provide complete information about medical services and the state of medical equipment, and with the help of IS this information is processed and made available to all residents. Therefore, the area of application of the software to be developed is the sphere of medical services in the city.

The purpose. It's needed to improve the model of municipal medical information system in order to implement the offline mode of system operation, which is based on different models of similar municipal systems that provide access to IS data during Internet connection. The object of research is the process of providing access to information about municipal health care institutions' medical services using Internet information and telecommunication technologies. The subject of research is the technology of synthesis of the medical services information system at the municipal level based on the software application for the mobile operating system iOS.

Research methods. The methodological and informational basis of the work is the methods of information systems theory, algorithm theory, analysis and synthesis methods, process and system modeling methods, information systems design methods, algorithm design methods, software implementation methods, qualified software testing methods.

Results. The municipal health information system will be based on a client-server architecture. The client will communicate with the server via the Internet. The client will be a mobile application for iPhone, and the server will be a group of several service elements. So, each of the service elements will have an independent channel for exchanging data with the client.

The service elements will be responsible for the construction of routes to hospitals with the current user position, analysis of analytical data, construction of statistical graphs, and communication with the database of medical services. The most important role is played by the server, which will interact with the database and send the client information about hospitals and medical services of the city.

The mobile application will use a graphical interface to interact with the user. If necessary, the user must send or receive information from the server part, as well as work with maps, build routes and collect data for statistics.

The conceptual model of the municipal medical services information system is presented in [7, 8, 11, 12].

Development of an improved model of municipal information systems of medical services. The development of an advanced IS model is based on the use of a conceptual model. It helps easily identify main components of the system, and then it remains to determine only their main functions and types of relationships between them.

It is proposed to improve the model of municipal information systems of medical services by implementing the process of offline mode of system operation, which, unlike existing models of municipal systems provides access to IS data without the Internet.

The first large block is divided into three parts: View Controller, View Model, and Coordinator (Fig. 1). Combining of these three elements into one block is justified by the architecture of the application, in which each screen is represented by three given elements.

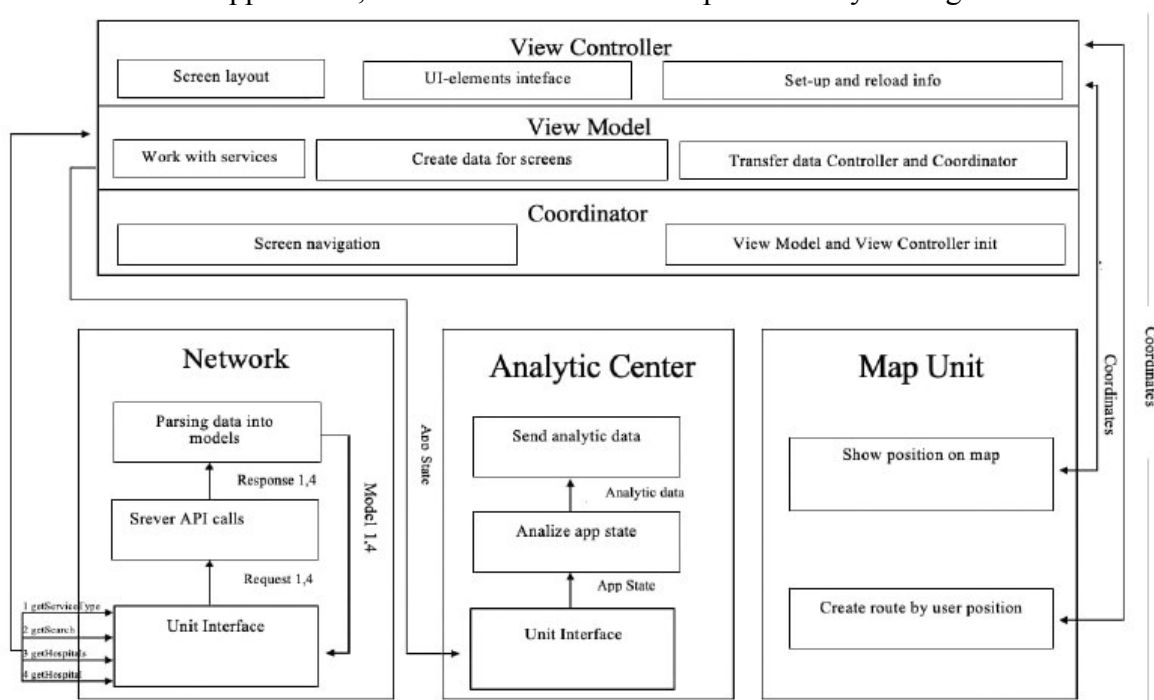


Figure 1 – Improved model of municipal health services IS

Source: compiled by the authors

The View Controller element is responsible for building screens and interacting with UI elements. The screen can be built only with the help of code, or you can use files to build graphic elements: *.xib or *.storyboard. All screens in the project must be created in *.storyboard, their graphical representations are built using built-in or special graphic elements, and then the correspondence between them and the controllers is written. If View has a graphical representation in another file, you need to create links between the elements and the code responsible for their configuration. After completing all the settings, the View Controller can populate and update the data displayed on the screen. Data for the screen is obtained from the View Model.

View Model is responsible for all the business logic of the screen. It creates data packets for the screen, receives all the necessary information, and formats it to the desired appearance. To receive or transmit information View Model communicates with services. Thus, all work with services is done only through the View Model. It is important to

emphasize that it is the View Model that implements the data transfer between the View Controller and the Coordinator. The most common example of such transfer is navigation between screens. View Controller receives the information that the user clicked on the button, passes it to the View Model, and the last passes it to the Coordinator, which performs the process of switching to another screen.

As described above, the Coordinator is the element responsible for navigating between screens. However, another important feature of this class is the creation of the View Model and View Controller. During initialization, communication with the Coordinator retains only the View Model, so communication with the View Controller is shown one-way.

In addition to the first large block, the chart shows three more blocks. Two of them are connected only with the View Model, these are services, and one is with the View Controller, which is a generalization of the process of working with the map.

The first of the two services is Network (work with the server part). It contains some additions that allow it to work with the Internet. The interface for interaction with this unit has four functions: `getServiceType` - initiates a request for all types of medical services; `getSearch` - initiates a search query; `getHospitals` - initiates a request to receive all hospitals that provide a particular medical service; `getHospital` - initiates a request for detailed information about a particular hospital.

After creation, the request is sent to the server and according to API, the answer is arrived. The resulting data is converted from the JSON format to special models, which are then returned to the View Model. There are several types of answers. Some of them can be considered valid and some of them are errors. However, the only thing left is to spread the answer and pass it on.

The second service is the analytical data collection center. Its interface is quite simple; it expects the state of the application from View Model. The center analyzes this state and generates a special message that is sent to Firebase.

The map unit, as described above, is a generalization for the two main tasks, displaying the location and construction of the route. Both tasks are performed independently, but the View Controller starts working by transmitting coordinates. The positioning of a specific location on the map is displayed using a native UI element that contains its logic, so View Controller only transmits coordinates and changes some of its configurations. A third-party service Google Maps provide construction of the routes. View Model generates a link and passes it to the View Controller, which opens a link to Google Maps using a browser.

As a result of the development of the improved model based on the conceptual model, the functions and connections for all software components of the client of the municipal medical services information system are defined. With the help of these data, an improved model was built.

The authors developed models of algorithms for the operation of an automated information service. During the planning and description of design decisions, the functionality of the IS is determined, based on which the client-server architecture for project implementation is selected and the main components are identified: the client and the group of server elements. During the development of the conceptual model of IS all structural elements of the system (for the client: UI, business logic, navigation, analytics, Network and work with maps; for the server: Google Maps, Firebase, and server that accesses the database of medical services) and connections between them are identified, after which in the development of an improved model based on the structural elements of the client their main functions, detailed their relationships were justified.

Therefore, this section proposes models for municipal IS of medical services, and the described elements, connections, functionality of IS, and algorithms are the basis for design decisions.

Software implementation of the app for the municipal medical services information system. The mobile software, which is developed in this study, is designed for use under the iOS, operating system (OS) developed by Apple for mobile devices, tablets, etc. The main feature of this OS is that it can only be used on devices manufactured by Apple. It uses the XNU core (Match microkernel), which stores closed source code.

Since the mobile application will be created only for iOS devices, the easiest to use is Xcode. At the same time, this choice affects the choice of programming language. Xcode supports two programming languages: Swift and Objective-C. The first is the primary development language for iOS, the syntax is derived from C and SmallTalk. Although Swift has recently been introduced, many advanced projects are still implemented on Objective-C [6]. Swift is a new programming language (2014), created by Apple specifically for software development for the company's devices. It is intuitive, easy to read, strictly typed, but quite resistant to program errors. It should be noted that Apple has implemented mechanisms to integrate both Swift in Objective-C and vice versa. Swift will use the programming language as the basis for this project.

Discussion. After the completion of the project, an application was implemented, which is a client of the municipal medical services information system. During its testing, the operation of the main modules of the application was tested: Network, work with the map, and the center for collecting analytical data.

During the qualified testing of the compiled IS application, the correctness of downloading information from the server and the correctness of the display on the user's screen were checked. An example of the program code for requesting detailed information about the hospital is as follows:

```
getHospital (id: "472cf05208fcf4c9f1cf473de68904db")
networkService.hospitalObserver.subscribe (onNext: {[weak self] result in
    switch result {
    case .success (flightmodel ):
        self?.update (model: model)
        print ("Hospital response received with id =", model.id)
        self?.isHUD = false
        self?.didLoadData? ()
    case .failure (error: let error):
        self?.didLoadFailed? (error)
        print ("Error received", error.description)
    }
}). disposed (by: disposeBag)
```

Output to the terminal:

```
Received a response about the hospital with id =
472cf05208fcf4c9f1cf473de68904db
```

A test route was developed to test the map using the same hospital. It is the browser that completely coincides with the one received during the experimental test and confirms the correctness of the service. And Debug View was used to test the work of the analytical data collection center. This tool is useful for validation during the development phase and helps to identify errors in the implementation of analytics. For testing purposes the software is compiled on a built-in IDE simulator that connects to Debug View via the Internet. The test result confirmed that all events and properties are recorded correctly (Fig. 2).

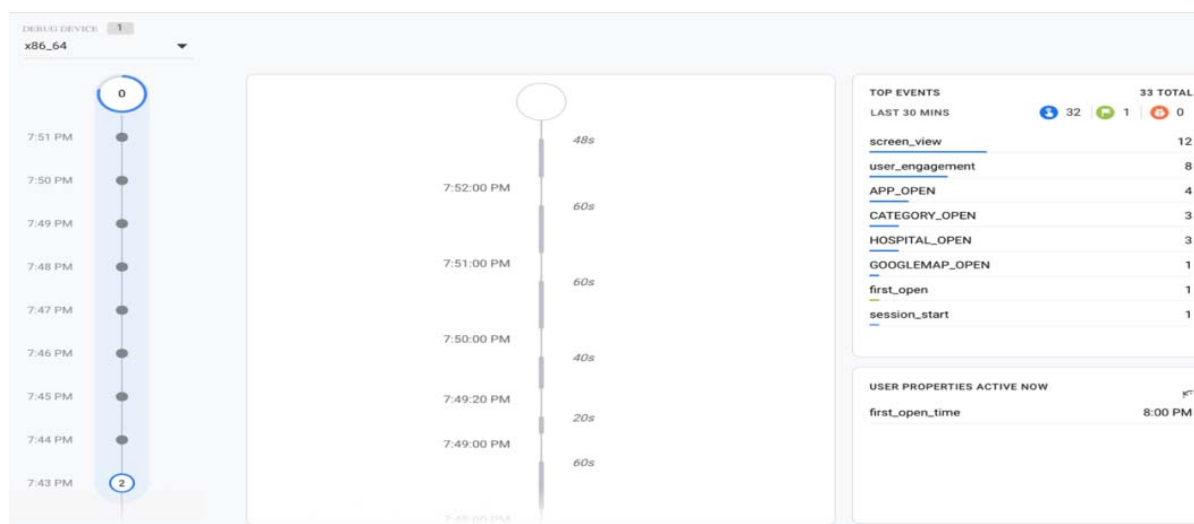


Figure 2 – Debug View screenshot

Source: compiled by the authors

Conclusions. The initiative of the local self-government authorities of the city of Kropyvnytskyi and the need to digitalize the sphere of medical services were reasons for the creation of a municipal medical services information system as a topical issue. The implementation of the software is a part of a program aimed at information resources creation for the city community. In general, this is a unique IS. Its purpose is to inform the community about medical services and the work of medical institutions, and the area of application in the field of medical services in the city of Kropyvnytskyi.

In the process of planning and describing project solutions, the functionality of the municipal medical services information system was determined, based on which the chosen client-server architecture for project implementation was substantiated and the main components - client and group of server elements were identified. Based on the structural elements of the client, their main functions are substantiated, their relationships are detailed, and algorithms for the operation of IS software are developed and described: a generalized application algorithm and algorithms for running the services are defined in the project.

During the research, the work on the necessary calculations (GoogleMaps) was performed and the functioning of the client-server architecture was experimentally tested. In addition, according to the defined architecture of the application, the classes View Controller, Coordinator, and ViewModel were developed and the interaction of system components was configured. According to the proposed algorithms classes of services were created, and according to the conceptual and improved models some coherent, system, and software interfaces were implemented that ensure the successful layout of all components and elements of the IS.

The program is implemented in the high-level Swift language and the Xcode software environment. Their use during the creation of the application allowed to minimize the time of software development, and, as a consequence, to reduce the cost (resources) for its implementation. The quality of the developed software product is confirmed by qualified testing.

The tested software for the municipal medical services information system has been put into operation. An analysis of the tools available to perform this task showed that there is only one platform for publishing applications for iOS devices: "AppStore" (<https://www.apple.com/ua/app-store/>). After investigating this platform and getting acquainted with its usage rules, the developed application was published. In general, the created software confirms the correctness of the proposed design solutions and meets the established requirements. The software has a simple and user-friendly interface, and provides

easy access to information, which is its main purpose. Implemented software has the potential to further improvement and usage of the developed software code in creating analog systems.

The obtained results of the research contain the scientific novelty, consisting in the improvement of the model of municipal medical information system by the implementation of the offline mode of system operation, that provides access to IS data during Internet connection, unlike other existing models of similar municipal systems.

The solution of the tasks of the work, in particular the offered software of the mobile iOS-client, provides access to information about the health care institutions' medical services in the city of Kropyvnytskyi and evidence of the achievement of the goal of the work.

Список літератури

1. Громадський бюджет. *Кропивницька міська рада* : веб-сайт. URL: [https:// www.kr-rada.gov.ua/gromadskiy-byudzheth/](https://www.kr-rada.gov.ua/gromadskiy-byudzheth/) (дата звернення: 15.12.2021).
2. Держава у смартфоні. *УкрІнформ* : веб-сайт. URL: <https://www.ukrinform.ua/tag-derzava-u-smartfoni> (дата звернення: 15.12.2021).
3. Зелений Кропивницький. *Texty* : веб-сайт. URL: [https:// texty.org.ua/d/2018/trees/](https://texty.org.ua/d/2018/trees/) (дата звернення: 15.12.2021).
4. Інформаційні системи та їх роль в управлінні економікою. *Ужгородський національний університет* : веб-сайт. URL: <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/6742> (дата звернення: 15.12.2021).
5. Медичні інформаційні системи: огляд можливостей і приклади використання. *Evergreen* : веб-сайт. URL: <https://evergreens.com.ua/articles/medical-information-systems.html> (дата звернення: 15.12.2021).
6. Мови програмування для мобільної розробки. *ENVATO TUTOR+* : веб-сайт. URL: <https://code.tutsplus.com/uk/articles/mobile-development-languages-cms-29138> (дата звернення: 15.12.2021).
7. Дробко О.С. Модель муніципальної інформаційної системи медичних послуг: *Інформаційна безпека та комп'ютерні технології* : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. Кропивницький, 2021. С. 39.
8. Дробко О.С. Структура і методологічні засади реалізації мобільного застосунку муніципальної інформаційної системи медичних послуг: *Комп'ютерна інженерія і кібербезпека: досягнення та інновації*: матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти й молодих учених. Кропивницький. 2020. 23 с.
9. Освітня карта Кропивницького. *Кропивницька міська рада* : веб-сайт. URL: <https://rk.kr.ua/osvitnja-karta-kropivnitskogo> (дата звернення: 15.12.2021).
10. У Кропивницькому конкурс «Громадський бюджет» отримав новий е-сервіс. *CBN* : веб-сайт. URL: <https://cbn.com.ua/2020/03/13/u-kropyvnytskomu-konkurs-gromadskiy-byudzheth-otrymav-povuj-e-servis/> (дата звернення: 15.12.2021).
11. Дробко О.С. Функціональна модель муніципальної інформаційної системи медичних послуг міста Кропивницького. *Наука в ЦНТУ: основні досягнення та перспективи розвитку* : Зб. тез доп. Кропивницький: ЦНТУ, 2021. С. 75–76.
12. Доренський О.П., Дробко О.С. Удосконалена модель цифровізованого інфосервісу медичних послуг закладів охорони здоров'я міста Кропивницького. *Цифрова трансформація суспільства* : I Міжнародна наук.-практ. конф., 21-22 квіт. 2022 року, м. Кропивницький : зб. тез. доп. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С. 20-21. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/11926/1/ODorenskiy-DS2022-p20-21.pdf>

References

1. Public budget. *Kropyvnytskyi City Council* : website. Retrieved from [https:// www.kr-rada.gov.ua/gromadskiy-byudzheth/](https://www.kr-rada.gov.ua/gromadskiy-byudzheth/) [in Ukrainian].
2. State in a smartphone. *UkrInform* : website. Retrieved from <https://www.ukrinform.ua/tag-derzava-u-smartfoni> [in Ukrainian].
3. Green Kropyvnytskyi. *Texty* : website. Retrieved from [https:// texty.org.ua/d/2018/trees/](https://texty.org.ua/d/2018/trees/) [in Ukrainian].
4. Information systems and their role in economic management. *Uzhhorod National University* : website. Retrieved from <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/6742> [in Ukrainian].

5. Medical information systems: an overview of opportunities and examples of use. *Evergreen* : website. Retrieved from <https://evergreens.com.ua/articles/medical-information-systems.html> [in Ukrainian].
6. Programming languages for mobile development. *ENVATO TUTS+* : website. Retrieved from <https://code.tutsplus.com/uk/articles/mobile-development-languages-cms-29138> [in Ukrainian].
7. Drobko, O.S. Model of the municipal medical services information system. *Information Security and Computer Technology* : materials IV International. scientific-practical conf. Kropyvnytskyi. P. 39.
8. Drobko O.S. Structure and methodological bases of realization of mobile application of municipal medical services information system. *Computer Engineering and Cybersecurity: Achievements and Innovations* : materials of the II All-Ukrainian scientific-practical. conf. applicants for higher education and young scientists. Kropyvnytskyi. 2020. 23 p. [in Ukrainian].
9. Educational map of Kropyvnytskyi. *Kropyvnytskyi City Council* : website. Retrieved from <https://rk.kr.ua/osvitnja-karta-kropivnitskogo> [in Ukrainian].
10. In Kropyvnytskyi, the Public Budget competition received a new e-service. *CBN* : website. Retrieved from <https://cbn.com.ua/2020/03/13/u-kropyvnytskomu-konkurs-gromadskij-byudzhety-otrymav-novyj-e-servis/> [in Ukrainian].
11. Drobko, O.S. (2021). Functional Model of the Municipal Medical Services Information System of the City of Kropyvnytskyi. *Science in CUNTU*. Kropyvnytskyi: CNTU. P. 75–76 [in Ukrainian].
12. Dorensky O.P., Drobko O.S. Improved Model of Digitalized Info Service of Medical Services of Health Care Institutions of Kropyvnytskyi City. *Digital transformation of society*: I Intern. scientific-practical. conf., April 21-22, 2022. Kropyvnytskyi: CNTU, 2022. P. 20-21. Retrieved from <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/11926/1/ODorenskyi-DS2022-p20-21.pdf> [in Ukrainian].

О. П. Доренський, канд. техн. наук, **О. С. Дробко**, **О. М. Дресев**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Удосконалена модель та програмне забезпечення цифровізованого інфосервісу муніципальних закладів охорони здоров'я

В Україні активно цифровізуються державні й муніципальні послуги. Зокрема органи управління міста Кропивницького за суспільною потребою на муніципальні сервіси ініціювали створення декількох інформаційних систем (ІС), які необхідні для розвитку різних сфер діяльності. Серед них – ІС медичних послуг, які надаються закладами охорони здоров'я міста. Отже, науково-технічна задача реалізації програмного засобу муніципальної інформаційної системи медичних послуг Кропивницького є актуальною. Тож слід діджиталізувати доступ до інформації про медичні послуги установ сфери охорони здоров'я м. Кропивницького шляхом створення муніципальної інформаційної системи з мобільним клієнтом.

У процесі досягнення мети дослідження розв'язані такі науково-технічні задачі: 1) виконано аналіз існуючих систем - аналогів та технічних рішень муніципальних інформаційних систем – цифровізованих інфосервісів в Україні; 2) розроблено концептуальну модель інформаційної системи медичних послуг; 3) удосконалено модель муніципальної інформаційної системи медичних послуг для забезпечення доступу до даних ІС при відсутності інтернету; 4) програмно реалізовано функціонування клієнта муніципальної інформаційної систем медичних послуг на мобільній платформі; 5) розроблено клієнтське програмне забезпечення ІС медичних послуг для мобільних операційних систем iOS та виконати його кваліфіковане тестування. У роботі застосовані методи теорії інформаційних систем, теорії алгоритмів, методи аналізу й синтезу, метод моделювання процесів і систем, методи проектування інформаційних систем, методи проектування алгоритмів, метод реалізації програмних засобів, метод кваліфікованого тестування програмного забезпечення.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в удосконаленні моделі муніципальної інформаційної систем медичних послуг за рахунок реалізації процесу офлайнного режиму функціонування системи, що на відміну від існуючих моделей аналогічних муніципальних систем забезпечує доступ до даних ІС у період відсутності зв'язку з Інтернетом. Практична цінність роботи визначається розробленим програмним забезпеченням функціонування системи, нетворку, роботи з мапою і центру збору аналітичних, а також мобільним iOS-застосунком муніципальної інформаційної системи медичних послуг міста Кропивницького, який опублікований в «App Store».

цифровізація, діджиталізація, інформаційна система, медичний сервіс, програмне забезпечення

Одержано (Received) 12.01.2022

Прорецензовано (Reviewed) 18.01.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

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

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

Проблеми інформаційної гігієни в ІТ-сфері

У статті розглянуті питання інформаційної гігієни праці в ІТ-сфері. Окреслені компетенції інформаційної гігієни як галузі охорони праці. Розглянуто проблеми, які виникають при роботі працівників з інформацією. Досліджені різні типи інформаційних потоків на робочому місці та розроблені методи обчислення часу безперервної роботи з інформаційними потоками цих типів.

інформація, інформаційний потік, інформаційні технології, ІТ-сфера, інформаційна гігієна, умови праці, інформаційне навантаження, час безперервної роботи, охорона праці

Постановка проблеми. В інформаційному суспільстві об'єм інформації, що виробляється, стрімко зростає, що зумовлює також інтенсифікацію інформаційних процесів. Інформація стала предметом виробництва та засобом забезпечення переважної більшості процесів у суспільстві. В суспільному виробництві спостерігається постійне розширення номенклатури професій, пов'язаних з обробкою інформації. Крім виникнення нових професій, комп'ютерна обробка інформації також впроваджується у ряд традиційних професій. Тому запити щодо забезпечення здорових умов праці на таких робочих місцях обумовили виникнення такої галузі безпеки життєдіяльності та охорони праці, як інформаційна гігієна.

Згідно визначенню [1] гігієна праці - галузь гігієни, що вивчає вплив на організм людини трудових процесів і навколишнього виробничого середовища, розробляє гігієнічні нормативи і заходи для забезпечення нормальних умов праці та запобігання професійним хворобам.

Метою гігієни праці є встановлення таких граничних відхилень від природних фізіологічних норм для людини, таких допустимих навантажень на організм людини за окремими чинниками виробничого середовища, а також таких допустимих навантажень на організм людини при комплексній дії цих чинників, які не будуть викликати негативних змін як у функціонуванні організму людини і окремих його систем зараз, так і генетичних у майбутніх поколінь [2].

Галузь інформаційних технологій при всьому вибуховому розвитку є мало вивченою з питань впливу інформаційних процесів на стан здоров'я та самопочуття людини, а також незабезпеченою з точки зору захисту працівників нормами та правилами виробничої інформаційної гігієни. Образно кажучи, побудова фундаменту у цій галузі відстала від темпів зведення самої споруди.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд джерел, в яких розглядаються питання охорони праці на робочих місцях з використанням комп'ютерної техніки, показав, що нормуванню в цій сфері підлягають лише фізичні умови праці [3, 4, 5]. Ці норми не торкаються питань інформаційного та психічного навантаження працівників, не враховують вид інформаційної діяльності, складність завдань з обробки даних та інтенсивність (щільність) інформаційних потоків.

У роботі [6] розглядаються умови праці у галузі комп'ютерингу та фізичні порушення та розлади, які виникають при порушенні правил організації роботи з

комп'ютером. Застосовуються три категорії робіт для користувачів персональних комп'ютерів: А - зчитування інформації з екрану з максимальною кількістю прочитаних знаків: не більше 60000 знаків за зміну; Б - робота з введення інформації за сумарною кількістю знаків, що вводяться: не більше 40000 за робочий день; В - творча робота з комп'ютером в режимі діалогу за сумарною кількістю часу роботи за екраном комп'ютера: не більше 4 годин за робочий день.

Наші дослідження [7, 8] показали істотний вплив власне інформації на самопочуття та стан здоров'я людини.

Деякими дослідниками [9, 10] визначено вплив інформаційного навантаження на психіку та самопочуття людини, зокрема, на увагу, гормональний фон та стан мозку.

У статті [5] даються лише приблизні рекомендації про необхідність перерви при роботі з комп'ютером. Спроби розрахунку інформаційного навантаження на працівника здійснювалися ще в минулому столітті [11].

Статті, в яких піднімаються питання інформаційної гігієни розглядають переважно аспект достовірності та якості інформації, з якою стикаються споживачі переважно у засобах масової інформації, та рекомендації з запобігання маніпулятивним впливам.

В існуючих нормативних документах [12] вказується на вплив напруженості праці на центральну нервову систему, органи чуттів, емоційну сферу працівника. Але в цих документах взаємодія працівника з інформацією розглядається на рівні сприймання сигналів (інформації) та їх оцінки, що є дуже узагальненим підходом до умов праці в ІТ-сфері.

Аналіз існуючих досліджень показав:

- 1) відсутність будь-яких визначених компетенцій інформаційної гігієни як галузі знань;
- 2) відсутність досліджень про вплив інформаційних навантажень на самопочуття та стан здоров'я людини;
- 3) відсутність норм та правил, які запобігають перенавантаженню працівників і ІТ-сфері.

Постановка завдання. Таким чином, актуальною задачею є дослідження норм та правил при роботі з інформацією в галузі інформаційних технологій.

Виклад основного матеріалу. Дамо деякі визначення, щоб уточнити коло вирішуваних проблем.

Інформаційні технології та ІТ-сфера - це сукупність галузей діяльності людини та суспільного виробництва, що мають відношення до процесів створення, зберігання, обробки даних, а також управління ними з використанням комп'ютерів, комп'ютерних систем та мереж.

Серед галузей, що відносяться до ІТ-сфери, значне місце займають навчання та наука, статистика, аналітика, прогнозування та прийняття рішень, управління системами, бізнес-процеси, інтернет-ресурси, облік та аудит, банківська справа тощо.

В ІТ-сфері крім вимог електричної та пожежної безпеки, ергономічного обладнання робочого місця, освітлення, звукоізоляції, кліматичних умов слід враховувати норми навантаження працівника, пов'язаного власне з обробкою інформації.

Інформаційна гігієна – галузь знань, система рекомендацій, норм та правил взаємодії людини (працівника) з інформацією, що запобігають порушенням фізичного, психічного та морального здоров'я.

Компетенціями інформаційної гігієни, зокрема, є

- 1) вивчення процесів взаємодії людини з інформацією (сприйняття, аналіз, інтерпретація, запам'ятовування тощо);
- 2) дослідження впливу інформації на поточний емоційний стан та підсумковий стан здоров'я людини – користувача інформації або працівника з обробки інформації;

- 3) уточнення номенклатури робіт з обробки інформації та вивчення особливостей інформаційного обміну й умов роботи з інформацією у різних галузях;
- 4) розробка безпечних методів взаємодії людини (працівника) з інформацією;
- 5) тестування процесів інформаційного обміну у різних галузях та встановлення пріоритетних кількісних та якісних показників інформаційних процесів / потоків;
- 6) розробка науково обґрунтованих норм та правил в організації та охороні праці в IT-сфері.

До проблем, які виникають при роботі з інформацією можна віднести підвищену інтенсивність інформаційних потоків, одночасне включення декількох інформаційних потоків, неоднорідність завдань, що надходять, або навпаки надмірна монотонність інформаційного потоку, неоднозначна інформація, необізнаність оператора відносно інформації, стислі терміни виконання актуальних завдань. Крім того, на стан користувача інформації суттєво впливає емоційне забарвлення інформації, підвищена щільність деструктивних фактів, заклики до ворожнечі та насильства, негативне прогнозування, приховане маніпулювання тощо.

Психічне навантаження на працівника, який оброблює інформацію та приймає на основі неї рішення, залежить від поширення відповідальності та степені відповідальності, величини можливих втрат при допущенні помилок або прийнятті рішень, особливо якщо це стосується значних фінансових зобов'язань, а тим більше ризику для держави, для здоров'я та життя людей.

Підвищене інформаційне навантаження приводить до таких явищ у роботі працівників, як втрата уваги, помилки в виконанні завдань з обробки інформації, ступор, перевтомлення, нервово перенавантаження, психічна напруга, дратування, стрес, нервовий зрив.

До норм інформаційної гігієни, зокрема, відноситься час безперервної роботи на певному робочому місці.

Розглянемо можливі варіанти інформаційного потоку та відповідні методи розрахунку часу безперервної роботи працівника $t_{бр}$.

Варіант 1: працівник виконує одне велике завдання з обробки інформації (час виконання t_b), під час роботи є необхідність у перервах:

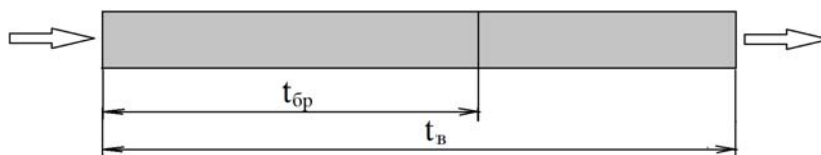


Рисунок 1 – Схема інформаційного потоку за варіантом 1

Джерело: розроблене авторами

Формула розрахунку часу безперервної роботи за варіантом 1

$$t_{бр} = \frac{P \cdot k_{ni}}{I \cdot k_{кв}} \cdot 100 \quad (1)$$

де P – норма безперервного навантаження працівника, символів (Мб),

k_{ni} – коефіцієнт навантаження за i -видом завдання (таблиця 1),

I – інтенсивність інформаційного потоку, символів/год (Мб/год),

$k_{кв}$ – коефіцієнт кваліфікації працівника, $k_{кв} = 0.5 \dots 1.5$.

Варіант 2: працівник виконує однотипні невеликі завдання, під час роботи є необхідність у перерві після виконання декількох завдань. Слід зауважити, що при переході від виконання одного завдання до наступного є певний проміжок часу t_n , що витрачається на ініціалізацію виконання, фіналізацію та переключення уваги.

Таблиця 1 – Види робіт в інформаційних технологіях за категоріями складності та напруженості

Категорія	Зміст роботи	Коефіцієнт навантаження, k_{ni}
1	Читання тексту	0.1
2	Набір звичайного тексту	0.2
3	Внесення даних до баз даних	0.3
4	Набір наукового тексту із створенням об'єктів	0.4
5	Сортування та упорядкування документів	0.5
6	Створення простих графічних об'єктів	0.6
7	Комп'ютерне керування штатним виробничими процесами	0.7
8	Захист інформації в комп'ютерних мережах та системах	0.8
9	Створення складної графіки	0.9
10	Навчання з використанням інформаційних технологій	1.0
11	Вивчення інформаційних технологій, оволодіння ІТ-професією	1.0
12	Створення інформаційних ресурсів	1.1
13	Обробка та аналіз статистичних даних	1.2
14	Комп'ютеризований облік та аудит	1.3
15	Логістика	1.4
16	Створення програмного коду	1.5
17	Створення складних комп'ютерних програм	1.6
18	Менеджмент ІТ-проектів	1.7
19	Бізнес-аналітика, прогнозування та прийняття рішень	1.8
20	Диспетчеризація повітряного руху	1.9
21	Керування складними проектами з постійним інформаційним потоком.	2.0

Джерело: розроблене авторами

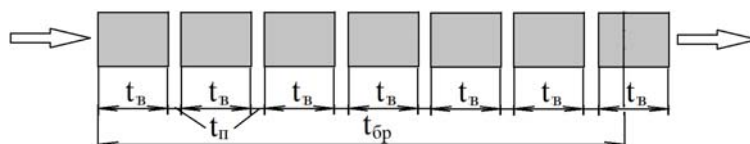


Рисунок 2 – Схема інформаційного потоку за варіантом 2

Джерело: розроблене авторами

Формула розрахунку часу безперервної роботи за варіантом 2

$$t_{\text{ф}} = \frac{P}{t \cdot k_{\text{ср}}} \cdot \left(k_{\text{н}} + \frac{t_{\text{п}}}{t_{\text{в}}} \right) \cdot \text{год} \quad (2)$$

де $t_{\text{в}}$ – час виконання одного типового завдання на робочому місці, год.

Варіант 3: працівник виконує різнотипні невеликі завдання з різною ступеню інформаційного навантаження та різним часом виконання, під час роботи є необхідність у перерві після виконання декількох завдань.

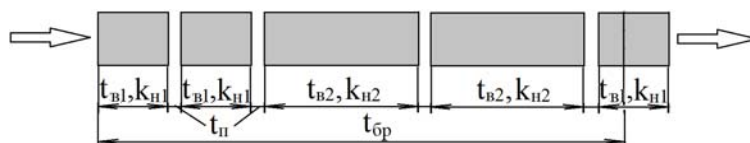


Рисунок 3 – Схема інформаційного потоку за варіантом 3

Джерело: розроблене авторами

Формула розрахунку часу безперервної роботи за варіантом 3

$$t_{\text{бп}} = \frac{P}{k_{\text{ке}} \cdot \sum_{i=1}^n I_i} \cdot \sum_{i=1}^n \left(k_{\text{ні}} + \frac{t_n}{t_{\text{еі}}} \right), \text{ год} \quad (3)$$

де I_i – інтенсивність інформаційного потоку, що відповідає завданню і-типу, символів/год (Мб/год),

$t_{\text{еі}}$ – час виконання одного завдання і-типу на робочому місці, год;

n – кількість видів завдань.

Висновки.

1. У зв'язку з розширенням номенклатури професій, пов'язаних із взаємодією працівників з потоками інформації, впровадження інформаційної гігієни як підрозділу охорони праці є актуальною задачею.

2. У зв'язку із специфікою роботи з інформацією як із засобом та продуктом праці необхідне вивчення умов праці робітників на типових робочих місцях в ІТ-сфері та впливу інформаційних потоків на самопочуття та стан здоров'я людей при виконанні різних типів робіт.

3. Необхідна розробка сукупності правил та рекомендацій інформаційної гігієни при взаємодії працівників з інформацією.

4. Важливою задачею є визначення видів робіт, пов'язаних з інтенсивними інформаційними потоками та проведення експериментальних досліджень з метою визначення гранично допустимих навантажень працівників при виконанні цих робіт.

Список літератури

1. Гігієна праці. Матеріали Вікіпедії. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Гігієна_праці. (дата звернення: 15.04.2022).
2. Основні поняття гігієни праці. URL: <https://studopedia.org/7-155903.html>. (дата звернення: 17.04.2022).
3. Зигмунт Л.С. Умови праці працівників, які використовують у роботі персональні комп'ютери. URL: <https://zolochiv.net/umovy-pratsi-pratsivnykiv-iaki-vykorystovuiut-u-roboti-personal-ni-komp-iutery/> (дата звернення: 14.04.2022).
4. Кравченко О. Охорона праці в офісі. Вимоги до робочого місця офісного працівника. URL: <https://gc.ua/uk/oxorona-praci-v-ofisi-vimogi-do-robochogo-miscya-ofisnogo-pracivnika/> (дата звернення: 14.04.2022).
5. Лілньов А.О. Охорона праці при роботі з комп'ютером. URL: <https://www.sop.com.ua/article/183-ohoron-prats-pri-robot-z-kompyuterom> (дата звернення: 14.04.2022).
6. Катренко Л.А., Катренко А.В. Охорона праці в галузі комп'ютерингу: Підручник. За науковою редакцією В.В. Пасічника. Львів: «Магнолія 2006», 2012. 544 с.
7. Марченко К.Н., Пестунов В.М., Свяцкая Л.П., Марченко Т.К. Влияние информации на состояние здоровья человека. Наукові записки, вип. 10, ч. 2, Кіровоград: КНТУ, 2010. С. 224-229.
8. Марченко К.М., Шматько С.І. Вплив інформаційного потоку на стан людини. Наукові записки, вип. 13, Кіровоград: КНТУ, 2013. С. 18-20
9. Медведев Н. Информационная нагрузка. Почему темп вреден для мозга? URL: <https://www.b17.ru/blog/29517/> (дата звернення: 14.04.2022).
10. Информационная нагрузка. URL: <https://www.ngpedia.ru/id169587p1.html> (дата звернення: 14.04.2022).
11. Смирницкий Е.К. Экономические показатели промышленности: справоч. Изд. 3, перераб. и доп., 1989. 336 с.
12. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» від 08.04.2014 р. № 248.

References

1. Hihiiena pratsi. Materialy Vikipedii. Retrieved from https://uk.wikipedia.org/wiki/Hihiiena_pratsi. [in Ukrainian]
2. Osnovni poniattia hihiieny pratsi. Retrieved from <https://studopedia.org/7-155903.html>. (data zvernennia: 17.04.2022).
3. Zhyhmynt L.S. Umovy pratsi pratsivnykiv, iaki vykorystovuiut' u roboti personal'ni komp'iutery. Retrieved from <https://zolochiv.net/umovy-pratsi-pratsivnykiv-iaki-vykorystovuiut-u-roboti-personal-ni-komp-iutery/> (data zvernennia: 14.04.2022).
4. Kravchenko O. Okhorona pratsi v ofisi. Vymohy do robochoho mistsia ofisnoho pratsivnyka. Retrieved from <https://gc.ua/uk/oxorona-praci-v-ofisi-vimogi-do-robochoho-miscya-ofisnogo-pracivnika/>
5. Liln'ov A.O. Okhorona pratsi pry roboti z komp'iuterom. Retrieved from <https://www.sop.com.ua/article/183-ohoron-prats-pri-robot-z-kompyuterom> (data zvernennia: 14.04.2022).
6. Katrenko J.I.A., Katrenko A.V. Okhorona pratsi v haluzi komp'iutynhu: Pidruchnyk. Za naukovoju redaktsiieiu V.V. Pasichnyka. L'viv: «Mahnoliia 2006», 2012. 544 s.
7. Marchenko K.N., Pestunov V.M., Svjackaja L.P., Marchenko T.K. Vlihanie informacii na sostojanie zdorov'ja cheloveka. Naukovi zapiski, vip.10, ch. 2, Kirovograd: KNTU, 2010. S. 224-229.
8. Marchenko K.M., Shmat'ko S.I. Vplyv informatsijnogo potoku na stan liudyny. Naukovi zapysky, vyp. 13, Kirovograd: KNTU, 2013. S. 18-20 [in Russian]
9. Medvedev N. Informacionnaja nagruzka. Pochemu temp vreden dlja mozga? Retrieved from <https://www.b17.ru/blog/29517/> [in Russian]
10. Informacionnaja nagruzka. Retrieved from <https://www.ngpedia.ru/id169587p1>. [in Russian].
11. Smirnickij, E.K. (1989). Jekonomicheskie pokazateli promyshlennosti [Economic indicators of the industry]. (3d ed.) [in Russian].
12. Derzhavni sanitarni normy ta pravyla «Hihiienichna klasyfikatsiia pratsi za pokaznykamy shkidlyvosti ta nebezpechnosti faktoriv vyrobnychoho seredovyscha, vazhkosti ta napruzhenosti trudovoho protsesu» vid 08.04.2014 r. № 248.

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

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Problems of Information Hygiene in the IT Sphere

In social production there is a constant expansion of the range of professions related to information processing. In addition to the emergence of new professions, computer information processing is also being introduced into a number of traditional professions. Therefore, requests to ensure healthy working conditions in such workplaces have led to the emergence of such an area of life safety and health and safety as information hygiene. An urgent task is to study the rules and regulations when working with information in the field of information technology.

Problems that arise when working with information include increased intensity of information flows, simultaneous inclusion of multiple information flows, heterogeneity of incoming tasks, or excessive monotony of information flow, ambiguous information, ignorance of the operator regarding information, short deadlines. In addition, the state of the user of information is significantly affected by the emotional color of information, increased density of destructive facts, calls for hostility and violence, negative predictions, covert manipulation and more. The mental burden on the employee who processes information and makes decisions based on it depends on the spread of responsibility and the degree of responsibility, the magnitude of possible losses in making mistakes or making decisions, especially when it comes to significant financial obligations, and even more risk to the state, for human health and life.

Due to the expansion of the range of professions related to the interaction of workers with information flows, the introduction of information hygiene as a unit of labor protection is an urgent task. Due to the specifics of working with information as a means and product of labor, it is necessary to study the working conditions of workers in typical IT jobs and the impact of information flows on the well-being and health of people performing different types of work. It is necessary to develop a set of rules and recommendations of information hygiene in the interaction of employees with information. An important task is to determine the types of work associated with intensive information flows and to conduct experimental research to determine the maximum allowable workload of workers in the performance of these works.

information, information flow, information technologies, IT sphere, information hygiene, working conditions, information load, time of continuous work, labor protection

Одержано (Received) 22.04.2022

Прорецензовано (Reviewed) 29.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

К.В. Крячко, доц., канд. техн. наук, **В.В. Кулешов**, доц., канд. техн. наук, **А.М. Шрамко**
Український державний університет залізничного транспорту м. Харків, Україна
e-mail: krackokaterina@gmail.com

Раціоналізація роботи перевантажувальних кранів на контейнерних терміналах вантажних станцій

В статті розглядається питання ефективності використання технічного оснащення контейнерних терміналів та раціоналізації роботи перевантажувальних засобів та економічного обґрунтування необхідної їх кількості на розрахунковий термін експлуатації з урахуванням виділення капіталовкладень в умовах обмежених ресурсів.

У випадку коли контейнерну площадку обслуговує декілька перевантажувальних засобів, то простій однієї групи вагонів залежить від простою інших перевантажувальних засобів.

Таким чином впровадження раціональної технології управління навантажо-розвантажувальними засобами повинне відповідати такій конструкції вантажної станції та контейнерного терміналу, що дала б можливість у повній мірі реалізувати усі розрахункові параметри з найменшими експлуатаційними витратами.

контейнерний термінал, перевантажувальні засоби, вантажні станції, капітальний ремонт, коефіцієнт надійності

Постановка проблеми. Згідно з Національною транспортною стратегією України [1] основна частина вантажів, крім масових, заплановано до перевезення в контейнерах, тому із загальної кількості вантажних станцій загального користування більше половини виконують роботу з навантаження-вивантаження контейнерів козовими кранами на контейнерних терміналах і лише 30% невеликих станцій [2] мають контейнерні площадки з роботою автокранів.

Серед різних видів кранів 10% вимагають капітального ремонту і 10% - підлягає списанню. На третині контейнерних терміналів відсутні автостропи, що збільшує експлуатаційні витрати на утримання додаткового штату і значно скорочує ефективність використання перевантажувальних засобів, простої яких щорічно складають біля 100 тис. год. [3] з яких приходить на простої при виконанні ручних операцій, 70% через відсутність роботи та 20% через несправність відповідних механізмів.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Половина вантажних станцій загального користування та 20% механізованих дистанцій на даний час не мають відповідної бази та обладнання для ремонту кранів, автостропів, електрообладнання та ін [4].

Постановка завдання. Після вирішення задач по приведенню технічного оснащення контейнерних терміналів до належного рівня [5] виникає необхідність раціоналізації роботи кранів та економічного обґрунтування необхідної їх кількості на розрахунковий термін експлуатації з урахуванням виділення капіталовкладень в умовах обмежених ресурсів, що викликає поетапне технічне переоснащення після виконання капітальних ремонтів зі зменшенням рівня надійності роботи механізмів.

Виклад основного матеріалу. Результати досліджень показали, що коефіцієнт надійності на Т-му році, в залежності від розрахункового строку експлуатації (Тр) можна визначити

$$\gamma_t = 0,9^{n_{kp}} \exp(-t_i / T_p), \quad (1)$$

де n_{kp} – число капітальних ремонтів для даного НРМ,

t_i – поточний рік роботи НРМ

Оптимальне число НРМ пропонується визначати за допомогою функціонала Беллмана

$$R_{t, \dots, n-1}^* = \min_{\Delta K_t}^{1,08^{-t}} \{g_t(K_{t-1}, \Delta K_t) + R_{t+1, \dots, n-1}^*[f(K_{t-1}, \Delta K_t)]\}$$

при обмеженнях $0 \leq \Delta K_t \leq \Delta K_t^{\max}; K_{t-1}^{\min} \leq K_{t-1} \leq K_{t-1}^{\max}$ (2)

де $1,08^{-t}$ – коефіцієнт віддалення капіталовкладень з нормативом приведення різнорічних витрат 0,08.

При цьому $K_t^{\min} = z_t^{\min} K_z;$ $Z_t^{\min} = N_{k_0} / T_z \Pi_0 \gamma_t X_n,$ (3)

де Z – число НРМ на t -му році експлуатації;

K_z – вартість одного НРМ;

ΔK_t – додаткові капіталовкладення при зміні числа контейнеро-операцій (N_{k_0}) на t -му році;

T_z – тривалість роботи НРМ на протязі доби на t -му році;

Π_0 – номінальна продуктивність НРМ;

X_n – число подач вагонів на протязі T_z .

Функція $g_t(K_{t-1}, \Delta K_t)$ – це сумарні приведені витрати на t -му році на технічне оснащення термінала з урахуванням експлуатаційних витрат на маневрову роботу та простої рухомого складу.

Функціонал $R_{t+1, \dots, n-1}^*[f(K_{t-1}, \Delta K_t)]$ – це сумарні витрати за період одного або декількох етапів (від $t+1$ до $n-1$), які передують t -му етапу. Стан системи у $t-1$ році будуть визначати кошти, що виділяються на цей рік, а додаткові кошти на переоснащення у t -му році (ΔK_t) – управління, яке впливає на стан системи, при цьому обмеженням буде

$$K_t^{\min} - K_{t-1} \leq \Delta K_t \leq K_t^{\max} - K_{t-1}. \quad (4)$$

Аналіз результатів моделювання показав, що на оптимальне значення НРМ в першу чергу впливає їх продуктивність та обсяг контейнеро-операцій, крім того суттєвий вплив чинить технологія обробки вагонів [6], підготовка подач та їх тривалість, яка залежить від схеми станції та колійного розвитку вантажних фронтів.

Однією з основних проблем оптимального управління перевантажувальними процесами [7] є вибір раціональної стратегії управління НРМ в межах виконання робочого циклу, коли дальність їх переміщення при розрахункових швидкостях і прискореннях руху є визначальною з урахуванням обмежень, що накладаються на параметри управління, які визначаються конструктивними та експлуатаційними умовами (допустимими швидкостями та прискореннями для конкретного вантажного

фронту [8], максимальними тяговими зусиллями, експлуатаційною продуктивністю, ємністю площадки і ін.). Критеріями оптимізації можуть бути вартісні параметри на виконання основних операцій робочого циклу з урахуванням енергетичних витрат у залежності від дальності переміщення НРМ. Ці витрати визначаються окремо на протязі початково-кінцевих відрізків шляху [9] та під час стабільного руху за допомогою цільової функції E

$$F(E) = E_{en} + E_{cm} + E_{ek} \quad (5)$$

при системі обмежень: $P_{\min} \leq P_T \leq P_{\max}; P_{\max} \leq P_{кр}$

$$P_T \geq P_w + P_{cv}; l_n + l_k \leq l_{вф}; l_n \leq V_{ном} t_n; \quad (6)$$

де E_{en}, E_{ek} – експлуатаційні витрати при виконанні, відповідно, початкових та кінцевих операцій;

E_{cm} – експлуатаційні витрати при стабільній швидкості руху;

P_T – тягові зусилля;

P_w, P_{cv} – сила опору руху та середовища і вітру;

l_n, l_k – довжина переміщення при виконанні, відповідно, початкових та кінцевих операцій;

$l_{вф}$ – довжина вантажного фронту;

t_n – тривалість виконання початкових операцій.

Висновки:

1. Аналіз результатів моделювання роботи контейнерних терміналів показав, що для конкретних вихідних даних оптимальна довжина l_n складає від 2,4м до 5,3м, l_{cm} – від 26 до 43м і l_k від 1,7м до 3,9м, а тому довжина вантажного фронту для організації оптимального процесу управління НРМ повинна знаходитися у межах від 30 до 50м, тобто на довжину трьох-чотирьох вагонів.

2. На існуючих вантажних станціях довжина площадок для розміщення контейнерів складає від 100 до 300м і більше. Інтенсивність використання довжини вантажного фронту дуже незначна, що викликає великий обсяг маневрової роботи, міжопераційні простої НРМ і рухомого складу.

3. Якщо дану площадку обслуговує декілька кранів, то простій однієї групи вагонів залежить від простою інших кранів. Отже впровадження оптимальної технології управління НРМ повинне відповідати такій конструкції станції та контейнерного терміналу, яка б дала можливість у повній змозі реалізувати розрахункові параметри з мінімальними експлуатаційними витратами [10].

Список літератури

1. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р., № 430-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> (дата звернення: 27.10.2021)
2. Зелена книга. Залізничні вантажні перевезення / Мельник З.І. та ін.; за ред. Дороганя О.В. та ін. Київ, 2021. 134 с.
3. Звіт про технічний стан залізниць України. Міністерство інфраструктури України, 2021. URL: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-pro-ukrainski-zalznici.html> (дата звернення: 29.10.2021).

4. Ломотко Д. В., Головань К. Р. Аналіз сучасного стану ринку контейнерних перевезень та напрямки його розвитку на маршруті Китай-Україна-ЄС. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2021. Вип. 195. С. 70-78.
5. Костенніков О. М. Перспективи розвитку контейнерних поїздів у напрямку міжнародних транспортних коридорів та територією УКРАЇНИ. URL: <http://csw.kart.edu.ua/article/view/93051> (дата звернення 07.11.2020).
6. Lomotko D. V., Prymachenko H. O., Hryhorova Y. I. The Role of Ukrainian Railway Transport in Modern Logistic Processes. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. Science and Transport Progress*. 2019. № 5 (83). P. 43–51. URL: <http://stp.diit.edu.ua/article/download/184487/188350> (last accessed 20.11.2020).
7. Стройко Т. В. Сучасний стан залізничної галузі як важливого елементу національної інфраструктури. *Журнал «Економіст»*. 2016. №10. С.14-18.
8. Лаврухін А. В. Вантажні перевезення на залізничному транспорті. Харків: УкрДУЗТ, 2015.
9. Тарифне керівництво №4. Київ: Нормативно-правова база Укрзалізниці, 2015.
10. О कोरोков А. М. Аналіз перспектив розвитку ринку контейнерних перевезень в Україні. *Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2015. № 10. С. 98–104.

References

1. Pro skhvalennia Natsional'noi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku: rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30 travnia 2018 r., № 430-r. [On approval of the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030: order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of May 30, 2018, № 430-r.]. *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>. [in Ukrainian].
2. Melnyk, Z.I et al. (2021). Zelena knyha. Zaliznychni vantazhni perevezennia [Green Paper. Railway freight transportation]. O.V.Doroganya (Ed.). Kyiv [in Ukrainian].
3. Zvit pro tekhnichnyj stan zaliznyts' Ukrainy. Ministerstvo infrastruktury Ukrainy [Report on the technical condition of the railways of Ukraine. Ministry of Infrastructure of Ukraine]. (2021). *mtu.gov.ua*. Retrieved from <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-pro-ukrainski-zalznici.html> [in Ukrainian].
4. Lomotko, D.V. & Golovan, K.R. (2021). Analiz suchasnoho stanu rynku kontejnernih perevezen' ta napriamky joho rozvytku na marshruti Kytaj-Ukraina-ES [Analysis of the current state of the container market and directions of its development on the route China-Ukraine-EU]. *Collection of scientific works of UkrDURT, issue. 195, 70-78* [in Ukrainian].
5. Kostennikov, OM (2013). Perspektyvy rozvytku kontejnernih poizdiv u napriamku mizhnarodnykh transportnykh korydoriv ta terytoriiu UKRAYNY [Prospects for the development of container trains in the direction of international transport corridors and the territory of UKRAINE]. Retrieved from <http://csw.kart.edu.ua/article/view/> [in Ukrainian].
6. Lomotko, D.V., Prymachenko, H.O. & Hryhorova, Y.I. (2019). The Role of Ukrainian Railway Transport in Modern Logistic Processes. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. Science and Transport Progress*. № 5 (83). P. 43–51. Retrieved from <http://stp.diit.edu.ua/article/download/184487/188350> [in English].
7. Stroyko, T.V. (2016). Suchasnyj stan zaliznychnoi haluzi iak vazhlyvoho elementu natsional'noi infrastruktury [The current state of the railway industry as an important element of national infrastructure]. *Zhurnal «Ekonmist» – Journal "Economist"*, 10,14-18 [in Ukrainian].
8. Lavrukhin, A.V. (2015). Vantazhni perevezennia na zaliznychnomu transporti [Freight transportation by rail]. Kharkiv: UkrDUZT [in Ukrainian].
9. Taryfne kerivnytstvo №4 [Tariff guide №4]. (2015). Kyiv: Regulatory framework of Ukrzaliznytsia, [in Ukrainian].
11. Okorokov, A.M. (2015). Analiz perspektyv rozvytku rynku kontejnernih perevezen' v Ukraini [Analysis of prospects for the development of the container traffic market in Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats' Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana – Collection of scientific works of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 10, 98–104 [in Ukrainian].

Kateryna Kryachko, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Ukrainian State University of Railway Transport (UkrDURT), Kharkiv, Ukraine

Valerii Kuleshov, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Ukrainian State University of Railway Transport (UkrDURT), Kharkiv, Ukraine

A. Shramko, student

Ukrainian State University of Railway Transport (UkrDURT), Kharkiv, Ukraine

Rationalization of Reloading Cranes at Container Terminals of Freight Stations

The article considers the issue of efficiency of technical equipment of container terminals and rationalization of handling facilities and economic justification of their required number for the estimated service life, taking into account the allocation of investments in conditions of limited resources.

One of the main problems of optimal control of reloading processes is the choice of a rational strategy for controlling loading and unloading machines within the work cycle, when the range of their movement at design speeds and accelerations is crucial given the constraints imposed on control parameters determined by design and operational conditions (permissible speeds and accelerations for a particular cargo front, maximum traction, operational productivity, site capacity, etc.). The optimization criteria can be the cost parameters for performing the basic operations of the operating cycle, taking into account energy costs depending on the range of loading and unloading machines.

In the case where the container site is serviced by several handling equipment, the downtime of one group of cars depends on the downtime of other handling facilities.

At existing freight stations, the length of container sites ranges from 100 to 300 m and more. The intensity of use of the length of the cargo front is very small, which causes a large amount of shunting work, interoperable downtime of loading and unloading machines and rolling stock.

Thus, the introduction of rational control technology for loading and unloading facilities should be consistent with the design of the cargo station and container terminal, which would allow to fully implement all the design parameters with the lowest operating costs.

container terminal, transshipment facilities, freight stations, overhaul, reliability factor

Одержано (Received) 12.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 20.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

УДК 62-231:621.9.04

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.22-30](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.22-30)

О.О. Кропивний, асп., А.І. Гречка, доц., канд. техн. наук, А.М. Кириченко, проф., д-р техн. наук, К.К. Щербина, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: angre17@gmail.com

Кінематичні залежності двокоординатного механізму паралельної структури з поворотним кріпленням шарнірів штанг змінної довжини

Запропоновано новий оригінальний механізм паралельної структури з розширеними межами руху шпindelного вузла по двом координатам. Розв'язано пряму і зворотню кінематичні задачі для нового механізму паралельної структури. Виокремлено межі розв'язку знайдених аналітичних залежностей. Розраховано основні вихідні кінематичні параметри механізму.

механізм паралельної структури, двокоординатний механізм, поворотний шарнірний паралелограм, кінематика

Постановка проблеми. Бурхливий розвиток механізмів паралельної структури призвів до їх великого різномаяття [1, 2]. Проте всі вони володіють одним недоліком – малим коефіцієнтом використання робочого простору [3]. Одним з шляхів вирішення даного недоліку є використання механізмів з комбінованими кінематичними структурами, в яких один з рухів здійснюється окремим приводом подачі. Для випадку трикоординатної обробки з лінійним переміщенням інструмента використання такого підходу ставить проблему пошуку ефективних двокоординатних механізмів паралельної структури. Особливий інтерес становлять механізми на основі поворотного шарнірного паралелограма.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Шарнірно пов'язані ланки, що утворюють паралелограм, часто використовуються в механізмах паралельної структури для позбавлення певних рухомостей вихідного органу [4, 5]. Одним з прикладів такого застосування є верстат за авторством Заїки С.М., Лебедева Ю.В., Ленченко Л.В., Кириченка А.М. [6], в якому шпindelний вузол є однією з ланок шарнірного паралелограма, чим забезпечується паралельність осі шпинделя до осі поворотної стійки, а відтак і її перпендикулярність площині робочого столу. Використання в якості шарнірів паралелограму петель з однією степінню свободи забезпечує необхідну його жорсткість на скручування. Поворот паралелограму та переміщення шпindelного вузла паралельно поворотній стійці забезпечується приводом подачі на основі двох штанг змінної довжини. Третій необхідний рух для просторового взаємного переміщення інструменту і деталі, що обробляється, надається останнім переміщенням робочого столу. На основі даного верстата було запропоновано ряд інших конструкцій [7-9], що відрізняються розміщенням штанг змінної довжини або застосуванням приводів подачі на основі рухомих повзунів і штанг постійної довжини.

Повернемося до верстату, описаному в джерелі [6]. Особливістю його кінематики є те, що за умови повної технологічної рухомості розмір робочого простору

в напрямку, перпендикулярному до вектора подачі робочого столу та вертикального переміщення шпindelного вузла, визначається максимальним сектором повороту шарнірного паралелограму у найближчому з прийнятих положень шпindelного вузла до робочого столу. Для розміру цього сектора є обмеження, пов'язані з тим, що штанга змінної довжини не може перетинати площину, що проходить перпендикулярно площині робочого столу та шарніри кріплення даних штанг на нерухомій основі верстата. Нам не вдалося знайти інформацію відносно даних досліджень щодо визначення величини кута згаданого сектора. З наших міркувань після ознайомлення з особливостями кінематики такого механізму, раціональні значення кута сектору коливання шарнірного паралелограму з шпindelним вузлом навколо осі поворотної стійки становлять близько 90 градусів. У порівнянні з максимально можливим значенням даного кута в 180 градусів (для представленого в роботі [6] механізму воно недосяжне) зменшення величини робочого простору в даному напрямку складає 29 відсотків. При досягненні значень кута даного сектору коливання в 120 градусів зменшення величини робочого простору у порівнянні з максимально можливим розміром коливання шарнірного паралелограму становитиме 14 відсотків. Проте досягнення останнього випадку у даній конструкції верстату може становити складну задачу.

Постановка завдання. Зважаючи на даний недолік конструкції, Кропивним О.О. та Гречкою А.І. було запропоновано від'єднати шарніри штанг змінної довжини від нерухомої основи верстата та зробити їх переміщуваними в узгодженні з поворотом шарнірного паралелограма. Представлена конструкція описана у роботі [10] та показана на рисунку 1. На відміну від аналога, у даному механізмі шарніри штанг змінної довжини розташовані на поворотних важелях, поворот яких узгоджується з поворотом шарнірного паралелограма, складовою якого є шпindelний вузол. Такий механізм дозволяє досягати максимально можливого кута повороту даного шарнірного паралелограма у 180 градусів. Постає питання розв'язку прямої та зворотної кінематичних задач для даного механізму та з'ясування питань наявності особливих положень, подібних до розглянутих у роботі [11].

Виклад основного матеріалу. Основними складовими елементами представленого на рис. 1 механізму, що забезпечують його кінематичну функцію, являється стіл прямолінійного руху 1 та шпindelний вузол 2, який за допомогою двох плечей 3, що утворюють шарнірний паралелограм, приєднується до поворотної стійки 4. Поворот даної стійки та вертикальне переміщення шпindelного вузла забезпечується приводом подач, що складається з двох штанг змінної довжини 5, один з шарнірів якої приєднано до шпindelного вузла, а другий – до поворотних плечей 6, кут повороту яких узгоджений з кутом повороту шарнірного паралелограма.

Для цього зобразимо схему механізму на рисунку 2 у двох проекціях. Вісь X сумістимо з вектором подачі робочого столу, на якому розміщена деталь, що обробляється. За додатній напрямок оберемо такий, при якому робочий стіл буде рухатися від поворотного шарнірного паралелограму. Вісь Z спрямуємо вздовж осі шпинделя. Додатній напрямок осі Z – від площини робочого столу. Вісь Y спрямуємо перпендикулярно до осей X і Z . Додатній напрямок осі Y визначаємо за правилом правої декартової системи координат. Початок системи координат розмістимо у точці перетину осі обертання поворотної стійки, яка є паралельною осі шпинделя у шарнірному паралелограмі, з площиною, що співпадає з робочою поверхнею стола. Механізм відносно осі Z приймаємо симетричним. Довжини штанг змінної довжини позначимо L_1 і L_2 . Довжину плеча шарнірного паралелограма, що поєднує поворотну стійку і шпindelний вузол, розбиваємо на дві частини, причому частина F відповідає

складовій плеча, яка залишається рівнобіжною площині робочого стола, а частина R відповідає довжині плеча між двома петлями, яким і забезпечується зміна положення шпиндельного вузла відносно поворотної стійки. Можна записати, що $F = F' + F''$, де F' відповідає частині, що прикріплена до поворотної стійки, F'' – до шпиндельного вузла.

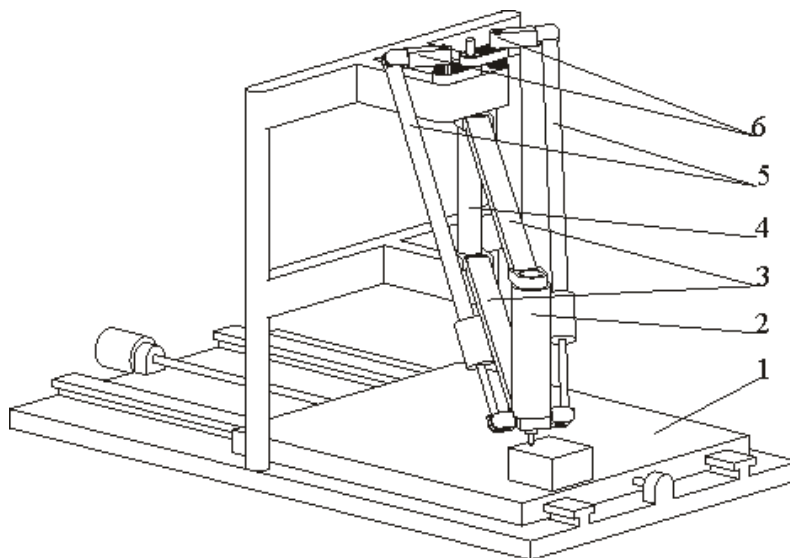


Рисунок 1 – Схема механізму з паралельною кінематикою

Джерело: розроблено авторами

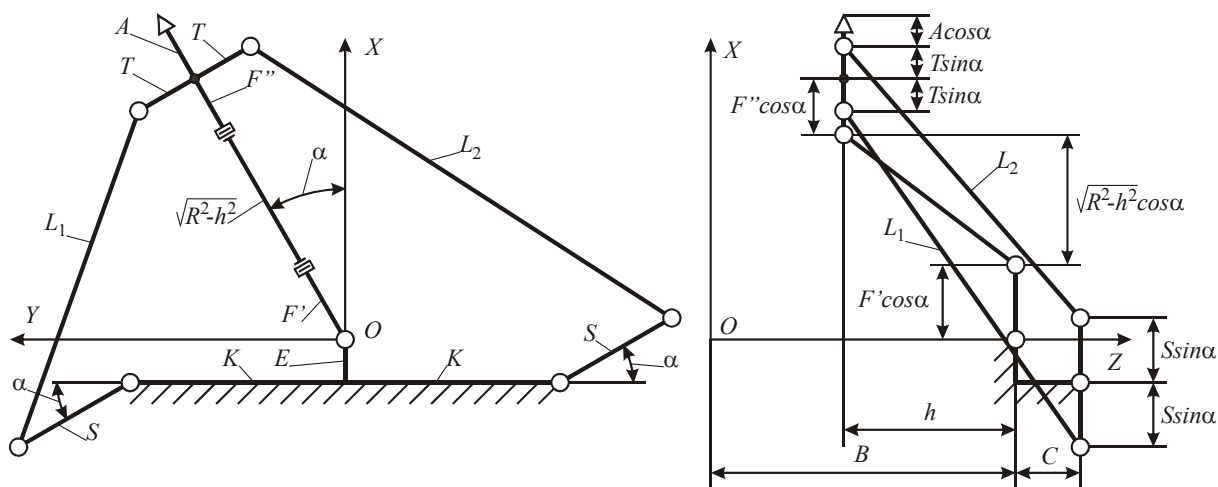


Рисунок 2 – Схема до розв'язку прямої кінематичної задачі

Джерело: розроблено авторами

За довжину T приймаємо віддалення центру шарніру штанги змінної довжини, що кріпиться до шпиндельного вузла, від площини, що проходить через осі поворотної стійки і шпинделя. Кут повороту шарнірного паралелограма відносно осі Z у площині XOY позначимо α . Додатній напрямку кута α співпадає з додатнім напрямком осі Y . Довжина K відповідає віддаленню центра повороту поворотного важеля кріплення шарніру штанги змінної довжини відносно площини XOZ . За радіус обертання центра згаданого шарніру відносно центра повороту поворотного важеля приймаємо величину S . Для спрощення приймаємо, що при куті $\alpha = 0^\circ$ радіуси S є рівнобіжними осі Y . Довжина E відповідає віддаленню осі поворотної стійки відносно площини, що проходить через осі повороту поворотних важелів кріплення шарнірів штанг змінної

довжини, оскільки таке конструктивне виконання може часто виникати. Величиною h позначимо заниження центру шарніру кріплення штанги змінної довжини на шпіндельному вузлі відносно положення, коли складова плеча R буде рівнобіжною площині XOY .

Запишемо рівняння для визначення довжини L_1 :

$$L_1^2 - (h + C)^2 = \left(K + (S - T) \cos \alpha - \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \sin \alpha \right)^2 + \left(\left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \cos \alpha + E + (S - T) \sin \alpha \right)^2. \quad (1)$$

В правій частині рівняння розкриваємо дужки, використовуючи тригонометричну залежність $\sin^2 \alpha = 1 - \cos^2 \alpha$:

$$\begin{aligned} L_1^2 - (h + C)^2 = & K^2 + 2K(S - T) \cos \alpha + (S - T)^2 \cos^2 \alpha - 2K \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \sin \alpha - \\ & - 2(S - T) \cos \alpha \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \sin \alpha + \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right)^2 - \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right)^2 \cos^2 \alpha + \\ & + \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right)^2 \cos^2 \alpha + 2E \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \cos \alpha + 2 \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \cos \alpha (S - T) \sin \alpha + \\ & + E^2 + 2E(S - T) \sin \alpha + (S - T)^2 - (S - T)^2 \cos^2 \alpha. \end{aligned}$$

Скорочуємо отриманий вираз:

$$\begin{aligned} L_1^2 - (h + C)^2 = & K^2 + 2K(S - T) \cos \alpha - 2K \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \sin \alpha + \\ & + \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right)^2 + 2E \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \cos \alpha + E^2 + 2E(S - T) \sin \alpha + (S - T)^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Запишемо рівняння для визначення довжини L_2 :

$$\begin{aligned} L_2^2 - (h + C)^2 = & \left(K + (S - T) \cos \alpha + \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \sin \alpha \right)^2 + \\ & + \left(\left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \cos \alpha + E - (S - T) \sin \alpha \right)^2. \end{aligned} \quad (3)$$

В правій частині рівняння розкриваємо дужки, використовуючи тригонометричну залежність $\sin^2 \alpha = 1 - \cos^2 \alpha$:

$$\begin{aligned} L_2^2 - (h + C)^2 = & K^2 + 2K(S - T) \cos \alpha + (S - T)^2 \cos^2 \alpha + 2K \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \sin \alpha + \\ & + 2(S - T) \cos \alpha \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \sin \alpha + \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right)^2 - \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right)^2 \cos^2 \alpha + \\ & + \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right)^2 \cos^2 \alpha + 2E \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \cos \alpha - 2 \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \cos \alpha (S - T) \sin \alpha + \\ & + E^2 - 2E(S - T) \sin \alpha + (S - T)^2 - (S - T)^2 \cos^2 \alpha. \end{aligned}$$

Скорочуємо отриманий вираз:

$$L_2^2 - (h + C)^2 = K^2 + 2K(S - T) \cos \alpha + 2K \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \sin \alpha +$$

$$+ \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right)^2 + 2E \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \cos \alpha + E^2 - 2E(S - T) \sin \alpha + (S - T)^2. \quad (4)$$

Порівняємо рівняння (2) і (4) та перенесемо в праву частину кожного з них ті члени, які мають однакові величину і знак, а в лівій залишимо відмінні члени. Для рівняння (2) маємо:

$$L_1^2 + 2K \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \sin \alpha - 2E(S - T) \sin \alpha = K^2 + 2K(S - T) \cos \alpha + \\ + \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right)^2 + 2E \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \cos \alpha + E^2 + (S - T)^2 + (h + C)^2. \quad (5)$$

Для рівняння (4) маємо:

$$L_2^2 - 2K \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \sin \alpha + 2E(S - T) \sin \alpha = K^2 + 2K(S - T) \cos \alpha + \\ + \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right)^2 + 2E \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \cos \alpha + E^2 + (S - T)^2 + (h + C)^2. \quad (6)$$

Прирівняємо ліві частини рівнянь (5) і (6), оскільки їх праві частини однакові:

$$L_1^2 + 2K \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \sin \alpha - 2E(S - T) \sin \alpha = \\ = L_2^2 - 2K \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \sin \alpha + 2E(S - T) \sin \alpha.$$

Після перетворення отримуємо залежність між $\sin \alpha$ та величиною h :

$$\sin \alpha = \frac{L_2^2 - L_1^2}{4 \left(K \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) - E(S - T) \right)}. \quad (7)$$

Підставляючи даний вираз до рівняння (1) та враховуючи залежність $\cos^2 \alpha = 1 - \sin^2 \alpha$, отримуємо рівняння для знаходження величини h :

$$L_1^2 - (h + C)^2 = \left(K + (S - T) \sqrt{1 - \left(\frac{L_2^2 - L_1^2}{4 \left(K \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) - E(S - T)} \right)^2} \right)^2 - \right. \\ \left. - \frac{\left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) (L_2^2 - L_1^2)}{4 \left(K \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) - E(S - T) \right)} \right)^2 + \\ + \left(\left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) \sqrt{1 - \left(\frac{L_2^2 - L_1^2}{4 \left(K \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) - E(S - T)} \right)^2} \right)^2 + E + \right. \\ \left. + \frac{(S - T) (L_2^2 - L_1^2)}{4 \left(K \left(\sqrt{R^2 - h^2} + F \right) - E(S - T) \right)} \right)^2. \quad (8)$$

Пошук аналітичного розв'язку даного рівняння відносно h призведе до отримання алгебраїчного рівняння не менше четвертої степені. Тому рекомендуємо користуватися відомими методами числового розв'язку нелінійних рівнянь.

Зазначимо, що вісь шпинделя не обов'язково проходить через точку перетину відрізків T з площиною, яка проходить через згадану вісь та вісь поворотної стійки. Проте це буде конструктивна особливість довільного зразка, яку можна виразити відрізком A на схемі з рис. 2. Визначена величина кута α дозволить легко розрахувати координату вершини інструменту вздовж осі Y на рівні величини заниження h :

$$y = (\sqrt{R^2 - h^2} + F + A) \sin \alpha.$$

Визначення величини h дає можливість розрахувати координату вершини інструменту вздовж осі Z :

$$z = B - h.$$

Переміщення робочого столу повністю відповідає координаті вздовж осі X .

Таким чином можна вважати пряму кінематичну задачу для даного механізму розв'язаною. Розв'язок зворотної кінематичної задачі, коли відомі координати розташування вершини інструмента (x, y, z) , можливий на основі рівнянь (1) і (3) з попереднім розрахунком кута α із залежності $\alpha = \arcsin\left(y / (\sqrt{R^2 - h^2} + F + A)\right)$ та величини $h = B - z$.

При рішенні прямої кінематичної задачі необхідно звертати увагу на межі існування розв'язку рівняння (8). Для прикладу приймемо, що кут α рівний нулю. Згідно формули (7) у даному випадку буде виконуватися умова $L_1 = L_2$. Дослідимо залежність довжини однієї з штанг, наприклад L_1 , від величини h . Побудуємо ряд графіків при різних значеннях конструктивного параметра C . Результат представлено на рисунку 3.

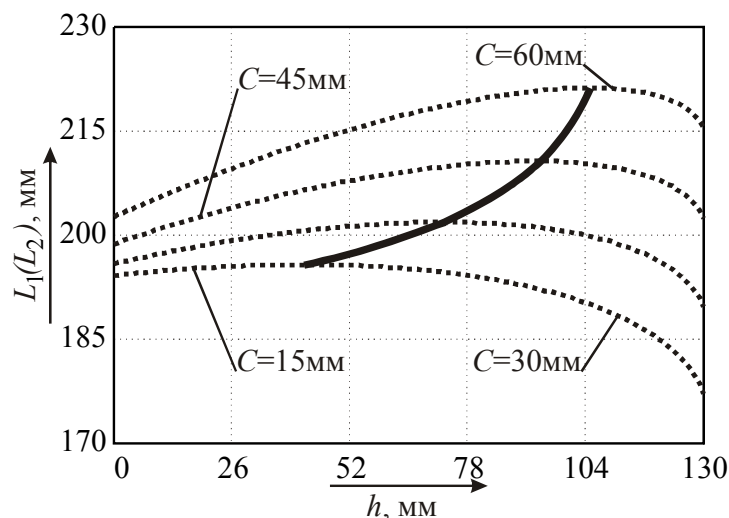


Рисунок 3 – Залежність довжини штанги від величини h при $\alpha = 0^\circ$

Джерело: розроблено авторами

Кожен з графіків залежності довжини штанги, які на рисунку 3 показані пунктирною лінією, має максимум функції. Точки максимумів поєднані суцільною лінією. Це означає, що одній і тій же величині h відповідатимуть два значення довжини штанги L , окрім точки максимуму. Маємо справу з випадком кінематичної паралельної

сингулярності. Таким чином, необхідно задавати тільки один діапазон існування розв'язку задачі. На нашу думку більш ефективним буде той, при якому забезпечується величина $h = 0$. В такому положенні і наближених до нього механізм матиме найбільший діапазон переміщень шпиндельного вузла вздовж осі Y . Як видно з графіка суцільної лінії на рисунку 3, величина такого діапазону сильно залежить від конструктивних параметрів механізму, зокрема параметру C . Таким чином, приймаючи малі значення даного параметру, які б відповідали меншій довжині штанг L , ми значно зменшуємо можливе вертикальне переміщення шпиндельного вузла.

Після встановлення меж розв'язку рівняння (8) покажемо графічні залежності координати y (рисунок 4) горизонтального переміщення шпиндельного вузла та величини h (рисунок 5) вертикального його переміщення при одночасній зміні довжин штанг L .

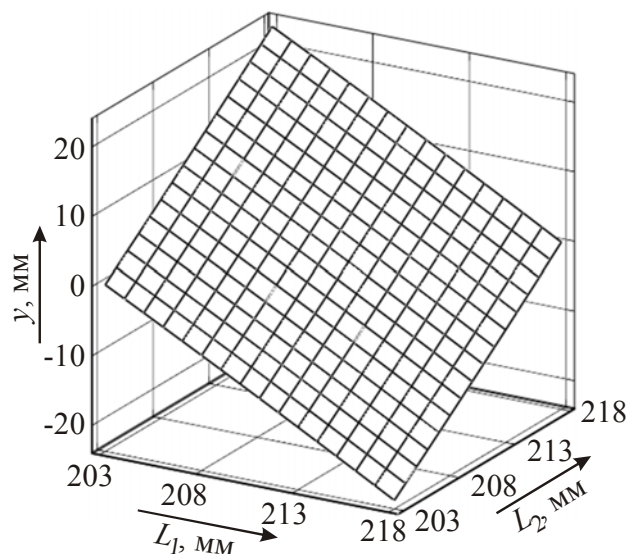


Рисунок 4 – Залежність координати y від зміни довжин штанг L_1 і L_2

Джерело: розроблено авторами

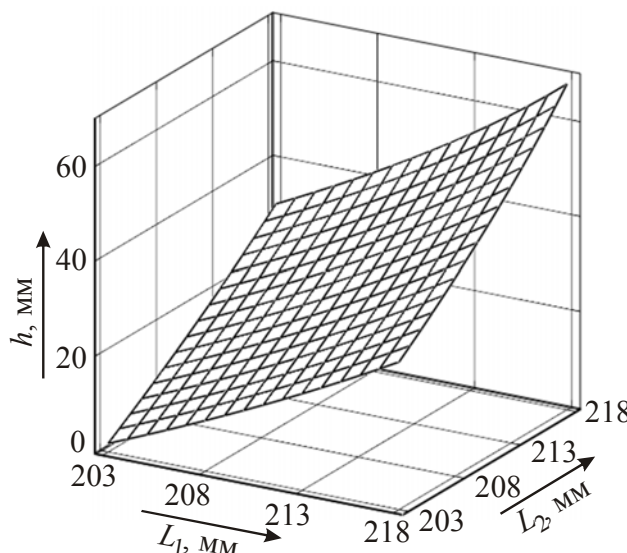


Рисунок 5 – Залежність величини h від зміни довжин штанг L_1 і L_2

Джерело: розроблено авторами

Як видно з графіка на рисунку 4, залежність горизонтального зміщення шпindelного вузла при зміні довжин штанг при прийнятих конструктивних параметрах механізму майже прямолінійна. Зміні довжини однієї штанги на 15 мм відповідає горизонтальне переміщення на 22 мм. Сумарний ефект від зміни довжин обох штанг для координати y становить 44 мм. Графік залежності вертикального зміщення шпindelного вузла при зміні довжин штанг, як видно з рисунку 5, має незначну нелінійність. Зміні довжини однієї штанги на 15 мм відповідає вертикальне зміщення на 32 мм. Сумарний ефект від зміни довжин обох штанг для величини h становить 64 мм. Таким чином, коефіцієнт використання робочого простору зростає, причому може перевищувати значення, властиві для механізмів традиційної кінематичної структури.

Висновки. 1. Отримані залежності дозволяють забезпечити функціонування кінематичних ланцюгів приводу подачі даного механізму та є важливим чинником для проведення подальших дослідження механізму.

2. Для даного виду механізмів існують невизначені положення, які відносяться до кінематичної паралельної сингулярності. Їх вивчення буде предметом окремого розгляду.

3. Розташування шарнірів штанг змінної довжини на поворотних важелях, коливання яких погоджене з поворотом шарнірного паралелограма, призводить до зменшення величини зміни довжини штанги, необхідної для досягнення переміщення шпindelного вузла у порівнянні з стаціонарним кріпленням зазначених шарнірів. За певних комбінацій конструктивних параметрів механізму може спостерігатися мультиплікативний ефект зміни координат вихідного органа при зміні довжин виконавчих органів приводу подачі. Постає питання вивчення впливу динамічних навантажень на ланки механізму, що буде предметом окремого розгляду.

4. Підбором конструктивних параметрів механізму можна досягати близьких до прямолінійних залежностей між зміною довжин штанг та переміщенням шпindelного вузла.

Список літератури

1. Кузнецов Ю.Н., Дмитриев Д.А., Диневич Г.Е. Компонировки станков с механизмами параллельной структуры ; под ред. Ю.Н. Кузнецова. Херсон: ИП Вишемирский В.С., 2010. 471 с.
2. Xin-Jun Liu, Jinsong Wang. Parallel Kinematics: Type, Kinematics, and Optimal Design. Springer Science & Business Media, 2014. 309 p.
3. Ю.В. Кулешков, А.І. Гречка, Л.Ю. Шапошник. Оптимізація приводу поперечних переміщень головки поздовжньо-фрезерного верстата. *Збірник праць молодих науковців КНТУ*, 2015. Вип.5. С. 508-517.
4. Reimund Neugebauer. Parallelkinematische Maschinen: Entwurf, Konstruktion, Anwendung. Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media, 2006. 262 p.
5. І.А. Валявський, В.Ю.Шапошник. Кінематичний аналіз верстата з паралельною кінематикою типу «дельта». *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту*. 2013. Вип. 26. С. 78-81.
6. Верстат : пат. на кор. мод. 35361 Україна : МПК В23В 41/00. № u 2008 05562 ; заявл. 29.04.2008 ; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 17.
7. Верстат : пат. на кор. мод. 35360 Україна : МПК В23D 5/00. № u 2008 05560 ; заявл. 29.04.2008 ; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 17.
8. Верстат : пат. на кор. мод. 44556 Україна : МПК В23В 41/00. № u 2009 03558 ; заявл. 13.04.2009 ; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19.
9. Верстат : пат. на кор. мод. 52723 Україна : МПК В23В 41/00. № u 2010 01443 ; заявл. 12.02.2010 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
10. Верстат з паралельною кінематикою : пат. на кор. мод. 148653 Україна : МПК В23В 41/00. № u 2021 01754 ; заявл. 05.04.2021 ; опубл. 01.09.2021, Бюл. № 35.
11. Кириченко А.М., Заїка С.М., Федотьев А.М. Особливі положення плоских механізмів паралельної структури. *Нові технології в машинобудуванні. Вісник КДУ імені Михайла Остроградського*. Вип. 5/2010 (64). Частина 1. С. 94-99.

References

1. Kuznetsov, Yu.N., Dmytriev, D.A. & Dynevych, H.E. (2010). *Komponovky stankov s mekhanizmamy paraleln'oi struktury* [Layouts of machine tools with mechanisms of a parallel structure]. Yu.N. Kuznetsova (Eds.). Kherson: PP Vyshemyr'skyj V.S. [in Russian].
2. Xin-Jun Liu & Jinsong Wang. (2014). *Parallel Kinematics: Type, Kinematics, and Optimal Design*. Springer Science & Business Media, 309 p. [in English].
3. Kuleshkov, Yu.V., Hrechka, A.I. & Shaposhnyk, L.Yu. (2015). Optymizatsiia pryvodu poperechnykh peremischen' holovky pozdovzhn'o-frezernoho verstata [Optimization of the drive of transverse movements of the head of a longitudinal milling machine]. *Zbirnyk prats' molodykh naukotsiv KNTU – Collection of works of young scientists of KNTU, Vol.5*, 508-517 [in Ukrainian].
4. Reimund Neugebauer. (2006). *Parallelkinematische Maschinen: Entwurf, Konstruktion, Anwendung*. Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media, 262 p. [in German].
5. Valiavs'kyj, I.A. & Shaposhnyk, V.Yu. (2013). Kinematychnyj analiz verstata z paralel'noi kinematykoju typu «del'ta» [Kinematic analysis of a machine tool with parallel kinematics of the "Delta" type]. *Tekhnika v sil'skohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zb. naukovykh prats' Kir-koho nats. tekhn. univ. – Collected Works of Kirovohrad National Technical University. Machinery in Agricultural Production, Industry Machine Building, Automation, Issue 26*, 78-81. [in Ukrainian].
6. Verstat : pat. na kor. mod. 35361 Ukraina : MPK V23B 41/00. № u 2008 05562 ; zaiavl. 29.04.2008 ; opubl. 10.09.2008, Biul. № 17. [in Ukrainian].
7. Verstat : pat. na kor. mod. 35360 Ukraina : MPK V23D 5/00. № u 2008 05560 ; zaiavl. 29.04.2008 ; opubl. 10.09.2008, Biul. № 17. [in Ukrainian].
8. Verstat : pat. na kor. mod. 44556 Ukraina : MPK V23V 41/00. № u 2009 03558 ; zaiavl. 13.04.2009 ; opubl. 12.10.2009, Biul. № 19. [in Ukrainian].
9. Verstat : pat. na kor. mod. 52723 Ukraina : MPK V23V 41/00. № u 2010 01443 ; zaiavl. 12.02.2010 ; opubl. 10.09.2010, Biul. № 17. [in Ukrainian].
10. Verstat z paralel'noi kinematykoju : pat. na kor. mod. 148653 Ukraina : MPK V23B 41/00. № u 2021 01754 ; zaiavl. 05.04.2021 ; opubl. 01.09.2021, Biul. № 35. [in Ukrainian].
11. Kyrychenko, A.M., Zaika, S.M. & Fedot'iev, A.M. (2010). Osoblyvi polozhennia ploskykh mekhanizmiv paralel'noi struktury. *Novi tekhnologii v mashynobuduvanni. Visnyk KDU imeni Mykhajla Ostrohrads'koho. Issue 5/2010 (64), part. 1*, 94-99 [in Ukrainian].

Oleksandr Kropivny, Postgraduate, **Andrii Hrechka**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Andrii Kyrychenko**, Prof., DSc., **Kyryl Shcherbyna**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Kinematic Dependencies of Two-axis Parallel Manipulator With Rotary Fastening of Hinges of Variable Length Links

In the article the kinematic problem for a new two-axis parallel manipulator with rotary hinged parallelogram, the source of which is a spindle unit, is performed. The analysis of the received kinematic dependencies is carried out. The presence of special provisions of the source body of the mechanism is established. The directions of further scientific researches are outlined.

The parallel manipulator structure for consideration differs from previously developed fastenings of hinges of rods of variable length on rotary levers which rotation is coordinated with rotation of an initial link with a spindle unit. On the basis of the developed scheme mathematical dependences for lengths of actuators are established. The performed mathematical transformations allowed to solve direct and inverse kinematic problems for the mechanism. Analysis of the obtained kinematic dependences showed the presence of special positions of the initial body of the mechanism in the form of kinematic parallel singularities. Their graph is given. Graphs of changes of coordinates of an output link at change of lengths of rods of the drive of giving are shown. The analysis of graphic dependences shows existence of such combinations of constructive parameters of the mechanism at which the drive of giving starts to work in a multiplicative mode.

The obtained dependences will allow to ensure the functioning of the kinematic circuits of the feed drive of this mechanism. The established points of the kinematic parallel singularity of the feed drive and its operation in the multiplicative mode require further consideration taking into account the dynamic loads. By selecting the design parameters of the mechanism, it is possible to achieve close to rectilinear relationships between changes in the length of the rods and the movement of the spindle unit.

parallel manipulator, two-axis manipulator, rotating hinged parallelogram, kinematics

Одержано (Received) 16.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 24.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

К.К. Щербина, доц., канд. техн. наук, **М.М. Підгаєцький**, доц., канд. техн. наук,

В.А. Мажара, доц., канд. техн. наук, **А.І. Гречка**, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: kir2912s@ukr.net

Т.В. Дяченко, викл.

Кропивницький інженерний коледж Центральноукраїнського національного технічного університету, м. Кропивницький, Україна

Експериментальне дослідження деформації пружно-гвинтового хона

В статі описується процес регулювання радіального розміру пружно-гвинтового хона, який відбувається на підставі пружних деформацій замкненого гвинтового тіла. Розглядаються математичні моделі процесу деформації пружно-гвинтового хону в осьовому напрямку при статичних навантаженнях в умовах додаткового опору пружним деформаціям. В результаті експериментального дослідження пружно-гвинтового хона визначена теоретична та експериментальна залежність величини приросту діаметра та сили деформації від осьової пружної деформації. Також представлені математичні моделі отримані в результаті проведеного експериментального дослідження залежності приросту діаметра від величини прикладеної сили та осьового пружного переміщення.

пружно-гвинтовий хон, пружно-деформована оболонка, твердо тільна модель, деформація геометричної вісі, пружні деформації

Постановка проблеми. Зростання сучасних вимог до процесів механічної обробки прецизійних отворів призводить до необхідності підвищення гнучкості прийнятих технологічних рішень. Одним із розповсюджених методів механічної обробки отворів є хонінгування. Особливістю хонінгування отворів є процес регулювання радіального розміру безпосередньо під час обробки. Отже, гнучкість процесу хонінгування отворів полягає у можливості реагувати на похибки (зміни) розмірів, геометричних відхилень від форми, шорсткості та хвилястості як після попередньої обробки, так і в процесі обробки. Існуючі хонінгувальні головки у значній мірі забезпечують технологічні вимоги до гнучкості процесу. Однак, вони потребують конструктивного вдосконалення, оскільки не в повній мірі виправляють геометричні відхилення оброблюваної поверхні, також при цьому відсутнє перекриття під час обробки отворів з переривчастими поверхнями. Тому вирішення обумовлених проблем за рахунок покращення функціональних показників хона є актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На підставі аналізу існуючих хонінгувальних головок для обробки отворів [1,2,3] виявлено ряд недоліків. Зокрема обробка шліцевих та переривчатих отворів малих діаметрів призводить до ускладнення конструкції хонінгувальної головки та обмежень по величині діаметру оброблюваного отвору [4]. Також класичні конструкції хонінгувальної головки обмежують чітке реагування на зміни сили різання, що безпосередньо пов'язано з геометричними відхиленнями оброблюваного отвору, а саме з макро та мікронерівностями [5].

Постановка завдання. На підставі проведеного аналізу було запропоновано пружно-гвинтовий хон [5], який дозволяє усунути наведені вище недоліки існуючого алмазно-абразивного інструменту за рахунок використання пружних деформацій для збільшення величини радіального розміру та розміщення алмазно-абразивних брусків під кутом 45° . Але в запропонованій конструкції пружно-гвинтового хону існує ряд не вирішених питань, а саме форма деформації геометричної вісі [6], що потребує її експериментального дослідження

Виклад основного матеріалу. Дослідження будемо проводити для пружно-деформуємої оболонки (ПДО), яка виступає корпусом пружно-гвинтового хону [6].

Для проведення дослідження необхідно прийняти ряд припущень та умовностей, в тому числі:

- дію додаткового опору пружним переміщенням, що імітується веденням уявного стержня, який поєднує кінцівки полого гвинтового тіла;
- стержень розміщується в зоні, яка створює додатковий опір пружним деформаціям повздовж геометричної вісі полого гвинтового тіла;
- жорсткість уявного стержня приймається більшою за жорсткість гвинтового полого тіла за межами стержня;- однобічне розміщення уявного стержня розглядається у випадку розміщення його по один бік від геометричної вісі тіла. При цьому обумовлений стержень розглядається, як двохопорний, з навантаженням та моментами вигину, котрі діють в його опорах (кінцівках) ;
- симетричне розміщення уявного стержня розглядається у випадках його розміщення по обидва боки від геометричної вісі тіла. При цьому обумовлений стержень розглядається як двохопорний, з навантаженням та моментами вигину, котрі діють в його опорах (кінцівках) ;

Навантаження буде створюватися дією осьової сили PZ , яка діє на обидва кінці гвинтового тіла. Моменти вигину, які виникають на замикаючих кінцівках ПДО викличуть пружну деформацію геометричної вісі.

Деформація вигину геометричної вісі представляє собою синусоїду з двома напівхвилями із зміною фази посередині довжини, що буде характеризуватися рівнянням:

$$x = \frac{2PZa}{\sigma EJ} \left(2 \frac{z^3}{l} - 3z^2 + lz \right), \quad (1)$$

де PZ – осьова сила ;

E – модуль пружності ПДО;

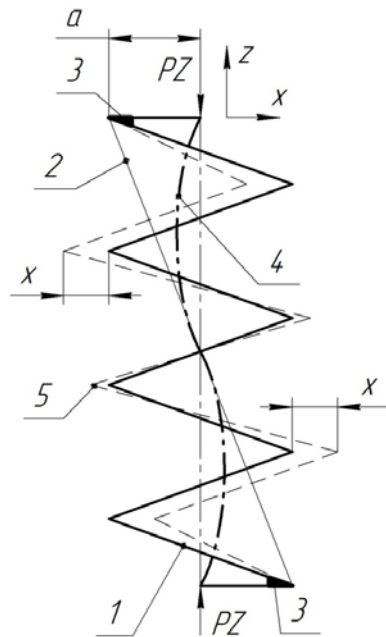
σ – межа міцності ПДО;

J – момент інерції попереднього переміщення.

Як видно із схеми (рис.1), синусоїдальний принцип деформації геометричної вісі сприяє еквідистантній деформації гвинтового тіла. При цьому деформація має двобічний симетричний характер, при якій також можуть виникати нерівномірні навантаження бокових поверхонь гвинтового тіла.

Дослідження деформації ПДО при однобічному розміщенні кінцівок виявило, що дія моментів вигину викличе пружну деформацію геометричної вісі у вигляді однієї напівхвилі синусоїди, що призведе до еквідистантної деформації ПДО. Отриманий вид деформації не прийнятний при експлуатації ПДО.

Дослідження деформації ПДО при опозитно віссесиметричному розміщенні кінцівок виявило, що дія моментів вигину викличе пружну деформацію геометричної вісі у вигляді двох напівхвиль синусоїди із зміною фази посередині довжини, що призведе до еквідистантної деформації ПДО. Такий вид деформації також не прийнятний при експлуатації ПДО.



1 – гвинтове тіло; 2 – уявний стержень; 3- замикаючі кінцівки гвинтового тіла; 4 - пружна деформація геометричної вісі ПДО; 5 – пружна деформація гвинтового тіла ПДО; a – плече геометричної вісі ПДО; PZ – осьова сила;

Рисунок 1 – Схема навантаження ПДО при віссесиметричному розміщенні уявного стержня

Джерело: [1]

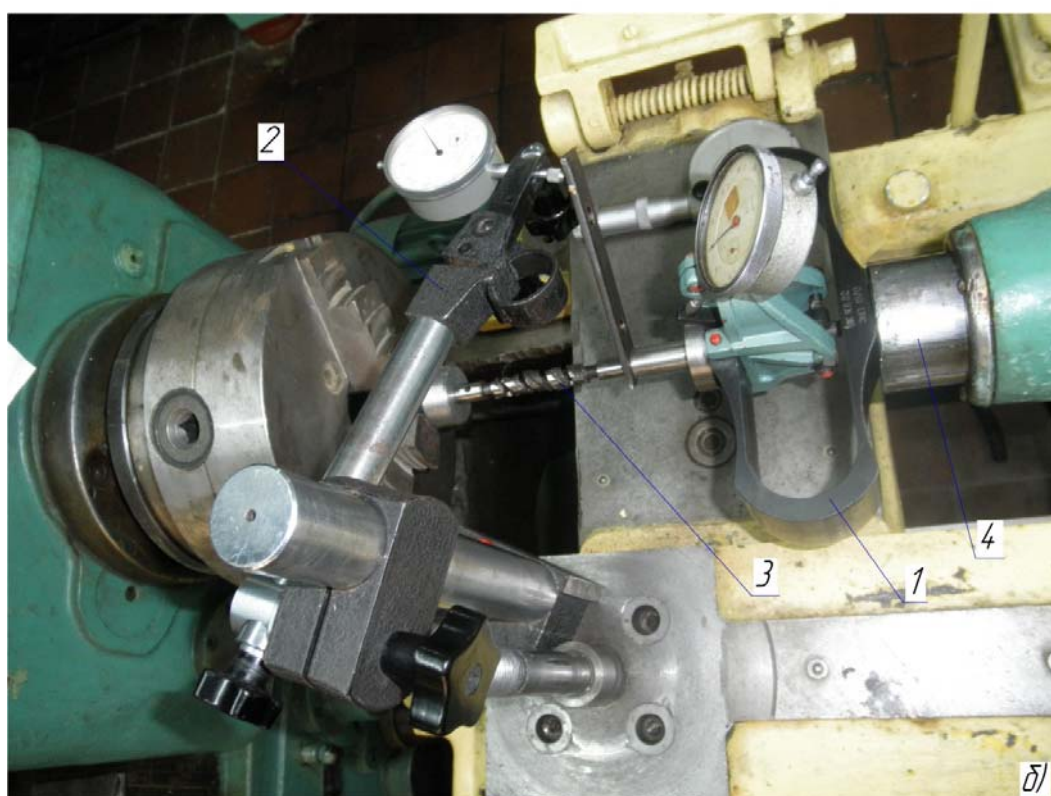
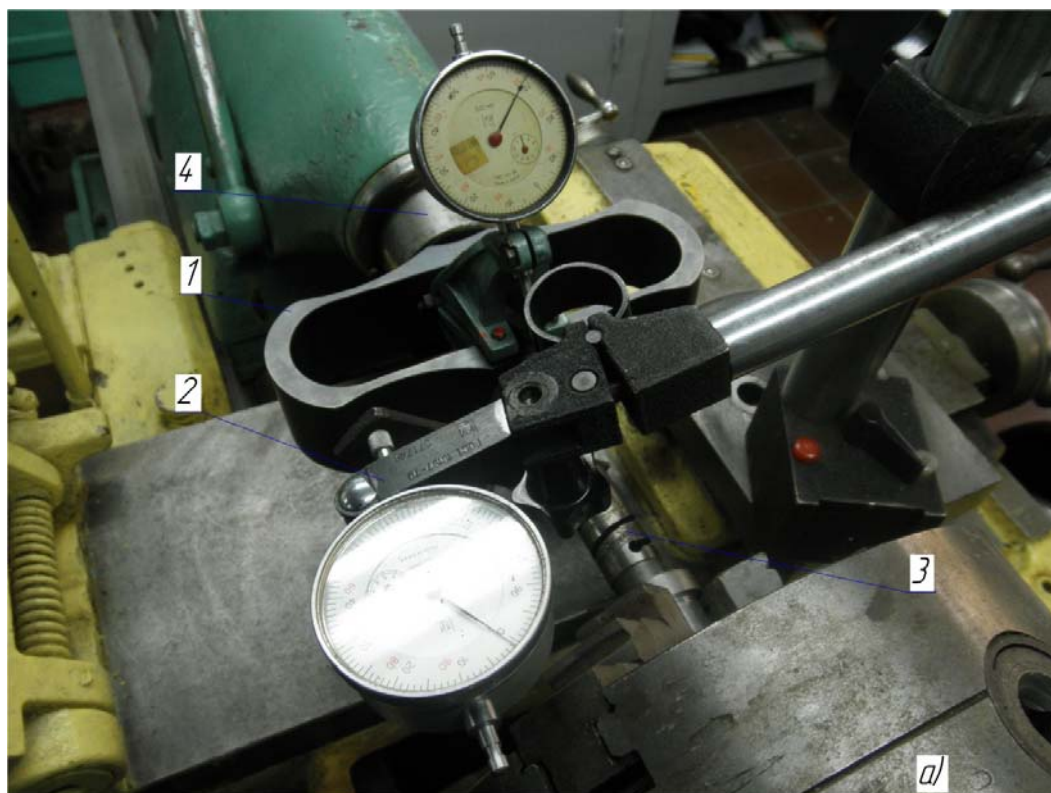
Для підтвердження або спростування отриманих теоретичних припущень по визначенню деформації ПДО проведемо експериментальне дослідження.

Експериментальне дослідження будемо проводити на дослідній установці для визначення необхідної сили деформації та приросту діаметра ПДО, що виконана за рахунок модернізації токарного верстату 1A616 і складається з динамометра 1, індикаторної магнітної стійки 2 та ПДО 3. (рис.2).

ПДО 1 встановлюється в трикулачковий патрон токарного верстата, в якому був виконаний спеціальний упор, що обмежує осьове переміщення. У свою чергу динамометр 1 встановлювався між ПДО 3 та піноллю задньої бабки 4. Для визначення осьової деформації ПДО 1 використовувалася спеціальна пластина з якою контактує ніж індикатора магнітної стійки 2.

Дослідна установка працює таким чином: зусилля та осьове переміщення відбувається за рахунок пінолли задньої бабки. Величина отриманої осьової деформації визначається за рахунок індикатора, який встановлюється на магнітній стійці, а величина прикладеного зусилля встановлювалась за рахунок динамометра 1, який був попередньо відкалібрований. Вимір отриманого радіального розміру здійснювався мікрометром.

Значення параметрів, що контролюються в процесі діагностування наведено в таблиці 1. За результатами діагностування отримані такі залежності необхідної сили деформації для ПДО 284156.001 та ПДО 284156.002 (рис. 3), а для ПДО 284156.003 та ПДО 284156.004 (рис. 3). Величина приросту діаметра ПДО 284156.001 (рис. 3) та ПДО 284156.003 від осьової деформації (рис. 3). Отримано значне неспівпадіння теоретичних та експериментальних залежностей. Це обумовлено тим, що гвинтовий паз виконаний замкненими кінцівками. Тобто, при пружних деформаціях виникає супротив, тому пропонується використовувати імперичні формули для розрахунку приросту діаметра та знаходження необхідної величини деформації.



1 – динамометр; 2 – індикаторна магнітна стійка; 3 – ПДО; 4 – піноль задньої бабки.

Рисунок 2 – Дослідна установка для визначення необхідної сили деформації та приросту діаметра ПДО

а) для ПДО 284156.003 та ПДО 284156.004; б) для ПДО 284156.001 та ПДО 284156.002
Джерело: розроблено авторами

Таблиця 1 – Параметри, що контролюються в процесі діагностування

№	Показник індикатора переміщення, мм	Показник індикатора динамометра	Сила PZ, Н	Діаметр, мм
1	2	3	4	5
ПДО 284156.001				
1	0	0	0	8,74
2	0,25	20	597,5	8,76
3	0,5	40	1185,9	8,80
4	0,75	61	1803,8	8,82
5	1,0	80	2362,88	8,84
ПДО 284156.002				
1	0,25	16	479,8	-
2	0,5	30	891,7	-
3	0,75	43	1274,23	-
4	1,0	59	1745	-
ПДО 284156.003				
1	0	0	0	21,17
2	0,25	20	597,5	21,18
3	0,5	38	1127,1	21,20
4	0,75	55	1627,3	21,22
5	1,0	70	2059,6	21,24
ПДО 284156.004				
1	0,25	10	303,26	-
2	0,5	25	744,616	-
3	0,75	49	1450,7	-
4	1,0	72	2127,5	-

Джерело: розроблено авторами

Отже, значення необхідної сили деформації ПДО 284156.001 буде визначатися за таким рівнянням:

$$PZ = 3.62 + 2375.76 * \Delta z; \quad (2)$$

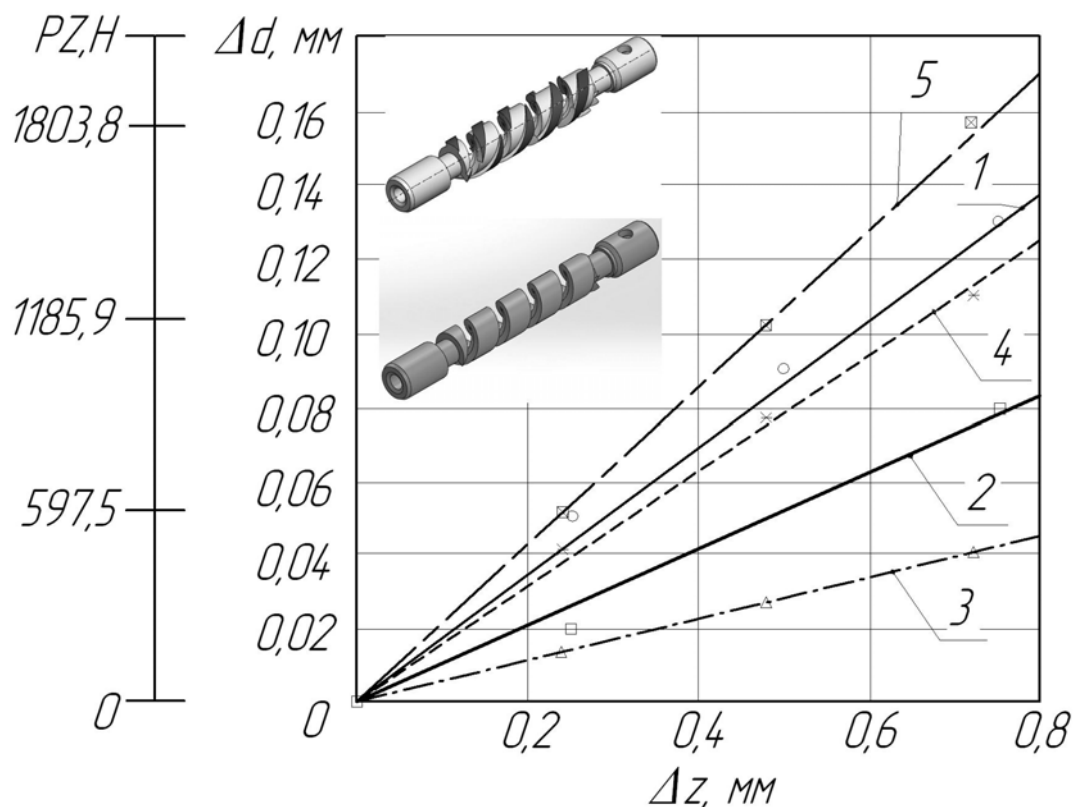
де Δz – осьової деформації;

Приріст величини діаметру ПДО 284156.001 буде визначатися за таким рівнянням:

$$d_1 = 6.93 + 0.104 * \Delta z; \quad (3)$$

Необхідна сила деформації ПДО 284156.002 буде визначатися за таким рівнянням:

$$PZ = 21.24 + 1713.8520 * \Delta z; \quad (4)$$



1 – експериментальна залежність сили деформації ПДО 284156.002; 2 – експериментальна залежність приросту діаметра ПДО 284156.001; 3 – теоретична залежність приросту діаметру ПДО 284156.001; 4 – теоретична залежність сили деформації ПДО 284156.001; 5 – експериментальна залежність сили деформації ПДО 284156.001.

Рисунок 3– Залежність необхідної сили деформації та приросту діаметра ПДО для пружно-гвинтового хона $d=12,7$ мм

Джерело: розроблено авторами

Необхідна сила деформації ПДО 284156.003 буде визначатися за таким рівнянням:

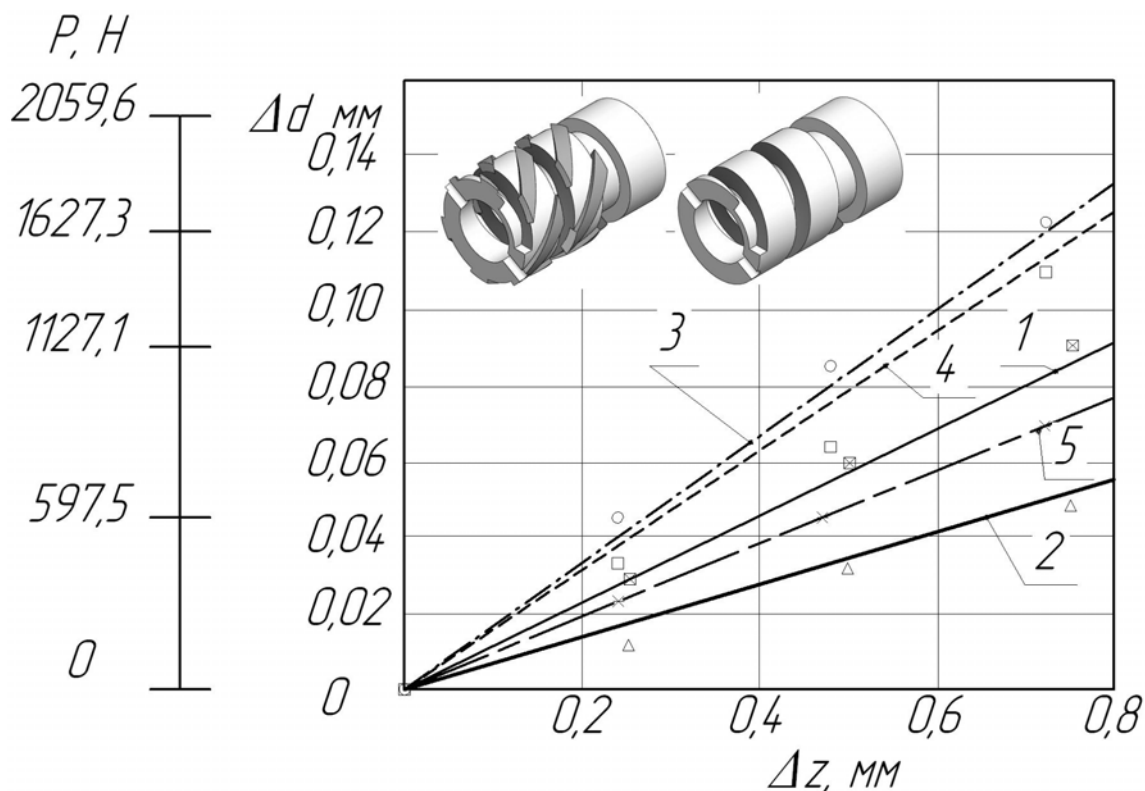
$$PZ = 52.5 + 2059.6 * \Delta z; \quad (5)$$

Приріст величини діаметра ПДО 284156.003 буде визначатися за таким рівнянням:

$$d_1 = 0.072 * \Delta z - 0.004; \quad (6)$$

Необхідна сила деформації ПДО 284156.004 буде визначатися за таким рівнянням:

$$PZ = 2160.97 * \Delta z - 155.274; \quad (7)$$



1 – теоретична залежність сили деформації ПДО 284156.003; 2 – теоретична залежність приросту діаметра ПДО 284156.003; 3 - експериментальна залежність сили деформації ПДО 284156.004;
4 - експериментальна залежність сили деформації ПДО 284156.003;
5 - експериментальна залежність приросту діаметра ПДО 284156.003;

Рисунок 4 – Залежність необхідної сили деформації та приросту діаметру ПДО для пружно-гвинтового хону $d=25,0$ мм

Джерело: розроблено авторами

Висновки. В результаті експериментального дослідження ПГХ визначена теоретична та експериментальна залежність величини приросту діаметра та сили деформації від осової пружної деформації. Також представлені математичні моделі отримані в результаті експериментального дослідження залежності приросту діаметра від величини прикладеної сили та осового пружного переміщення.

Список літератури

1. Підгаєцький М.М., Щербина К.К., Мажара В.А., Дяченко Т.В. Динамічний аналіз традиційної кінцевої ланки хонінгувальної головки *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2019. Вип.49. С.194-200.
2. Підгаєцький М. М., Щербина К. К. Динамічний аналіз традиційних систем регулювання радіального розміру в процесі хонінгування отворів. *Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки*. 2014. №3 (213). С.134-138.
3. Куликов С.И., Ризванов Ф.Ф., Романчук В.А., Ковалевский. С.В. Прогресивные методы хонингования. М. : Машиностроение, 1983. 334 с.
4. Фрагин И. Е. Новое хонингование. М. : Машиностроение, 1980. 95 с.
5. Подгаецкий М.М., Щербина К.К. Особенности обработки прецизионных отверстий упруго-винтовым хонем. *Вестник Пермского Национального Исследовательского Политехнического Университета «Машиностроение, материаловедение»*. 2013. Т.15, №2. С. 30-39.
6. Підгаєцький М.М., Щербина К.К. Дослідження повздовжньої сталості пружно-гвинтового хону. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології машинобудування*. 2018. №6 (1282). С.8-12.

References

1. Pidhaietskyi, M.M., Shcherbyna, K.K., Mazhara, V.A. & Diachenko, T.V. (2019). Dynamichniy analiz tradytsiinoi kintsevoi lanky khoninhuvalnoi holovky [Dynamic Analysis of the Traditional Tail End of the Honing Head]. *Konstruivannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kix mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue. 49*, 194-200. [in Ukrainian].
2. Pidhaietskyi, M.M. & Shcherbyna, K.K. (2015). Dynamichniy analiz tradytsiinykh system rehulivannia radialnogo rozmiru v protsesi khoninhuvannia otvoriv [The dynamic analysis of traditional schemes of systems of regulation of the radial size in the course of a honing of openings]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu : Tekhnichni nauky – Bulletin of the Khmelnytskyi National University: Technical Sciences*, 3 (213), 134-138. [in Ukrainian].
3. Kulikov, S.I., Rizvanov, F.F., Romanchuk, V.A., & Kovalevsky, S.V. (1983) *Progresivnyye metody khoningovaniya [Progressive honing methods]*. Moscow : Mashinostroenie [in Russian].
4. Fragin, I.E. (1980). *Novoye khoningovaniye [New honing]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
5. Podgayetskiy, M.M. & Shcherbina, K.K. (2013). Osobennosti obrabotki pretsizionnykh otverstiy uprugovintovym khonom [Peculiarities of processing precision holes with an elastic-helical hone] . *Vestnik Permskogo Natsionalnogo Issledovatel'skogo Politehnicheskogo Universiteta «Mashinostroyeniye. materialovedeniye» – Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University "Mechanical engineering, materials science"*, Vol. 15, 2, 30-39. [in Russian].
6. Pidhaietskyi, M.M. & Shcherbina, K.K. (2018). Doslidzhennia povzdovzhnoi stalosti pruzhno-hvyntovoho khonu [Study of longitudinal stability of helical hone] . *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Tekhnologii mashynobuduvannia – Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Technologies of mechanical engineering*, 6 (1282), 8-12 [in Ukrainian].

Kyryl Shcherbyna, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mykhailo Pidhaietskyi**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vitalii Mazhara**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Andrii Hrechka** Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Tetiyna Dyachenko

Kropyvnytskyi engineering College of Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Experimental Study of Deformation of Helix Honing Tool

One of the important issues in the development of agricultural engineering is to increase the efficiency of finishing processes of machining the surfaces of controlling parts of the hydraulic machines equipment and the fuel system of internal combustion engines. High accuracy and quality of parts influence the performance of functional indicators and the consistency of their performance. One of the processes of finishing machining is honing of precision holes.

The factor that impacts the accuracy and quality of the machined hole is the ability to influence the process of formation of macrogeometry and microgeometry due to the flexibility of the process. The quality of the micro-relief is influenced by the kinematics of the formation of a grid of traces. The formation of macrogeometry, in turn, is influenced by the principle of formation of geometric production lines, taking into account copying of existing deviations and the transfer of wear of diamond-abrasive bars. To level the impact of existing deviations of the machined hole it is necessary to carry out a flexible control of the process of adjusting the radial size. To ensure the flexibility of the process of honing holes, a helix honing tool is proposed, which eliminates the shortcomings of the existing diamond-abrasive tool by using elastic deformations to increase the radial size and placement of diamond-abrasive bars at an angle of 45°. To study the process of adjusting the radial size of the helix honing tool, the calculated scheme of elastic deformation of the geometric axis and a mathematical model describing the deformation process are presented. An experimental setup of the deformation of the helix honing tool in the axial direction is also given.

As a result of the experimental study of the helix honing tool, the theoretical and experimental dependence of the magnitude of the increase in diameter and the force of deformation on the axial elastic deformation is determined. There are also mathematical models obtained as a result of the experimental study of the dependence of the diameter increase on the magnitude of the applied force and axial elastic displacement.

helical hone, elastic deformed cover, solid model, deformation of geometric axis, elastic deformations

Одержано (Received) 17.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 24.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

С.В. Конончук, доц., канд. техн. наук, **О.В. Скрипник**, доц., канд. техн. наук,
В.В. Свяцький, доц., канд. техн. наук, **В.В. Пукалов**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: kononchuk_s@ukr.net, skripnik1966@ukr.net, svv_iamph@ukr.net,
pukalovvictor@gmail.com

Підвищення продуктивності процесу лиття шляхом регулювання теплового режиму кокіля на основі комп'ютерного дослідження потоку повітря в каналах стержня

В статті на основі аналізу теплового режиму кокіля та існуючих конструкцій і способів охолодження форм обґрунтовано необхідність регульованого охолодження центрального стержня повітрям. Запропоновано нову конструкцію центрального стержня, яка забезпечує регульоване повітряне охолодження кокіля. Розроблено 3D-моделі деталей та 3D-зборки центрального стержня нової конструкції. Виконано комп'ютерне дослідження потоку повітря в каналах стержня в середовищі SolidWorks Flow Simulation. Результати параметричного моделювання течії повітря в каналах центрального стержня показали максимальну витрату повітря при охолодженні 0,371 кг/с, тепловміст повітря при охолодженні 25081 Дж/с. Оцінка ефективності охолодження розробленої конструкції кокіля показала, що при використанні повітряного охолодження центрального стержня охолоджуючим повітрям при максимальній його витраті відводиться 41 % теплоти.

кокіль, вилівок, направлена кристалізація, охолодження, теплопровідність, теплосмість, тепловий потік, 3D-модель, комп'ютерне моделювання

Постановка проблеми. Алюміній і його сплави завдяки відомим перевагам посідають перше місце за обсягом виробництва серед кольорових металів. Однією з основних областей застосування алюмінієвих сплавів, поряд з авіаційною, космічною технікою, електротехнікою, харчовою промисловістю, будівельними конструкціями, є їхнє використання в машинобудуванні. Найбільш поширеною технологією виготовлення алюмінієвих деталей і заготовок є лиття в кокіль.

Типовий технологічний процес лиття в кокіль алюмінієвих сплавів складається з таких операцій: підготовка шихтових матеріалів (подрібнення, зважування), підготовка інструменту, обладнання, оснащення, плавка, рафінування, литво, обрубка, відрізання підживлювачів, зачистка, транспортування. Для визначення шляхів удосконалення технології лиття необхідно проаналізувати можливість зміни параметрів, які впливають на зменшення собівартості виробництва (зменшення енерговитрат, матеріалоемності, підвищення продуктивності) та підвищення якості литва [1].

Тепловий режим металевої форми визначає продуктивність процесу, тривалість затвердіння виливка, його якість, довговічність кокілю і залежить від таких факторів, як температура заливання сплаву, початкова температура форми перед заливанням, теплопровідність кокільної фарби, відносна товщина стінки та інтенсивність охолодження форми [2].

Залежно від темпу роботи ливарної машини величина температури форми може бути як більше запропонованого технологією значення, так і менше. При високому темпі роботи машини температура форми при послідовному виготовленні виливків безупинно росте, а при низькому темпі зменшується. Як показав аналіз виробничих даних, коливання значень середньої температури кокілю в процесі виготовлення виливків можуть досягати 50 % і більше. Це приводить до істотного розкиду значень тривалості затвердіння одержуваних виливків, параметрів їх структури й механічних властивостей. При високому темпі роботи машини середня температура кокілю безупинно збільшується, а механічні властивості виливків знижуються. У цьому випадку, як добре відомо із практики, форма й особливо стержні настільки розігріваються, що процес доводиться зупиняти [3].

Якщо проаналізувати роботу кокіля для виготовлення виливка Корпус НШ100 (рис. 1), можна побачити, що при заповненні форми найбільш розігріті нові порції металу (червоні стрілки) зустрічають на своєму шляху центральний стержень.

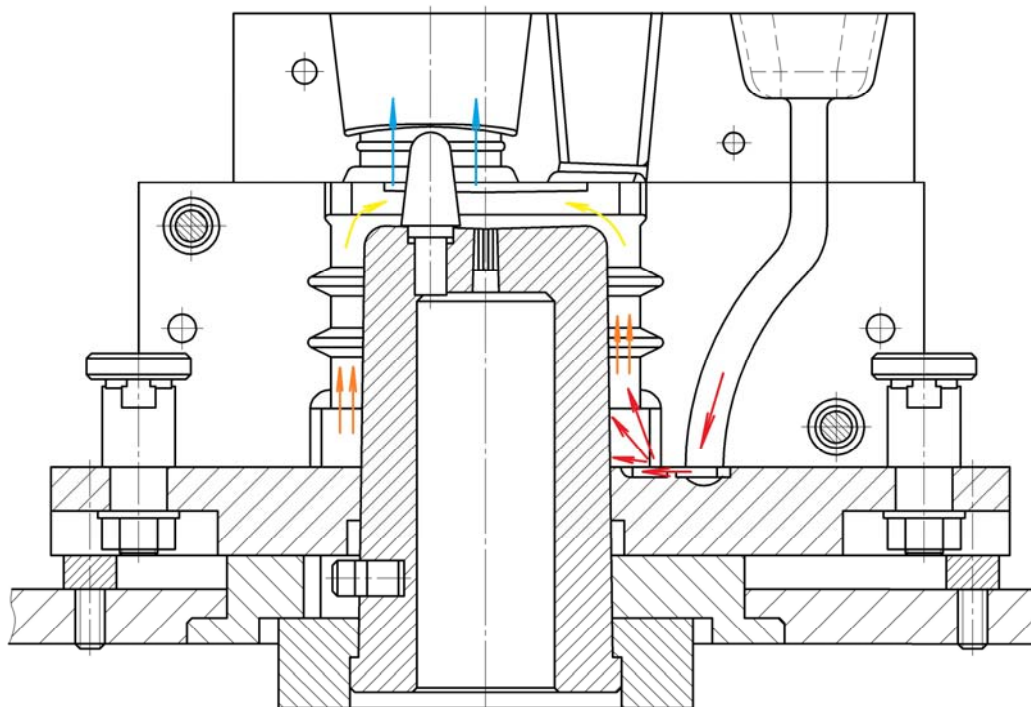


Рисунок 1 – Схема теплового режиму кокіля

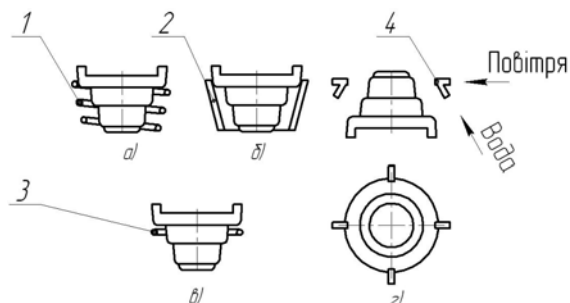
Джерело: розроблено авторами

Тобто, при заливці форми центральний стержень нагрівається найбільше, особливо в нижній частині. Дана обставина перешкоджає процесу направленого затвердіння і може призвести до виникнення дефектів усадкового характеру. Крім того, чим вищою буде температура форми тим повільніше буде кристалізуватись виливок і гіршими будуть його структура і механічні властивості. Тому дослідження впливу конструкторсько-технологічних заходів та систем охолодження на регулювання теплового режиму кокіля є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для виключення явищ перегрівання форми передбачають систему штучного охолодження кокілів. Застосовують повітряне та водяне охолодження зовнішньої поверхні кокілів, повітряне і водяне охолодження стінок кокілів шляхом пропускання охолоджуючого агента через канали, передбачені в стінках форми. Однак ці заходи, ускладнюють конструкцію оснащення, не вирішують проблеми стабілізації теплового режиму металевої форми. Кардинальним є

використання систем термостабілізації роботи коків. При цьому через стінку форми пропускається спеціальна рідина, що має високу температуру кипіння, і завдяки засобам автоматики забезпечується стабілізація теплового режиму коків [4].

Приклади реалізації вільного і вимушеного охолодження коків представлено на рис. 2 – 5.



- а) – охолодження трубчастим змійовиком 1;
- б) – охолодження кільцевим колектором 2;
- в) – охолодження кока розбризкуванням води через трубчастий сектор 3 з отворами;
- г) – охолодження повітряно-водяною сумішшю через форсунки 4

Рисунок 2 – Схеми вимушеного охолодження витряхних коків

Джерело: [5, 6]

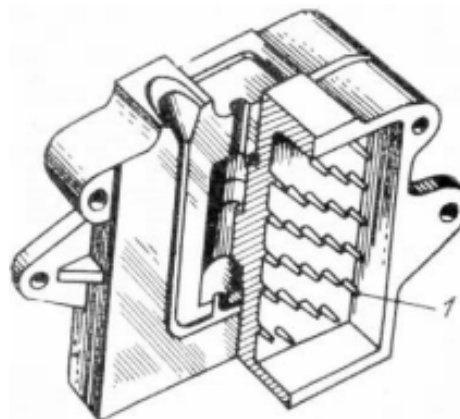


Рисунок 3 – Кокіль з шипами 1 для інтенсифікації теплообміну

Джерело: [5, 6]

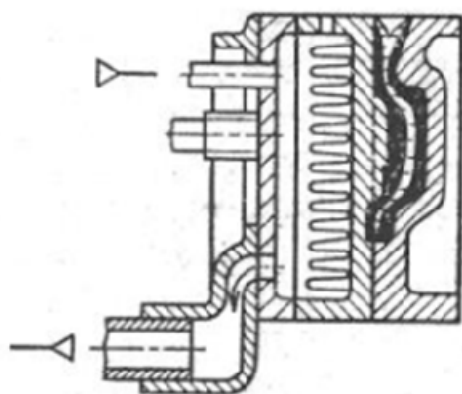


Рисунок 4 – Кокіль з примусовим повітряним охолодженням з ребрами для інтенсифікації теплообміну

Джерело: [5, 6]

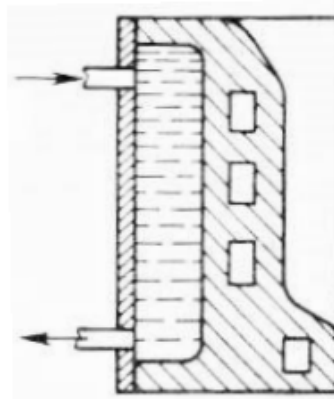


Рисунок 5 – Схема комбінованого водяного і повітряного охолодження (вода в колектор і повітря в канали подаються одночасно)

Джерело: [5, 6]

Екстремальні умови роботи елементів сучасних конструкцій, складність їх форми а також складність технології їх виготовлення роблять дорогим і тривалим здійснення виробничого або натурного експерименту, особливо, якщо мова йде про дослідження процесів кристалізації і охолодження. Створення конструкцій такого типу неможливо без використання систем комп'ютерного моделювання процесів, удосконалення й автоматизації процесу проектування, застосування нових матеріалів і технологій.

Необхідність впровадження у виробництво найскладнішої техніки в короткий термін приводить до створення систем комп'ютерного автоматизованого проектування. Важливу роль у цих системах відіграють засоби моделювання досліджень напружено-деформованого стану, течії розплаву в каналах ливникової системи, потоку повітря в каналах системи охолодження форми, процесів кристалізації, теплообміну, тощо, які дозволяють спроектувати найменш металоємну ливарну форму з системою охолодження, яка забезпечує отримання якісних виливків при максимальній продуктивності обладнання і значно скоротити витрати на впровадження у виробництво нових виливків [7].

Постановка завдання. Таким чином, метою даної роботи є розробка конструкції системи охолодження центрального стержня кокіля, що забезпечує підвищення продуктивності процесу лиття, підвищення якості литва за рахунок покращення структури та механічних властивостей виливка, а також підвищення ресурсу кокіля на основі комп'ютерного дослідження потоку повітря в каналах стержня в середовищі SolidWorks Flow Simulation.

Виклад основного матеріалу. На основі аналізу умов роботи кокіля для виготовлення виливка Корпус НШ100 та описаних вище конструкцій і способів охолодження кокілів, було вибране вимушене повітряне охолодження центрального стержня з можливістю регулювання інтенсивності охолодження. Для забезпечення принципу направленої затвердіння охолоджуючі канали розташовуємо таким чином, щоб охолоджуюче повітря подавалось в нижню частину стержня і відводилось зверху.

Подачу повітря доцільно проводити з однієї камери одночасно, адже під'єднання окремо кожного каналу до пневматичної системи технічно дуже складне і недоцільне. Відведення охолоджуючого повітря від стержня також доцільно виконати через один канал по центру стержня вниз в атмосферу цеху. Таким чином, центральний стержень буде складатись з трьох частин. Нижня частина стержня приєднується патрубком до пневматичної системи через регулюючий вентиль. Також в нижній частині стержня передбачено порожнину – камеру для вирівнювання тиску і швидкості повітря та рівномірного його розподілу між охолоджуючими каналами. В середній частині передбачено вертикальні канали однакового діаметру з однаковим кроком та на однаковій відстані від стінок стержня. У верхній частині стержня передбачено виходи з вертикальних каналів таким чином, щоб повітря потрапляло в камеру розташовану в центральній частині стержня і далі видувалося в атмосферу цеху знизу кокіля.

Нова конструкція стержня представлена на рис. 6 – 10.

Порівняльний аналіз ефективності охолодження стержня здійснювали в середовищі параметричного моделювання SolidWorks Flow Simulation [8].

Flow Simulation є програмним забезпеченням, повністю інтегрованим в SolidWorks. Flow Simulation дозволяє розраховувати рух текучих середовищ (газу або рідини) всередині 3D-моделей, досліджувати обтікання моделей потоком текучого середовища, вирішувати задачі теплообміну за рахунок конвекції і випромінювання, а також проводити розрахунок теплопровідності в твердих тілах.

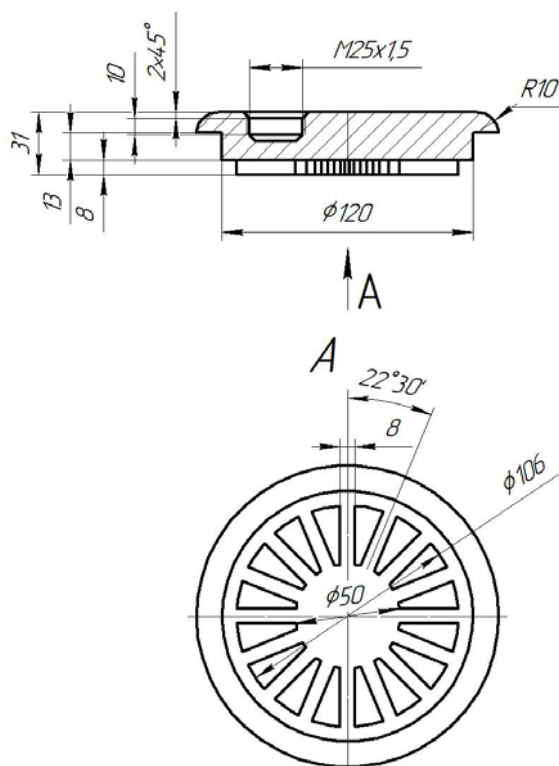


Рисунок 6 – Верхня частина стержня
Джерело: розроблено авторами

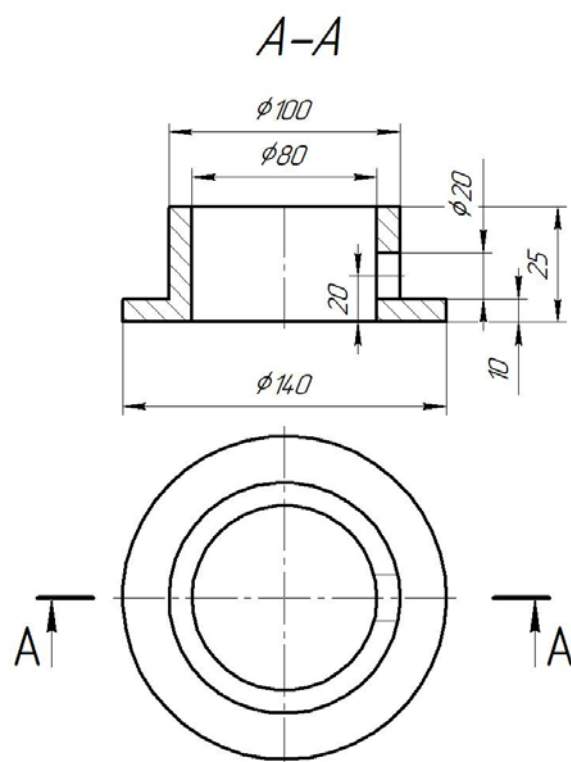


Рисунок 7 – Нижня частина стержня
Джерело: розроблено авторами

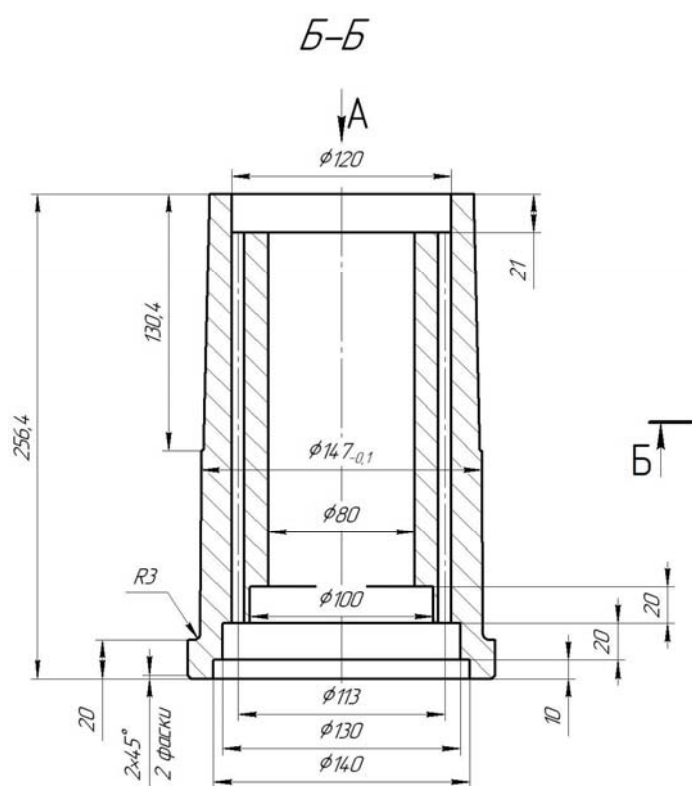
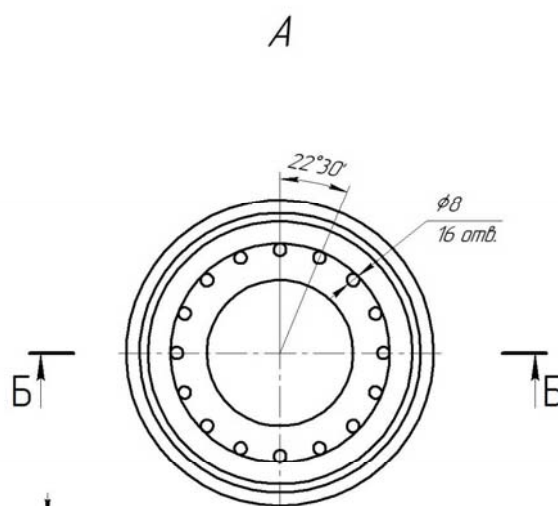


Рисунок 8 – Середня частина стержня
Джерело: розроблено авторами



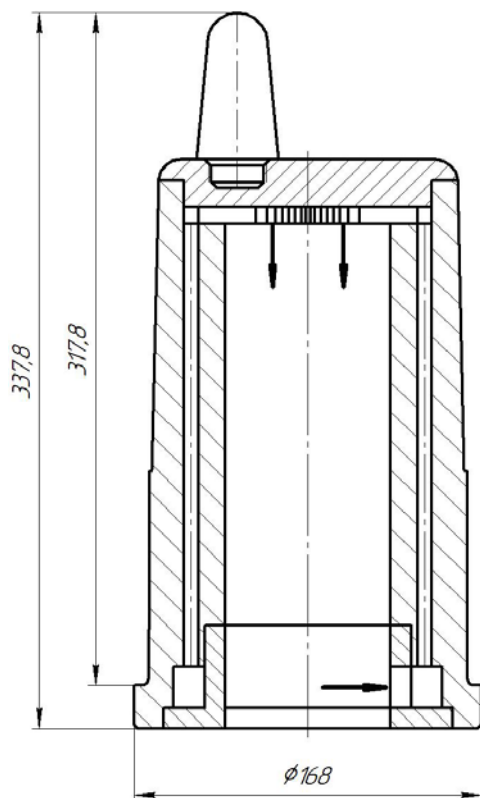


Рисунок 9 – Стержень в зборі (осьовий переріз)
Джерело: розроблено авторами

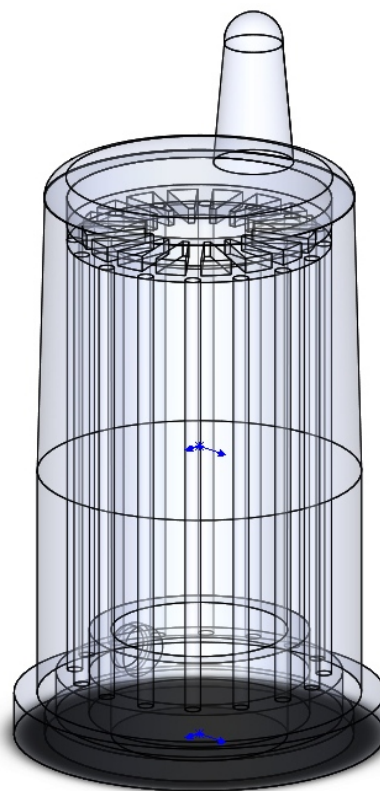


Рисунок 10 – 3D-модель стержня (прозорість 50 %)
Джерело: розроблено авторами

Розрахунки здійснюються методами обчислювальної гідродинаміки, що забезпечує високу ступінь достовірності отриманих результатів. Характерною особливістю Flow Simulation є інтуїтивно зрозумілий і зручний інтерфейс, який включає в себе: препроцесор для введення початкових даних, необхідних для розрахунку (в тому числі, інженерну базу даних з властивостями різних матеріалів); монітор для спостереження і контролю за розрахунком; постпроцесор для перегляду отриманих результатів [8]. Таким чином, у нас є можливість моделювання руху потоку повітря всередині каналів центрального стержня та теплообміну між повітрям та сталевим стержнем.

Спочатку необхідно задати розрахункову область, яка являє собою простір, в якому проводяться розрахунки течії. При створенні проекту за допомогою майстра проекту, Flow Simulation автоматично генерує розрахункову область, що обмежена стінками моделі. Розрахункова область будується як для тривимірних, так і для двовимірних задач. У Внутрішніх задачах границі розрахункової області охоплюють всю модель, тобто області текучого середовища і стінки моделі.

Далі необхідно задати загальні параметри, параметри охолоджуючого повітря, сталевго стержня, початкові і граничні умови, умови на стінках.

В якості граничних умов на вході в стержень у вхідному отворі діаметром 20 мм (рис. 7) задаємо масову витрату повітря. Ця величина визначається вирішенням задачі витікання [9]. Необхідно визначити витрату і швидкість повітря із магістралі пневмосистеми через отвір діаметром $d = 0,02$ м, якщо повітря в магістралі знаходиться під тиском $p_0 = 500000$ Па при температурі $T_0 = 293$ К, а витікання відбувається в атмосферу з тиском $p = 100000$ Па і тією ж температурою.

Визначаємо відношення тисків:

$$\beta = \frac{p}{p_0} = \frac{100000}{500000} = 0,2. \quad (1)$$

Оскільки отримане відношення тисків менше критичного (для повітря $\beta_{кр} = 0,53$), то швидкість витікання буде відповідати критичній швидкості, а масова витрата буде максимальною.

Густина повітря в магістралі:

$$\rho_0 = \frac{p_0}{R_{нов} T_0} = \frac{500000}{287,14 \cdot 293} = 5,943 \text{ кг/м}^3, \quad (2)$$

де $R_{нов}$ – газова стала повітря, Дж/моль·К.

Визначаємо швидкість витікання повітря:

$$v = \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot \frac{p_0}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,4}{1,4+1} \cdot \frac{500000}{5,943}} = 313,295 \text{ м/с}, \quad (3)$$

де $k = 1,4$ – показник адіабати для повітря.

Масова витрата повітря на вході в стержень при коефіцієнті витрати $\mu = 1$ і $\omega_0 = 0,685$ визначаємо за формулою:

$$M = \mu \omega_0 \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{p_0 \rho_0} = 1 \cdot 0,685 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,02^2}{4} \cdot \sqrt{500000 \cdot 5,943} = 0,371 \text{ кг/с}. \quad (4)$$

Таким чином, в якості граничних умов на вході задаємо масову витрату повітря $M = 0,371$ кг/с, його тиск $p_0 = 500000$ Па і температуру $T_0 = 293$ К

В якості граничних умов на виході з стержня у верхній частині центрального отвору діаметром 80 мм (рис. 8) задаємо параметри навколишнього середовища: тиск $p = 101325$ Па; температура $T = 293$ К. Також, для моделювання процесу нагрівання повітря під час руху через канали стержня необхідно задати початкову температуру стержня. Слід зауважити, що у виробничих умовах ця температура у різних частинах стержня різна та постійно змінюється залежно від темпу роботи кокільного верстата. Проте, для дослідження можливості регулювання теплового режиму кокіля достатньо прийняти середню температуру стінок центрального стержня $T_{cm} = 573$ К та його матеріал сталь 45. Задані початкові і граничні умови показано на рис. 11.

Далі натискаємо кнопку «Запустити» і програма Flow Simulation автоматично створює розрахункову сітку і здійснює розрахунок. З'являється вікно Солвера (розв'язувача), де проводиться моніторинг ходу обчислень при вирішенні задачі. За необхідності можна відкоригувати та настроїти розрахункову сітку, задати точність.

Після завершення розрахунків з'являється можливість вивести результати розрахунку зміни параметрів на розрахунковій сітці, в окремих вибраних точках розрахункової області, поверхневі параметри, об'ємні параметри, ізоповерхні параметрів, траєкторії руху як усього потоку повітря, так і окремих його часток, густину, температуру, ентальпію повітря та багато інших параметрів.

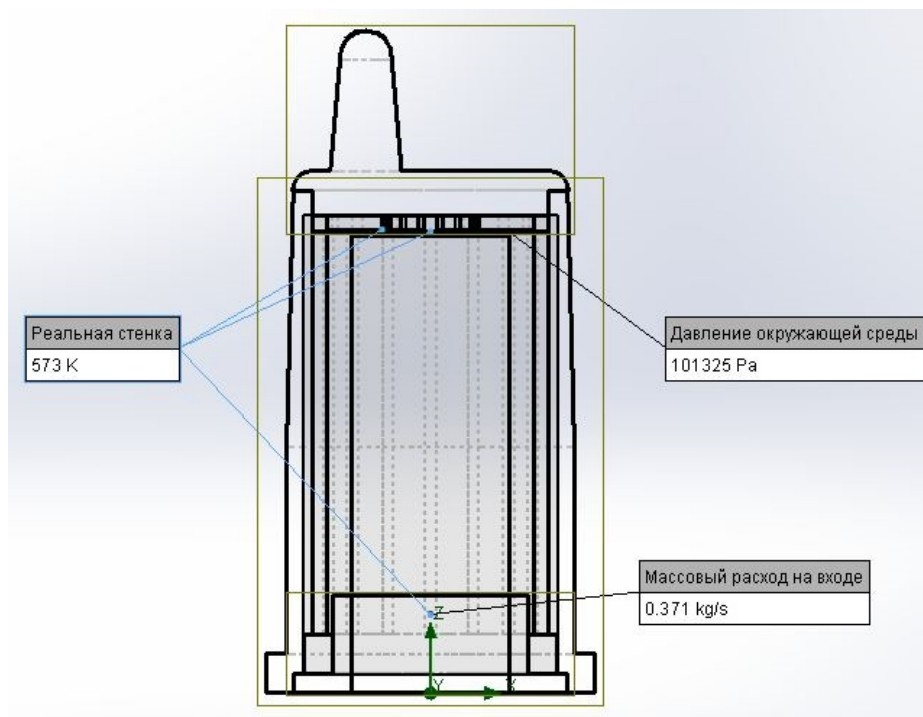


Рисунок 11 – Граничні умови на вході і виході розрахункової області

Джерело: розроблено авторами

Нас цікавлять траєкторії потоку повітря в каналах стержня, а також зміна середньої швидкості потоку (рис. 12), та зміна середньої температури повітря (рис. 13).

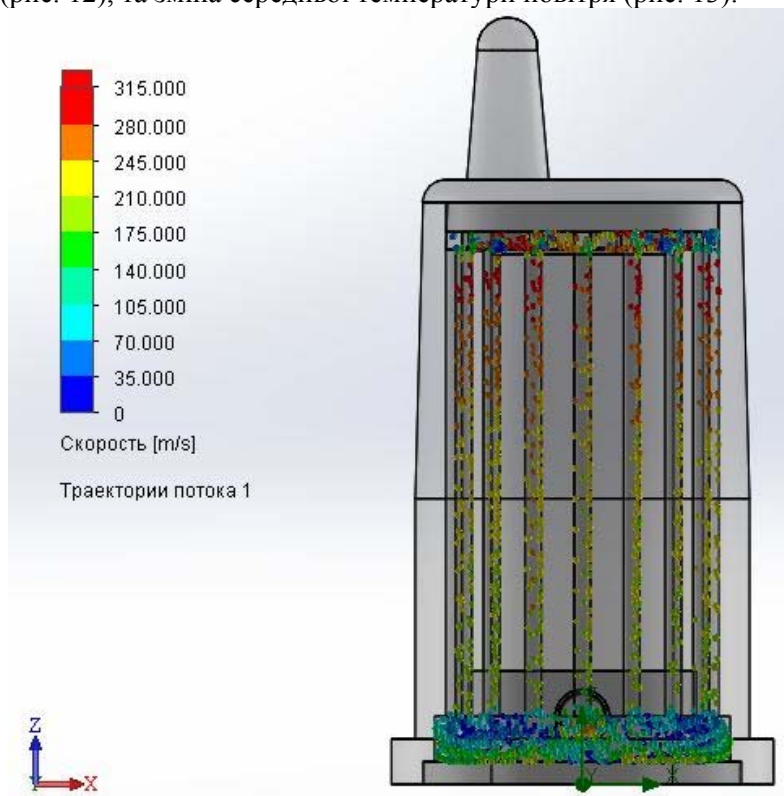


Рисунок 12 – Траєкторії та розподіл швидкості потоків повітря у каналах центрального стержня

Джерело: розроблено авторами

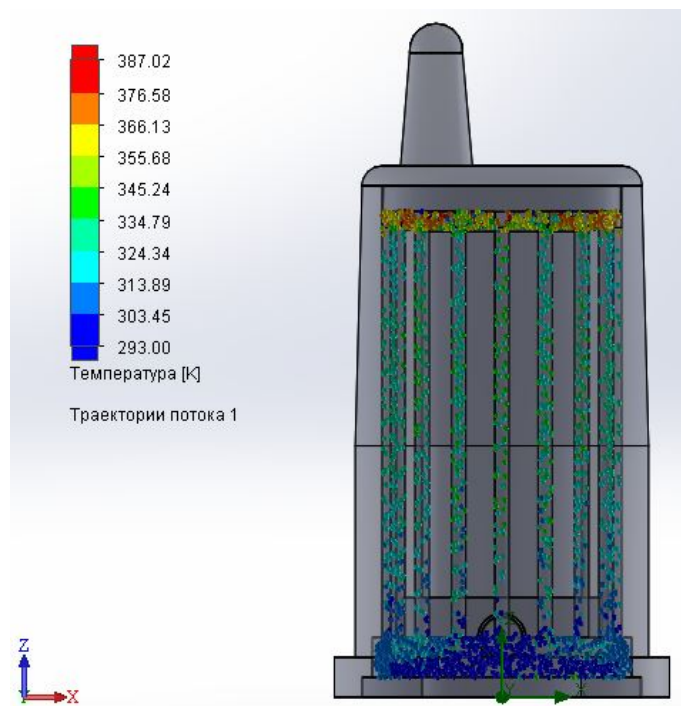


Рисунок 13 – Розподіл середньої температури повітря у каналах центрального стержня
Джерело: розроблено авторами

Як бачимо з отриманих результатів (рис. 12 – 13), максимальна температура повітря на виході з центрального стержня становить $T_{нов} = 387 \text{ K}$ ($114 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Середня температура повітря становить $T_{нов\text{ сер}} = (387 + 293)/2 = 340 \text{ K}$ ($67 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Середній тепловміст повітря внаслідок охолодження стержня становить: $L_{нов} = C_{нов} t_{нов} = 1009 \cdot 67 = 67603 \text{ Дж/кг}$ ($C_{нов}$ – теплоємність повітря, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$, $t_{нов}$ – середня температура повітря після охолодження, $^{\circ}\text{C}$). Таким чином, кількість теплоти, яка буде забиратися повітрям від стержня в процесі його охолодження при витраті повітря $M = 0,371 \text{ кг/с}$:

$$Q_{нов} = L_{нов} \cdot M = 67603 \cdot 0,371 = 25081 \text{ Дж/с.} \quad (5)$$

Для перевірки ефективності охолодження центрального стержня необхідно визначити кількість теплоти, яку необхідно відвести від кокіля в процесі його охолодження від моменту заливки форми до моменту вибивки. Для цього скористаємося теплофізичними властивостями алюмінієвого сплаву, з якого виготовляємо виливок і сталі, з якої виготовлено кокіль (табл. 1).

Таблиця 1 – Теплофізичні властивості деяких ливарних сплавів [9]

Матеріал	Теплоємність		Теплопровідність		Густина		Теплота кристал.	Темпера-тура кристал.
	c_m	c_p	λ_m	λ_p	ρ_m	ρ_p	l_k	t_k
	Дж/кг·К		Вт/м·К		кг/м ³		кДж/кг	$^{\circ}\text{C}$
Сталь конструкційна	691	837	29...52	23	7500	7000	268	1480
Алюміній	1089	1290	423	-	2700	2380	389	660

Процес теплової взаємодії металу і форми можна умовно розбити на три періоди: 1) зняття теплоти перегріву металу $Q_{пер}$; 2) кристалізація металу $Q_{кр}$; 3) охолодження відливка до моменту його вибивання $Q_{ох}$.

Теплота перегріву металу:

$$Q_{пер} = c_p \cdot (t_z - t_k) \cdot m = 1290 \cdot (730 - 660) \cdot 10,82 = 977046 \text{ Дж}, \quad (6)$$

де t_z – температура заливки форми, °C,

m – маса металу, що заливається у форму.

Теплота кристалізації металу:

$$Q_{кр} = l_k \cdot m = 389000 \cdot 10,82 = 4208980 \text{ Дж}. \quad (7)$$

Теплота охолодження відливка в твердому стані до моменту його вибивання:

$$Q_{ох} = c_m \cdot T_k \cdot m = 1089 \cdot 933 \cdot 10,82 = 10993520 \text{ Дж}. \quad (8)$$

Тоді:

$$Q_m = Q_{пер} + Q_{кр} + Q_{ох} = 977046 + 4208980 + 10993520 = 16179546, \text{ Дж}. \quad (9)$$

Особливістю технологічного процесу лиття в кокіль є те, що заливка форми відбувається у попередньо підігрітій кокіль. Оскільки при моделюванні було прийнято середню температуру стержня $T_{ст} = 573 \text{ К}$, то, відповідно, його тепловміст також необхідно врахувати. При цьому, тепловміст напівформ враховувати не будемо, оскільки охолоджуються лише центральний стержень. Для визначення маси стержня розраховуємо його масові характеристики в модулі параметричного проектування SolidWorks. Вона складає $m_{ст} = 23,984 \text{ кг}$.

Визначаємо тепловміст центрального стержня:

$$Q_{ст} = c_m \cdot T_{ст} \cdot m_{ст} = 691 \cdot 573 \cdot 23,984 = 9496297 \text{ Дж}. \quad (10)$$

Таким чином, кількість теплоти, яку необхідно відвести з форми в процесі охолодження (без врахування тепловмісту зовнішніх половин кокіля):

$$Q = Q_m + Q_{ст} = 16179546 + 9496297 = 25675843 \text{ Дж}. \quad (11)$$

Згідно з виробничими даними, час охолодження виливка при литті в неохолоджуваній кокіль від моменту заливки до вибивки становить $\tau = 7 \text{ хв.} = 420 \text{ с}$. При тепловмісті охолоджуючого повітря $Q_{нов} = 25081 \text{ Дж/с}$ (формула 5), кількість теплоти, що відводиться повітрям від центрального стержня:

$$Q_{нов}' = Q_{нов} \cdot \tau = 25081 \cdot 420 = 10534020 \text{ Дж}. \quad (12)$$

Тобто, при використанні повітряного охолодження центрального стержня охолоджуючим повітрям при максимальній його витраті відводиться $10534020 \cdot 100 / 25675843 = 41 \%$ теплоти.

Висновки. Проведений аналіз роботи кокіля для виготовлення виливка Корпус НШ100 показав, що при заповненні форми найбільш розігріті нові порції металу зустрічають на своєму шляху центральний стержень і розігрівають його, особливо в нижній частині. Дана обставина перешкоджає процесу направленої затвердіння і може призвести до виникнення дефектів усадкового характеру. Крім того, чим вищою буде температура форми тим повільніше буде кристалізуватись виливок і гіршими будуть його структура і механічні властивості. На основі аналізу існуючих конструкцій і методів охолодження кокілів обґрунтовано спосіб регульованого охолодження

центрального стержня повітрям. Розроблено нову конструкцію центрального стержня, яка забезпечує регульоване повітряне охолодження кокіля шляхом під'єднання центрального стержня через вентиль до пневматичної системи цеху. Розроблено 3D-моделі деталей та складального креслення центрального стержня нової конструкції. Виконано комп'ютерне дослідження потоку повітря в каналах стержня в середовищі SolidWorks Flow Simulation. Результати параметричного моделювання течії повітря в каналах центрального стержня показали максимальну витрату повітря при охолодженні 0,371 кг/с, тепловміст повітря при охолодженні 25081 Дж/с. Оцінка ефективності охолодження розробленої конструкції кокіля показала, що при використанні повітряного охолодження центрального стержня охолоджуючим повітрям при максимальній його витраті відводиться 41 % теплоти. Таким чином, розроблена конструкція охолоджуваного центрального стержня дозволяє підвищити продуктивність процесу лиття, підвищити якість литва за рахунок покращення структури та механічних властивостей виливка, а також підвищити ресурс кокіля. Але отримані результати досліджень мають рекомендаційний характер і потребують практичної перевірки у виробничих умовах.

Список літератури

1. Конончук С.В., Пукалов В.В. Удосконалення технологічного процесу лиття в кокиль алюмінієвих сплавів. *Литво – 2018: XIV Міжнар. наук.-практ. конф. Запоріжжя* : АА Тандем, 2018. С. 119-120.
2. Підвищення продуктивності процесу лиття алюмінієвих сплавів на основі дослідження теплового режиму кокіля / Конончук С.В., Скрипник О.В., Свяцький В.В., Пукалов В.В. *Литво – 2021: XVII Міжнар. наук.-практ. конф. Запоріжжя* : АА Тандем, 2021. С. 107-111.
3. Чуркин Б.С., Чуркин А.Б., Категоренко Ю.И. Специальные способы литья : учебно-методическое пособие. Екатеринбург : Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2012. 189 с.
4. Специальные способы литья : справочник / В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др. ; под общ. ред. В.А. Ефимова. М.: «Машиностроение», 1991. 436 с.
5. Святкин Б.К., Егорова М.Б. Производство отливок в кокили : учеб. для ПТУ. М.: Высш. шк., 1989. 223 с.
6. Казанцев С.П., Фурман Е.Л. Специальные виды литья. Часть 3. Литье в кокиль, классификация металлических форм, конструкции по признакам и разновидностям : учеб. пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2017. 107 с.
7. Дослідження впливу конструкції шлаковловлювача на ефективність затримки шлаку в середовищі параметричного моделювання SolidWorks Flow Simulation / Конончук С.В., Скрипник О.В., Свяцький В.В., Пукалов В.В. *Центральноукраїнський науковий вісник: Технічні науки*. 2020. Вип. 3(34). С. 108-117.
8. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. М.: ДМК Пресс, 2015. 562 с.
9. Сабірязнов Т.Г., Кропівний В.М. Теплотехніка ливарних процесів : навч. посібник для студентів-ливарників. Кіровоград: КНТУ, 2005. 402с.

References

1. Kononchuk, S.V. & Pukalov, V.V. (2018). Udoskonalennia tekhnolohichnoho protsesu lyttia v kokil aliuminiievych splaviv [Improving the technological process of casting aluminum alloys in the chill mold]. *Casting – 2018: 14 Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia – International Scientific and Practical Conference*. (pp. 119 – 120). Zaporizhzhia [in Ukraine].
2. Kononchuk, S.V., Skrypnyk, O.V., Sviatskyi, V.V. & Pukalov, V.V (2021). Pidvyshchennia produktyvnosti protsesu lyttia aliuminiievych splaviv na osnovi doslidzhennia teplovoho rezhymu kokilia [Improving the productivity of the process of casting aluminum alloys based on the investigation of the thermal regime of the chill mold]. *Casting – 2021: 17 Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia – International Scientific and Practical Conference*. (pp. 107 – 111). Zaporizhzhia [in Ukraine].
3. Churkin, B.S., Churkin, A.B. & Kategorenko, Yu.I. (2012). *Spetsialnyye sposoby litia [Special casting methods]*. Ekaterinburg [in Russian].
4. Efimov, V.A., Anisovich, G.A., Babich, V.N. et al. (1991). *Spetsialnyye sposoby litia [Special casting methods]*. V.A. Efimov (Ed.). Moscow: Mashinostroenie [in Russian].

5. Svyatkin, B.K. & Egorova, M.B. (1989). *Proizvodstvo otlivok v kokili [Production of castings in chill molds]*. Moscow: Vyssh. shk. [in Russian].
6. Kazantsev, S.P. & Furman, E.L. (2017). *Spetsialnyye vidy litia. Chast 3. Litye v kokil, klassifikatsiya metallicheskih form, konstruktzii po priznakam i raznovidnostyam [Special types of casting. Part 3. Casting in a chill mold, classification of metal forms, designs by features and varieties]*. Ekaterinburg [in Russian].
7. Kononchuk, S.V., Skrypnyk, O.V., Sviatskyi, V.V. & Pukalov, V.V. (2020). Doslidzhennia vplyvu konstruktzii shlakovlovlivacha na efektyvnist zatrymky shlaku v seredovyshchi parametrychnoho modeliuвання SolidWorks Flow Simulation [Investigation of the Effect of Slag Trap Design on Slag Delay Efficiency in the SolidWorks Flow Simulation parametric Modeling Environment]. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk: Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin: Technical Sciences. Vol. 3(34)*, 108-117 [in Ukraine].
8. Alyamovskiy, A.A. (2015). *SolidWorks Simulation. Inzhenernyy analiz dlya professionalov: zadachi, metody, rekomendatsii [SolidWorks Simulation. Engineering Analysis for Professionals: Tasks, Methods, Recommendations]*. Moscow: DMK Press [in Russian].
9. Sabirzianov, T.H. & Kropivnyi, V.M. (2005). *Teplotekhnika lyvarnykh protsesiv [Heat engineering of foundry processes]*. Kirovohrad: KNTU [in Ukraine].

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

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Improving the Productivity of the Casting Process by Regulating the Thermal Regime of the Chill Mold on a Basis of Computer Investigation of the Air Flow in the Channels of the Casting Core

The most common technology for the manufacture of aluminum parts and blanks is casting in a chill mold. To determine ways to improve casting technology, it is necessary to analyze the possibility of changing the parameters that affect the reduction of production costs (reduction of energy consumption, material consumption, increase productivity) and improve the quality of casting. The thermal regime of the metal form determines the productivity of the process, the duration of curing of the casting, its quality, durability of the chill mold.

The analysis of the work of the chill mold for the manufacture of castings Pump Housing showed that when the forms are filled, the most heated new portions of metal meet on their way to the central core. That is, when pouring the mold, the central core is heated the most, especially in the lower part. This circumstance hinders the process of directed curing and can lead to shrinkage defects. In addition, the higher the temperature of the mold, the slower the casting will crystallize and the worse its structure and mechanical properties will be. Based on the analysis of structures and methods of cooling molds, the method of controlled cooling of the central core by air is substantiated. A new design of the core has been developed, which provides adjustable air cooling of the chill mold by connecting the central core through a valve to the pneumatic system of the shop. 3D-models of details and assembly drawings of the central core of a new design are developed. A computer study of the air flow in the core channels in SolidWorks Flow Simulation was performed. The results of parametric modeling of air flow in the channels of the Central core showed the maximum air flow rate during cooling 0.371 kg / s, the heat content of air when cooled 25081 J / s. Evaluation of the cooling efficiency of the developed chill mold design showed that when using air cooling of the central core with cooling air at its maximum consumption, 41% of heat is removed. Thus, the developed design of the cooled central core allows to increase the productivity of the casting process, improve the quality of casting by improving the structure and mechanical properties of the casting, as well as increase the life of the chill mold.

But the obtained research results are of a recommendatory nature and require practical verification in the production environment. In addition, the simulation did not take into account the change in core temperature due to its heat exchange with the melt. Given all this, there is a need for further study of the effect of regulated air cooling on the thermal regime of the chill mold.

chill mold, casting, directional crystallization, cooling, thermal conductivity, heat capacity, heat flux, 3D-model, computer simulation

Одержано (Received) 23.04.2022

Прорецензовано (Reviewed) 03.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.74

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.51-57](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.51-57)

В.М. Ломакін, доц., канд. техн. наук, **В.М. Кропівний**, проф., канд. техн. наук, **В.В. Пукалов**, доц., канд. техн. наук, **А.В. Кропівна**, доц., канд. техн. наук, **Л.А. Молокост**, викл.

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: vik284333@gmail.com*

Дослідження та порівняльний аналіз зносостійкості литих мелючих тіл з хромистих чавунів

Випробувано мелючі тіла, відлиті з хромистого чавуну в багатомісному кокіллі, на ударно-абразивну зносостійкість і ударостійкість. Для дослідження прийнято три типи хромистих чавунів: низькохромистий (~1% Cr), середньохромистий (до 5% Cr) і високохромистий (ВХБЧ, до 20% Cr). Досліджено макро- і мікроструктуру зазначених сплавів, як матеріалу литих мелючих куль. Встановлено підвищення ударно-абразивної зносостійкості і ударостійкості таких виробів при збільшенні масової частки хрому в чавуні за рахунок утворення в металевій основі карбідів типу $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$ і особливо $(\text{Fe}, \text{Cr})_7\text{C}_3$. Економічно обґрунтовано в якості матеріалу мелючих куль низькохромистий білий чавун.
чавун, розплав, кокілль, куля, легування, хром, зносостійкість, ударостійкість

Постановка проблеми. Потреба гірничо-збагачувальних комбінатів в мелючих тілах (МТ) досить велика. В Україні таку продукцію виготовляють Павлоградський верстатобудівний завод, компанія Energosteel (м. Київ), НВП “Фероліт” (м. Горішні Плавні) та інші. Багато сучасних розробок по виробництву литих чавунних МТ було випробувано на Криворізькому центральному рудоремонтному заводі. Проте, незважаючи на досить велику кількість підприємств, все ще існує дефіцит таких виробів через швидкий їх знос в мелючих млинах [1].

Для ефективного розмелювання порід загальновідомо, що найкращою формою МТ є сферична. Зазвичай мелючі кулі (МК) виготовляють катаними із сталі діаметром 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100 і 120 мм. При подрібненні порід МК падають в мелючих млинах з висоти 2,7–3,8 м. Це є причиною їх ударно-абразивного зносу. Крім того, розмелювання більшості гірських порід, які є досить жорстким абразивним середовищем, викликає інтенсивне абразивне стирання МК. Отже, матеріал МК має бути твердим і в'язким [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сталеві МК з підвищеним вмістом вуглецю порівняно дорогі і мають нерівномірну по об'єму твердість. В сталевій катаній кулі Ø60 мм твердість зменшується від зовнішньої поверхні до центру від 500 НВ до 150 НВ, а основна маса металу має твердість 300 НВ. Низька зносостійкість таких виробів призводить до великих безповоротних втрат металу, а витрата сталевих катаних куль досягає 5 кг на 1 т розмелювальної руди.

Чавунні литі МК вдвічі дешевші сталевих. В кулі з білого чавуну Ø60 мм твердість зменшується від зовнішньої поверхні до центру від 500 НВ до 350 НВ, а основна маса металу має твердість 400 НВ. Одним з вагомих факторів, який обумовлює формування вибіленого шару в чавуні, є низька масова частка кремнію в його складі.

При збільшенні вмісту кремнію вище 1,2% знос МК підвищується, а твердість знижується [3, 4].

Основними недоліками нелегованого або низьколегованого білого чавуну є порівняно висока крихкість і відносно низькі ударна в'язкість і міцність. При цьому не слід ігнорувати важливе питання дешевизни використання саме цього матеріалу в порівнянні з іншими.

За кордоном для виготовлення відповідальних деталей, що працюють в умовах інтенсивного абразивного впливу і високих ударних навантажень застосовують середньолегований чавун Ніхард (до 5% Ni). Деталі з такого матеріалу працюють як мінімум вдвічі довше в порівнянні зі сталлю 110Г13Л [5]. Проте, в нашій країні, у зв'язку з дорожнечою нікелю такий матеріал не знайшов широкого використання.

В Україні і країнах ближнього зарубіжжя це питання отримало розвиток у напрямку використання марганцевих і високохромистих чавунів. Марганець, на даний час, є одним із самих дешевих карбідоутворюючих елементів. Карбіди цементитного типу $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ здатні чинити значний опір зношуванню металу. Разом з цим, ледебурит в структурі визиває зниження пластичності, в'язкості і підвищує схильність до утворення і розповсюдження тріщин [6, 7, 8].

Відома висока ефективність застосування високохромистого білого чавуну (ВХБЧ) з мертенситно-аустенітною металевою основою і спеціальними карбідами в структурі. Збільшення вмісту хрому в чавуні від 0 до 30% сприяє підвищенню зносостійкості. В сприятливому напрямку змінюється і тип карбідів $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C} \rightarrow (\text{Fe}, \text{Cr})_7\text{C}_3 \rightarrow (\text{Fe}, \text{Cr})_{23}\text{C}_6$. При цьому відомо, що максимум зносостійкості можна досягти певним зменшенням вмісту вуглецю [9, 10]. Останніми дослідженнями показана висока ефективність застосування для литих МК хромомарганцевих і хромомолібденових чавунів, таких як ІЧХ4Г7, ІЧХ12Г5, ІЧХ12Г3М, ІЧХ15Г4, ІЧХ12М, ІЧХ15МЗ, ІЧХ16МТ та інших [11].

Незважаючи на вищевикладене ВХБЧ поки що не знаходить широкого застосування в якості основного матеріалу для МК. Висока вартість феросплавів і великі енергетичні витрати при виплавці ВХБЧ являють собою значну перепону.

Постановка завдання. Задача дослідження полягала у визначенні раціонального, економічно обґрунтованого, хімічного складу хромистого чавуну для забезпечення високої ударно-абразивної зносостійкості литих мелючих куль.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження ударно-абразивної зносостійкості литих чавунних куль в даній роботі прийнято три типи сплавів: 1) низьколегований хромистий чавун (<1% Cr); 2) легований чавун типу Ніхард (або ІЧХ4Г7) з вмістом хрому до 5%, але без нікелю і значних добавок марганцю; і 3) високохромистий чавун типу ІЧХ15МЗ, ІЧХ16МТ з вмістом хрому до 20%.

Сплави виплавлялись в індукційній печі середньої частоти, типу ІЧТ, з основною футеровкою на чистому чушкового чавуні і сталевому низьковуглецевому брукті. Рідкий чавун піддавали легуванню середньовуглецевим ферохромом, марки ФХ200А. Температура випуску чавуну становила 1500°C.

Легування розплаву хромом у невеликій кількості, до рівня 0.8-1% Cr, здійснювали в ковші. При більш високому вмісту в чавуні хрому легування проводили в індукційній печі. У табл. 1 наведено хімічний склад відлитих дослідних чавунів.

Таблиця 1 – Хромисті чавуни

Тип сплаву	Хімічний склад, %					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
A	3,22	1,03	0,34	0,11	0,07	0,81
B	2,72	0,85	0,65	0,10	0,13	4,65
C	2,81	0,93	0,9	0,09	0,11	18,48

Джерело: розроблено авторами

В якості чавуну А був прийнятий типовий сплав, що використовується при виробництві мелючих куль і циліндрів на багатьох заводах. Склад чавунів типу В і С був прийнятий здебільшого як експериментальний.

Мелючі тіла відливали в багатомісних кокілях. Із отриманих виливків електроерозій-ним методом, що не викликає розігріву в зоні різання металу, вирізались зразки в радіальному напрямку, у вигляді паралелепіпедів і виготовлялися шліфи.

Металографічні дослідження чавунних куль проводились на нетравлених і травлених шліфах. На травлених шліфах при збільшенні в 500 разів досліджувалася мікроструктура металевої основи чавуну.

Дослідження макроструктури у виливку діаметром 60 мм показало, що при невеликому вмісті хрому (менше 0,15%) при кристалізації утворюється половинчастий чавун з вибіленим поверхневим шаром (рис. 1). Величина шару залежить від швидкості затвердіння [12, 13, 14]. При вмісті хрому в металі більше 0,3% домішки структурно вільного графіту відсутні по всьому перерізу виливки діаметром 60 мм.



Рисунок 1 – Злом кулі Ø60 мм (0,1 % Cr)

Джерело: розроблено авторами

Дослідження мікроструктури проводили на мікротвердомірі РМ-6 OLYMPUS науково-виробничої фірми Shimadzu (Японія). Тип хромистих карбідів і металевої основи визначали тепловим травленням і рентгеноспектральним аналізом.

Встановлено, що мікроструктура чавуну А перліто-ледебуритна. Карбідна фаза представлена легованим цементитом ($(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$) (рис. 2).



Рисунок 2 – Мікроструктура білого чавуну (0,81% Cr) $\times 500$

Джерело: розроблено авторами

Поверхнева зона виливки кулі має мілкодисперсну перліто-цементитну структуру. При збільшенні вмісту хрому дисперсність структури підвищується. При переході від поверхневої до центральної зони структура стає грубішою, змінюється кількісне співвідношення між структурними складовими. В цілому структура має так звану сотову будову, що свідчить про високу чистоту сплаву, зокрема про відносно низький вміст сірки і фосфору.

Всі дослідні зразки куль з вмістом у металі ~5% Cr мають структуру білого чавуну, що складається із ледебуриту і пластинчастого перліту (рис. 3). Середня мікротвердість евтектики становить ~763 Нц, перліту – 450-763 Нц, карбідів – ~1135 Нц. Звертає на себе увагу в такій структурі порівняно висока твердість легованого перліту.



Рисунок 3 – Мікроструктура легованого чавуну (4,65% Cr) $\times 500$

Джерело: розроблено авторами

Мікроструктура високохромистого чавуну С (табл. 1) складається з аустеніто-карбідної евтектики на основі спеціального карбіду хрому $(Cr, Fe)_7C_3$, окремих ділянок троосто-мартенситу з мікротвердістю 644-750 Нц та дрібних вторинних карбідів. Середня мікротвердість евтектики становить ~790 Нц, карбідів типу $(Cr, Fe)_7C_3$ – 1620-1854 Нц. Ділянки троосто-мартенситу мають колоподібну в полі зору шліфа форму (рис. 4).

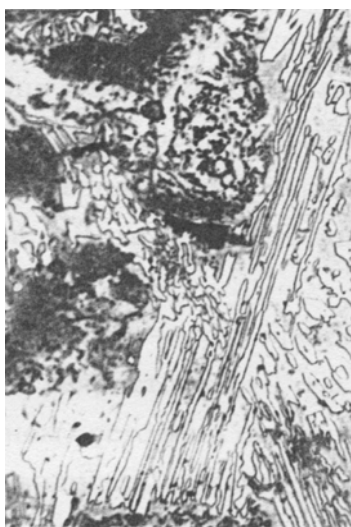


Рисунок 4 – Мікроструктура високохромистого чавуну (18,48% Cr) $\times 500$

Джерело: розроблено авторами

В центральній зоні кулі спостерігається мікропористість, а в поодиноких випадках концентрована усадкова раковина, що пов'язано з особливостями кристалізації кулі (рис 5). Зовнішня поверхня виливки формується в кокilі без явних дефектів. В місці спряження ливника з виливком усадкові дефекти не спостерігаються (рис. 6).



Рисунок 5 – Злом кулі Ø60 мм (18,48% Cr)
Джерело: розроблено авторами

Рисунок 6 – Мелюча куля Ø60 мм (0,81% Cr)
Джерело: розроблено авторами

В табл. 2 приведені значення твердості чавуну на різній відстані від поверхні виливки.

Таблиця 2 – Твердість чавунної кулі Ø60 мм

Тип чавуну	Твердість чавуну, HV на відстані від поверхні кулі, мм				HRC на поверхні кулі
	5	10	20	30	
A	587	528	528	490	52
B	644	644	593	537	54
C	473	441	441	412	42

Джерело: розроблено авторами

Зносостійкість чавунів визначали на зразках, вирізаних з куль в радіальному напрямку. Випробування проводили в лабораторному млині. Зразки зважували, завантажували в млин разом з подрібнюваним середовищем, що складалося із суміші щебеню і води, і випробували на протязі 10 годин. Знос визначали зважуванням зразків через кожні дві години. Відносну зносостійкість визначали як відношення втрати маси зразка із сталі Ст.5, вирізаного в радіальному напрямку із катаної кулі, до середньої втрати маси зразків із дослідного сплаву.

Динамічну міцність мелючих куль досліджували на механізованому копрі за стандартною методикою [15]. При таких випробуваннях по мелючій кулі наносився удар бойка масою 50 кг, що падав з висоти 0,5 м. з частотою 10 уд/хв. Ударостійкість визначали по середній кількості ударів, витриманих мелючою кулею до руйнування. Результати випробувань приведено у табл. 3.

Таблиця 3 – Експлуатаційні характеристики чавунних куль Ø60 мм

Тип сплаву	Середня твердість, HRC	Відносна абразивна зносостійкість	Ударостійкість
A	45	1,25	50
B	50	2,15	75
C	42	2,42	129

Джерело: розроблено авторами

Згідно з отриманими даними зносостійкість чавуну В перевищує зносостійкість чавуну А в 1,72 рази (72 %); зносостійкість чавуну С перевищує зносостійкість чавуну А в 1,94 рази (94 %). Ударостійкість чавуну В перевищує ударостійкість чавуну А в

1,50 рази (50 %); ударостійкість чавуну С перевищує ударостійкість чавуну А в 2,58 рази (158 %).

Висновки. Результати проведених досліджень ударно-абразивної зносостійкості і ударостійкості литих чавунних мелючих куль вказують, що 20-и кратне перевищення вартості ВХБЧ саме по хрому перед низькохромистим чавуном є занадто великою платою. В умовах сьогодення, низькохромистий білий чавун є економічно обґрунтованим матеріалом для литих мелючих тіл.

Список літератури

1. Крутилин А. Н., Бестужев Н. И., Бестужев А. Н., Каленкович Д. Н. Мелющие тела. Проблемы. Перспективы. *Литье и металлургия*. 2009. Вып. 4 (53). С. 26-33.
2. Цыпин И. И. Износостойкие отливки из белых легированных чугунов. М.: НИИмаш, 1983.
3. Владимирова А. А., Косоногова Э. А., Удовиков В. И., Карпенко В. Ф. Литые мелющие шары из чугуна. *Литейное производство*. 1988. Вып. 11. С. 27-28.
4. ЩербакOVA В. М., Удовиков В. И., Бутко Н. И., Соболев А. Н., Киковка Е. И. Износостойкий чугун для оливок мелющих цилиндров. *Литейное производство*. 1981. Вып. 4. С. 24.
5. Гарбер М. Е. Износостойкие белые чугуны: свойства, структура, технология, эксплуатация. М.: Машиностроение, 2010. 280 с.
6. Поддубный А. Н., Сакало В. И., Жарков В. Я., Кульбовский И. К., Игнатенко Ю. В., Михайлов Н. Н. Влияние строения литых шаров из белого чугуна на его прочность. *Литейное производство*. 1994. Вып. 8. С. 10-12.
7. Поддубный А. Н., Александров Н. Н., Кульбовский И. К., Жарков В. Я. Изготовление литых чугунных мелющих шаров. *Литейное производство*. 1994. Вып. 8. С.8-10.
8. Поддубный А. Н. Мелющие шары из чугуна, изготовленные кокильным литьем. *Литейное производство*. 1998. Вып. 1. С.8-11.
9. Кириевский Б. А., Изюмова Т. К. Хромистые чугуны. Перспективы совершенствования их структуры и свойств. *Процессы литья*. 1993. Вып. 4. С. 115-124.
10. Лучкин В. С., Пирогова Э. К., Леско А. Г. Влияние углерода и марганца на износостойкость хромистых чугунов. *Литейное производство*. 1988. Вып. 4. С. 23.
11. Солёный В., Пыхтин Я., Владимирова А., Косоногова Э. Производство и использование мелющих тел из высоколегированного чугуна. *Промышленность Казахстана*. 2013. №5(80). С. 48-50.
12. Бестужев Н. И., Королев С. П. Графитизированный белый чугун – перспективный материал для мелющих тел. *Литейное производство*. 1999. Вып. 3. С. 20-21.
13. Ломакін В.М., Клименко В.В., Пукалов В.В., Ломакін А.В. Дослідження впливу кінетики кристалізації на властивості кокильних виливків чавунних цильпібсів. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету*. 2016. Вип. 29. С. 132-139.
14. Ломакін В.М., Клименко В.В., Пукалов В.В., Кузик О.В., Дубоделов В.І., Горюк М.С. Дослідження процесу затвердіння та прогнозування структури литих чавунних молотильних тіл. *Збірник наукових праць Центральноукраїнського національного технічного університету*. 2018. Вип. 31. С. 66-74.
15. Ломакін В.М., Молокост Л.А. Ударостійкий чавун для молотильних тіл. *Збірник наукових праць Центральноукраїнського національного технічного університету*. 2020. Вип. 3 (34). С. 65-72.

References

1. Krutinin, A.N., Bestugev, N.I., Bestugev, A.N. & Kalenkovich, D.N. (2009). Melyushchie tela. Problemy. Perspektivy [Grinding bodies. Problems. Perspectives]. *Litje i metallucyrgia*, Vol. 4 (53), 26-33 [in Russian].
2. Cypin, I.I. (1983). *Iznosostojkie otlivki iz belyh legirovannyh chugunov* [Wear-resistant white cast iron castings]. *NIImash* [in Russian].
3. Vladimirova, A.A., Kosogonova, E.A., Udovikov, V.I. & Karpenko, V.F. (1988). Litye melyushchie shary iz chuguna [Cast iron grinding balls]. *Litejnoe proizvodstvo*, Vol. 11, 27-28 [in Russian].
4. Shcherbakova, V.M., Udovikov, V.I., Butko, N.I., Sobolev, A.N. & Kikovka, E.I. (1981). Iznosostojkij chugun dlya otlivok melyushchih cilindrov [Wear resistant cast iron for olives grinding cylinders]. *Litejnoe proizvodstvo*, Vol. 4, 24 [in Russian].
5. Garber M. E. (2010). *Iznosostojkie belye chuguny: svoystva, struktura, tehnologiya, ekspluatatsiya* [Wear-resistant white cast irons: properties, structure, technology, operation]. Moscow: Mashinostroyenie [in Russian].

6. Poddubnyj, A.N., Sakalo, V.I., Zharkov, V.Ya., Kulybovskij, I.K., Ignatenko, Yu.V. & Mikhailov, N.N. (1994). Vliyanie stroeniya lityh sharov iz byelogo chuguna na yego prochnost' [The influence of the structure of cast balls of white cast iron on its strength]. *Litejnoe proizvodstvo*, Vol. 8, 10-12 [in Russian].
7. Poddubnyj, A.N., Alexandrov, N.N., Kul'bovskij, I.K. & Zharkov, V.Ya. (1994). Izgotovlenie lityh chugunnyh melyushchih sharov [Cast iron grinding balls]. *Litejnoe proizvodstvo*, Vol. 8, 8-10 [in Russian].
8. Poddubnyj, A.N. (1998). Melyushchie shary iz chuguna, izgotovlennye kokil'nym litjem [Making cast iron grinding balls, made by chill casting]. *Litejnoe proizvodstvo*, Vol. 1, 8-11 [in Russian].
9. Kirievskij, B.A. & Izyumova, T.K. (1993). Hromistye chuguny. Perspektivy sovershenstvovaniya ih struktury i svoystv [Chrome cast iron. Prospects for improving their structure and properties]. *Processy litja*, Vol. 4, 115-124 [in Russian].
10. Luchkin, V.S., Pirogova, E.K. & Lesko, A.G. (1988). Vliyanie ugleroda i marganca na iznosostojkost' hromistyh chugunov [The effect of carbon and manganese on the wear resistance of chromium cast irons]. *Litejnoe proizvodstvo*, Vol. 4, 23 [in Russian].
11. Soljennyj, V., Pyhtin, Ja., Vladimirova, A. & Kosogonova, E. (2013). Proizvodstvo i ispol'zovanie melyushchih tel iz vysokolegirovannogo chuguna [Production and use of grinding media from high-alloy cast iron]. *Promyshlennost' Kazahstana*, Vol. 5 (80), 48-50 [in Russian].
12. Bestuzhev, N.I. & Korolev, S.P. (1999). Grafitizirovannyj belyj chugun – perspektivnyj material dlya melyushchih tel [Graphitized white cast iron - a promising material for grinding bodies]. *Litejnoe proizvodstvo*, Vol. 3, 20-21 [in Russian].
13. Lomakin, V.M., Klymenko, V.V., Pukalov, V.V. & Lomakin, A.V. (2016). Doslidzhennya vplyvu kinetyky krystalizacii na vlastyosti kokil'nyh vylyvkiv chavunnyh cyl'pebsiv [Investigation of the effect of crystallization kinetics on the properties of chill castings of cast iron grinding bodies]. *Zbirnyk naukovykh prac' Kirovohrads'koho nacional'noho tekhichnoho universytetu*, Vol. 29, 132-139. [in Ukraine].
14. Lomakin, V.M., Klymenko, V.V., Pukalov, V.V., Kuzyk, O.V., Dubodelov, V.I. & Goryuk, M.S. (2018). Doslidzhennya procesu zatverdinnya ta prognozuvannya struktury lityh chavunnyh molol'nyh til [Investigation of the process of solidification and prediction of the structure of cast iron grinding bodies]. *Zbirnyk naukovykh prac' Central'noukrains'koho nacional'noho tekhichnoho universytetu*. Vol. 31, 66-74. [in Ukraine].
15. Lomakin, V.M. & Molokost, L.A. (2020). Udarostijky chavun dlya molol'nyh til [Research and comparative analysis of wear resistance of cast grinding media from chromium cast irons]. *Zbirnyk naukovykh prac' Central'noukrains'koho nacional'noho tekhichnoho universytetu*. Vol. 3 (34), 65-72. [in Ukraine].

Viktor Lomakin, Assos. Prof., PhD in tech. sci., **Volodymyr Kropivnyi**, Prof., PhD in tech. sci., **Viktor Pukalov**, Assos. Prof., PhD in tech. sci., **Olena Kropivna**, Assos. Prof., PhD in tech. sci., **Lyudmyla Molokost**, lecturer

Central Ukrainian National University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Research and Comparative Analysis of Wear Resistance of Cast Grinding Media From Chromium Cast Irons

A study was made of the impact-abrasive wear resistance and impact resistance of grinding bodies cast in a multi-place mold. Three types of chromium cast irons were adopted for the study: low chromium (~1% Cr), medium chromium (up to 5% Cr) and high chromium (up to 20% Cr). The macro- and microstructure of these alloys as a material for cast grinding balls has been studied. Installed an increase in the impact-abrasive wear resistance and impact resistance of such products with an increase in the mass fraction of chromium in cast iron due to the formation of carbides of the $(Fe, Cr)_3C$ and especially $(Fe, Cr)_7C_3$. Balls were cast in multi-seat chill molds.

Cast iron was smelted in a medium-frequency induction furnace, such as IChT, with the main lining on a charge of pure pig iron and steel low-carbon scrap. The temperature of cast iron production was 1500 °C. Liquid cast iron was subjected to alloying with medium carbon ferrochrome.

The wear resistance of cast irons was determined on samples cut from balls in the radial direction. The tests were performed in a laboratory mill. When tested for impact resistance, the grinding ball received a striking blow of mass 50 kg, falling from a height of 0,5 m. The frequency of application of dynamic loads was 10 beats per minute. Impact resistance was determined by the average number of impacts sustained by the grinding body prior to destruction.

Nevertheless, significant excess of the cost high-chromium over low-chromium cast iron forces us to agree with the opinion of the majority of researchers and the practice of production of such metal products. In today's conditions, low-chromium white cast iron is an economically viable material for grinding media.

cast iron, melt, chill mold, ball, alloying, chromium, wear resistance, shock resistance

Одержано (Received) 13.04.2022

Прорецензовано (Reviewed) 29.04.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 621.787.4

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.58-63](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.58-63)

М.М. Студент, пров. наук. співр., проф., д-р техн. наук, **І.М. Погрелюк**, проф., д-р техн. наук

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

С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

В.М. Гвоздецький, ст. наук. співр., канд. техн. наук, **Х.Р. Задорожна**, наук. співр., канд. техн. наук

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

В.І. Топчій, доц., канд. техн. наук

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

e-mail: student.phmi@gmail.com, irynapohrelyuk@gmail.com, e-mail: marko60@ukr.net;

e-mail: gvosdetcki@gmail.com, 880988@ukr.net, vladyslav.i.topchii@lpnu.ua

Підвищення абразивної зносостійкості алюмінієвих ливарних сплавів Al-Si АК-9 та АК-12 плазмо-електролітною обробкою

Досліджено структуру, мікротвердість та абразивну зносостійкість алюмінієвих ливарних сплавів Al-Si АК-9 та АК-12 силумінів. Фазовий аналіз показав, що оксидний ПЕО шар складається із двох оксидних фаз $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$, $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ та силікатної фази Al_2SiO_3 . Кремній є присутній у структурі оксидного шару проте його є менше ніж у структурі силумінів. Встановлено, що в процесі плазмо-електролітної обробки кремній розчиняється у лужному електроліті. Показано, що плазмоелектролітна обробка силумінів АК-9 та АК-12 підвищує їх мікротвердість до 1000 ...1300 HV, це спричиняє підвищення їх абразивної зносостійкості у 14...57 разів. Додаток в електроліт перекису водню H_2O_2 у кількості 3% мас. підвищує абразивну зносостійкість силумінів після плазмоелектролітної обробки ще на 30...70%. Це зумовлено збільшенням оксидних фаз та зменшенням силікатної фази Al_2SiO_3 у структурі покриття.

плазмо-електролітне оксидування, алюмінієві ливарні сплави, оксидні шари, зносостійкість

Постановка проблеми. Алюмінієві ливарні сплави використовуються на машинобудівних, автомобільних, авіаційних, електротехнічних та текстильних підприємствах. Однак алюмінієві сплави мають низьку абразивну зносостійкість, що суттєво стримує їх застосування у технологічних середовищах, де є наявні абразивні частинки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений огляд літературних джерел показав, що для підвищення зносостійкості алюмінієвих сплавів найчастіше використовують гальванічне хромування [1], газотермічне нанесення покриттів [2, 3], плазмо-електролітне оксидування (ПЕО) та тверде анодування (Hard Anodic Coatings). Метод гальванічного хромування екологічно небезпечний через використання канцерогенних та екологічно небезпечних електролітів. Метод твердого анодування (Hard Anodic Coatings) технологічно простий та відносно дешевий й починає широко використовуватись у промисловості, однак має суттєві недоліки, а саме: покриття мають низьку твердість (≤ 500 HV) та зносостійкість [4]. Метод плазмо-електролітного оксидування ПЕО на алюмінієвих сплавах забезпечує високу твердість до 2000 HV, низький коефіцієнт тертя, високу адгезію до металевої основи, високу екологічну

чистоту [5]. Однак цей метод не дозволяє синтезувати оксидні шари із високою абразивною зносостійкістю на ливарних сплавах - силумінах. ПЕО шари синтезовані на найбільш широкоживаних Al-Si ливарних сплавів мають суттєві недоліки: мала швидкість синтезу оксидокерамічного шару - 0,5 - 1 мкм/хв., мала товщина-до 140 мкм, низька мікротвердість (700-1000 HV) та низька абразивна зносостійкість [6,7].

Постановка завдання Синтезувати оксидні ПЕО шари на поверхні зразків із ливарних алюмінієвих сплавів АК9 та АК12. Дослідити мікроструктуру ПЕО шарів, зміну їх мікротвердості в залежності від складу електроліту в процесі плазмо-електролітної обробки, синтезованих на поверхні ливарних алюмінієвих сплавів та дослідити їх абразивну зносостійкість закріпленим абразивом.

Виклад основного матеріалу. Матеріали та методи досліджень. ПЕО шари синтезували на поверхні пластин 30x30 мм товщиною 4 мм із алюмінієвих ливарних сплавів АК-9 (9% Si) та АК-12 (12% Si) в електроліті – 3 г/л KOH + 2 г/л Na₂SiO₃ (водний розчин рідкого скла) без та з додатком в електроліт 3 г/л перекису водню H₂O₂, імпульсним струмом за частоти 50 Гц у катодно-анодному режимі при співвідношенні струмів (I_k/I_a) = 1 та густини струму 20 А/дм². Товщина покриттів після синтезу на протязі 120 хв була 120 -130 мкм.. [4]. Металографічні дослідження проводили на скануючому електронному мікроскопі ZEISS EVO 40XVP з системою рентгенівського мікроаналізу INCA Energy. Фазовий склад поверхневих шарів досліджували за допомогою дифрактометра DRON-3М у Cu-K-випромінювання.

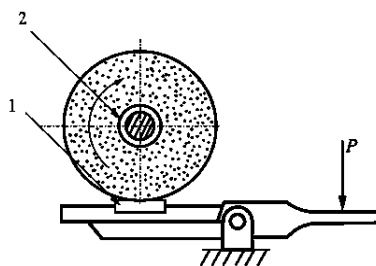
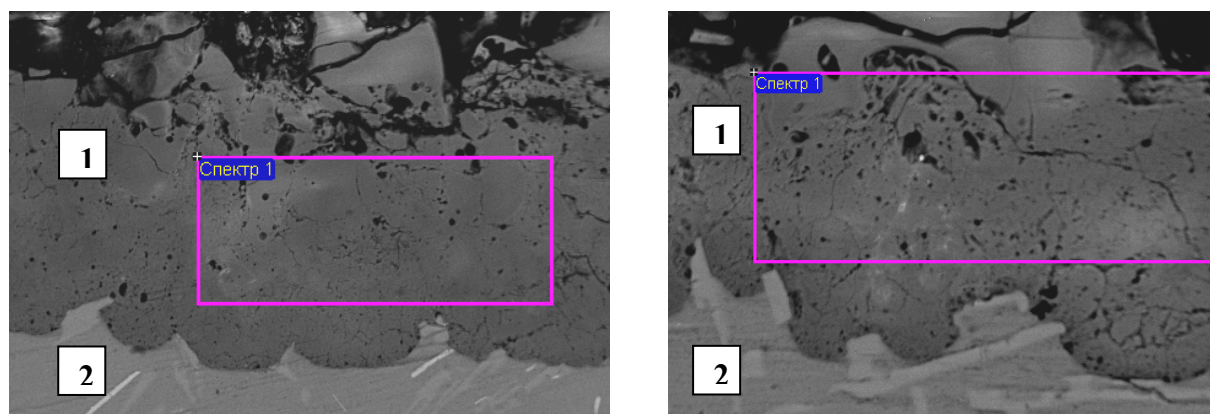


Рисунок 1 – Схема випробування на абразивний знос за використання абразивного диска (1 зразок, 2 абразивний круг)

Джерело: розроблено авторами

Абразивну зносостійкість закріпленим абразивом визначали за допомогою абразивного диска (рис. 2б) діаметром 150 mm і шириною 8 mm, виготовленого з електрокорунду із розміром зерна 250 - 315 мкм, частота обертання диска 160 г/хв, навантаження в зоні лінійного контакту 15 Н. Знос зразків оцінювали за втратою маси на електронній вазі KERN ABJ 220 4M з точністю до $2 \cdot 10^{-4}$ g. Мікротвердість ПЕО шарів визначали за використання приладу ПМТ-3. Структуру оксидних шарів досліджено у характеристичному випромінюванні BSD на електронному мікроскопі EVO 40 XVP. Фазовий аналіз оксидних шарів виконано на рентгенівському дифрактометрі BRUKER D8 DISCOVER.

Структура плазмо-електролітних шарів на силумінах. Фазовий аналіз показав, що оксидний ПЕО шар складається із двох оксидних фаз α -Al₂O₃, γ Al₂O₃ та силікатної фази силіманіту- Al₂O₃•SiO₂. Кремній є присутній у структурі оксидного шару проте його є менше ніж у структурі силумінів. Очевидно, що в процесі плазмо-електролітної обробки кремній розчиняється у лужному електроліті. Причому із силуміну АК12 кремній розчиняється у більшій мірі ніж із силуміну АК9 рис. У структурі ПЕО шару спостерігаються мікротріщини та пори. Це зумовлено швидким охолодженням зони розрядних каналів в процесі синтезу оксидного шару. Верхній шар оксидного шару як правило є більш дефектним ніж нижній шар.



Елемент	Мас. %
O K	52.39
Al K	41.56
Si K	5.39
K K	0.65
сума	100.00

1-ПЕО шар, 2-основа силумін АК-9

Елемент	Мас. %
O K	51.12
Al K	42.17
Si K	5.42
K K	1.28
сума	100.00

1-ПЕО шар, 2-основа силумін АК-12

Рисунок 2 – Структура плазмо-електролітних шарів на силумінах
Джерело: розроблено авторами

Абразивна зносостійкість ПЕО шарів. ПЕО шари на силумінах мають мікротвердість на рівні 1000-1300HV (рис.3) однак ця твердість є суттєво меншою за мікротвердість, яку мають ПЕО шари синтезовані на сплавах Al-Cu. Так до прикладу мікротвердість ПЕО шару синтезованого на алюмінієвому сплаві Д16 становить 1600...1800 HV. Ми пов'язуємо малу мікротвердість ПЕО шарів на силумінах із синтезом у структурі ПЕО шарів фази силіманіту- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, яка має низьку мікротвердість.

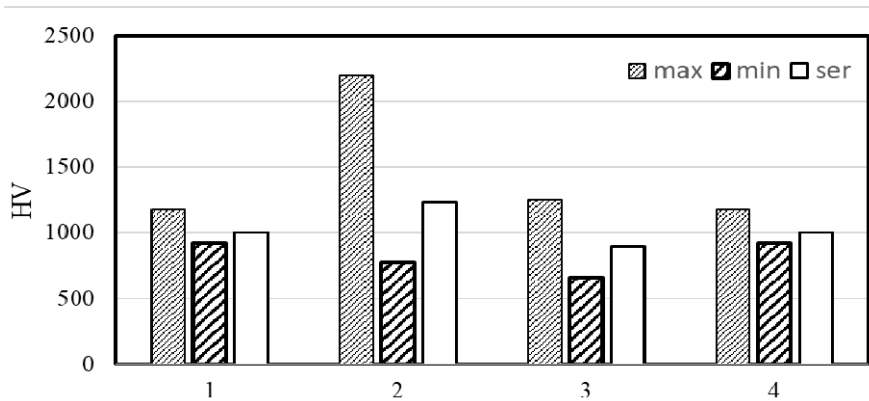


Рисунок 3 – Мікротвердість ПЕО шарів синтезованих на сплавах алюмінію
1-сплав АК9 (електроліт 3 g/l KOH + 2 g/l Na_2SiO_3),
2-сплав АК9 електроліт 3 g/l KOH + 2 g/l Na_2SiO_3 + 3г/л H_2O_2),
3 сплав АК12 (електроліт 3 g/l KOH + 2 g/l Na_2SiO_3),
4-сплав АК12 електроліт 3 g/l KOH + 2 g/l Na_2SiO_3 + 3г/л H_2O_2)

Джерело: розроблено авторами

Плазмо-електролітна обробка силумінів суттєво підвищує їх абразивну зносостійкість (рис.4). Так зносостійкість сплаву АК-9 після плазмоелектролітної обробки зростає у 57 разів, а зносостійкість сплаву АК-12 у 14 разів. Додаток в електроліт перекису водню H_2O_2 у кількості 3% мас. підвищує абразивну зносостійкість

силумінів після плазмоелектролітної обробки ще на 30...70%. Це зумовлено збільшенням оксидних фаз $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$, $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ та зменшенням силікатної фази силіманіту- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ у структурі покриття.

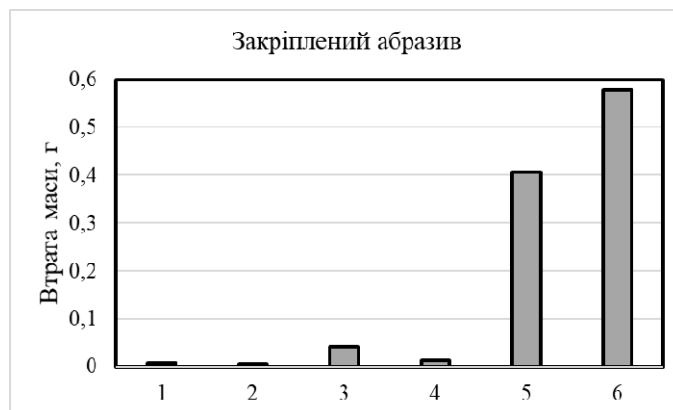


Рисунок 4 – Абразивна зносостійкість ПЕО шарів синтезованих на сплавах алюмінію (табл.1)
Джерело: розроблено авторами

Таблиця 1 – Зносостійкість сплавів АК-9 (5) та АК-12 (6) та ПЕО шарів синтезованих на сплавах АК9(1,2) та АК12 (3,4).

Позначення сплавів та їх обробки на рис.4	Марка силуміну, (склад електроліту)	Знос, г
1	АК-9 (3 g/l KOH + 2 g/l Na ₂ SiO ₃)	0,0071
2	АК-9 (3 g/l KOH + 2 g/l Na ₂ SiO ₃ + 3г/л H ₂ O ₂)	0,0051
3	АК-12 (3 g/l KOH + 2 g/l Na ₂ SiO ₃)	0,0418
4	АК-12 (3 g/l KOH + 2 g/l Na ₂ SiO ₃ + 3г/л H ₂ O ₂)	0,0134
5	АК-9 вихідний сплав	0,4065
6	АК-12 вихідний сплав	0,578

Висновки:

1. Плазмо-електролітна обробка силумінів АК-9 та АК-12 підвищує їх мікротвердість до 1000 ...1300 HV, це спричиняє підвищення їх абразивної зносостійкості у 14...57 разів.

2. Додаток в електроліт перекису водню H₂O₂ у кількості 3% мас. підвищує абразивну зносостійкість силумінів після плазмоелектролітної обробки ще на 30...70%. Це зумовлено збільшенням вмісту оксидних фаз $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$, $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ та зменшенням вмісту силікатної фази силіманіту- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ у структурі покриття.

Список літератури

1. Bazaluk, O., Dubei, O., Ropyak, L., Shovkoplias, M., Pryhorovska, T., Lozynskyi, V. (2022) Strategy of compatible use of jet and plunger pump with chrome parts in oil well . *Energies*, 15 (1), art. no. 83, DOI: 10.3390/en15010083
2. Improvement of wear resistance of aluminum alloy by HVOF method. V. Hutsaylyuka, M. Student, Kh. Zadorozhna, O. Student, H. Veselivska, V. Gvosdetskii, P. Maruschak, H. Pokhmurska . *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. Vol. 9, Iss. 6. P. 16367–16377, doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.11.102 .
3. The Effect of Increasing the Air Flow Pressure on the Properties of Coatings during the Arc Spraying of Cored Wires / Student M., Gvozdetzky V., Student O., Prentkovskis O., Maruschak P., Olenyuk, O., Titova, L. *Strojnický Casopis* this link is disabled, 2019, 69(4), pp. 133–146, DOI: 10.2478/scjme-2019-0048

4. Effects of anodizing conditions and the addition of Al_2O_3 /PTFE particles on the microstructure aluminium alloy / Michaela Remešová, Serhii Tkachenko, Daniel Kvarda, Ivana Ročňáková, Bernhard Gollas, Melita Menelaou, Ladislav Čelko, Jozef Kaise . *Applied Surface Science*, Vol. 513, 30 May 2020, 145780. doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145780
5. Plasma electrolytic oxidation coatings with particle additions – A review / Xiaopeng Lu , Marta Mohedano, Carsten Blawert, Endzhe Matykina, Raul Arrabal, Karl Ulrich Kainer, Mikhail L. Zheludkevich. *Surface and Coatings Technology*. Vol. 307, Part C, 15 December 2016, P. 1165–1182. doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.08.055
6. A.B. Rogov, H. Lyu, A. Matthews, A. Yerokhin, AC plasma electrolytic oxidation of additively manufactured and cast AlSi12 alloys, *Surf. Coat. Technol.* 399 (2020), 126116, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126116>.
7. K. Li, W. Li, G. Zhang, W. Zhu, F. Zheng, D. Zhang, M. Wang, Effects of Si phase refinement on the plasma electrolytic oxidation of eutectic Al-Si alloy, *J. Alloys Compd.* 790 (2019) 650–656, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.03.217>.

References

1. Bazaluk, O., Dubei, O., Ropyak, L., Shovkoplias, M., Pryhorovska, T., Lozynskyi, V. (2022). Strategy of compatible use of jet and plunger pump with chrome parts in oil well . *Energies*, 15 (1), art. no. 83, DOI: 10.3390/en15010083 [in English].
2. Hutsalyuka, V., Student, M., Zadorozhna, Kh., Student, O., Veselivska, H., Gvosdetskii, V. et al. (2020). Improvement of wear resistance of aluminum alloy by HVOF method . *Journal of Materials Research and Technology*. Vol. 9, Iss. 6. P. 16367–16377, //doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.11.102 . [in English].
3. Student M., Gvozdetzky V., Student O., Prentkovskis O., Maruschak P., Olenyuk, O., Titova, L. (2019). The Effect of Increasing the Air Flow Pressure on the Properties of Coatings during the Arc Spraying of Cored Wires . *Strojnicky Casopis* this link is disabled, 69(4), pp. 133–146, DOI:10.2478/scjme-2019-0048 [in English].
4. Michaela Remešová, Serhii Tkachenko, Daniel Kvarda, Ivana Ročňáková, Bernhard Gollas, Melita Menelaou et al. (2020). Effects of anodizing conditions and the addition of Al_2O_3 /PTFE particles on the microstructure aluminium alloy . *Applied Surface Science* Volume 513, 30 May 2020, 145780 //doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145780 [in English].
5. Xiaopeng Lu , Marta Mohedano, Carsten Blawert, Endzhe Matykina, Raul Arrabal, Karl Ulrich Kainer, et al. (2016). Plasma electrolytic oxidation coatings with particle additions – A review . *Surface and Coatings Technology* Volume 307, Part C, 15 December 2016, Pages 1165–1182 //doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.08.055 [in English].
6. Rogov, A.B., Lyu, H., Matthews, A., Yerokhin, A. (2020), AC plasma electrolytic oxidation of additively manufactured and cast AlSi12 alloys, *Surf. Coat. Technol.* 399 126116, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126116> [in English].
7. Li K., Li W., Zhang G., Zhu W., Zheng F., Zhang D., Wang M. (2019). Effects of Si phase refinement on the plasma electrolytic oxidation of eutectic Al-Si alloy, *J. Alloys Compd.* 790, pp. 650–656 [in English].

Mykhajlo Student, Prof., DSc., Leading Researcher, **Iryna Pogrelyuk**, Prof., DSc.

Karpenko Physico-Mechanical Institute of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

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

Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine

Volodymyr Hvozdetzskii, PhD tech. sci., Senior Research, **Khrystyna Zadopozna**, PhD tech. sci., Senior Research

Karpenko Physico-Mechanical Institute of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Vladyslav Topchii, Assos. Prof., PhD tech. sci.

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Increasing the Abrasion Resistance of Aluminum Foundry Alloys AL-SI AK9 and AK12 Plasma-electrolytic Treatment

Aluminum casting alloys are used in machine-building, automobile, aviation, electrical and textile enterprises. However, aluminum alloys have low abrasive wear resistance, which significantly hinders their use in technological environments where abrasive particles are present.

However, aluminum alloys have low abrasive wear resistance, which significantly hinders their use in technological environments where abrasive particles are present. The method of plasma electrolytic oxidation of plasma electrolyte treatment on aluminum alloys provides high hardness up to 2000 HV, low friction coefficient, high adhesion to the metal base, high environmental friendliness. However, this method does not allow the

synthesis of oxide layers with high abrasive wear resistance on cast alloys - silumin. Plasma electrolyte treatment layers synthesized on the most widely used Al-Si foundry alloys have significant disadvantages: low rate of synthesis of the oxoceramic layer - 0.5 - 1 $\mu\text{m} / \text{min.}$, Low thickness - up to 140 μm , low microhardness (700-1000 HV) and low abrasion resistance.

Plasma electrolyte treatment layers were synthesized on the surface of 30x30 mm plates with a thickness of 4 mm from aluminum casting alloys AK-9 (9% Si) and AK-12 (12% Si) in electrolyte - 3 g / l KOH + 2 g / l Na_2SiO_3 (aqueous solution of liquid glass) without and with the addition to the electrolyte of 3 g / l of hydrogen peroxide H_2O_2 , pulsed current at a frequency of 50 Hz in the cathode-anode mode at a ratio of currents (I_k / I_a) = 1 and a current density of 20 A / dm^2 . The thickness of the coatings after synthesis for 120 min was 120 -130 μm .. [4]. Metallographic studies were performed on a scanning electron microscope ZEISS EVO 40XVP with X-ray microanalysis system INCA Energy. The phase composition of the surface layers was investigated using a DRON-3M diffractometer in Cu-K radiation.

Conclusions:

1. Plasma-electrolyte treatment of silumins AK-9 and AK-12 increases their microhardness up to 1000... 1300 HV, which causes an increase in their abrasive wear resistance by 14 ... 57 times.
2. Addition to the electrolyte of hydrogen peroxide H_2O_2 in the amount of 3% of the mass. increases the abrasive wear resistance of silumins after plasma electrolyte treatment by another 30 ... 70%. This is due to the increase in the content of oxide phases $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$, $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ and the decrease in the content of the silicate phase of sillimanite - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ in the coating structure.

plasma-electrolyte oxidation, aluminum cast alloys, oxide layers, wear resistance

Одержано (Received) 27.04.2022

Прорецензовано (Reviewed) 19.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 677.11.021

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.64-72](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.64-72)**А.Ю. Лисих**, канд. техн. наук, **В.В. Нестеренко**, доц., канд. техн. наук*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Первомайськ, Миколаївської області, Україна**e-mail: snezanad256@gmail.com*

Аналіз теоретичних передумов розробки обладнання з одержання однотипної сировини для виробництва текстильних матеріалів

Проведено аналіз теоретичних передумов одержання однотипного сировини, в результаті якого встановлено, що для посилення процесу м'яття верхні вальці приводяться в обертання від нижніх вальців завдяки зчепленню рифлів крізь шар оброблюваного матеріалу, а не за допомогою шестерень.

Обґрунтовано доцільність використання в процесі одержання однотипного волокна льону м'яльних вальців планчатого типу з поступовим збільшенням їх колової швидкості в напрямку руху матеріалу, що забезпечує ковзання матеріалу відносно кромки рифлі вальця, яке інтенсифікує процес руйнування зв'язку між волокном і деревиною стебла.

однотипна сировина, процес м'яття, процес тіпання-чесання, процес трясіння

Постановка проблеми. Коротке волокно, яке виробляється на сучасних льонозаводах є супутнім продуктом, тому що важливіше значення має довге волокно. У зв'язку з цим процеси збирання льону та приготування трести потребують спеціального комплексу машин, котрі мають свою специфіку, спрямовану на максимальне збереження паралельності стебел і їх мінімальну розтягнутість за комлем. Невисока продуктивність збиральної техніки, великі втрати пального та енергоємність призводить до високої собівартості продукції [1, 9].

Використання лляного волокна у вторинної та поглибленої переробки істотно змінилося. На сьогоднішній день знаходить широке застосування коротке лляне волокно в текстильній промисловості у суміші з іншими натуральними і хімічними волокнами, для виробництва текстильних виробів, сучасних композитних матеріалів, для котоніну, утеплювачів та в інших цілях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В літературних джерелах зустрічаємо інформацію про зміни в технологіях збирання та одержання волокна, які спрямовані перш за все на ресурсозбереження. Таким чином при збиранні льону застосовують адаптовані, високопродуктивні сільськогосподарські машини загального призначення: жнивarki, зернозбиральні комбайни, перевертачі валків, рулонні преси й інша техніка. Використання такої техніки дозволяє повністю механізувати процеси збирання і переробки сировини, значно зменшити матеріальні та енергетичні витрати. Також слід відмітити і ще одну позитивну рису цієї технології, так при збиранні використовують жнивarki, які зрізають стебла на висоті 5-7 см від поверхні ґрунту, залишаючи низькоякісне волокно в полі і таким чином підвищується загальна якість одержаного з трести волокна. Враховуючи вищесказане, актуальним є одержання лляного волокна з льону у вигляді короткого (однотипного) з низькою собівартістю [2, 8].

Для виробництва однотипного волокна відомо безліч різних способів та пристроїв. Характерною рисою їх є те, що ці агрегати призначені для переробки відходів тіпання та не пристосовані для безпосередньої переробки стебел трести. Агрегати ці складаються з великої кількості машин і механізмів. При цьому стабільність здійснення технологічного процесу визначається надійністю роботи складових частин агрегатів.

Виходячи із наведеного постає завдання створення агрегату для переробки льняної трести з хаотичним розташуванням стебел у масі. Він має включати мінімальну кількість високоефективних механічних дій на стебла льону при забезпеченні ефективного очищення волокна від костриці та інших не волокнистих тканин [7, 10].

Постановка (мета) завдання. Виробництво однотипного волокна передбачає переробку льняної сировини з метою виділення з неї волокна з максимально можливим очищенням його від костриці і інших не волокнистих домішок при мінімальних пошкодженнях. Треста льону вельми різноманітна за своїми властивостями, у сировині містяться стебла різної довжини, є і короткі стебла завдовжки не більше 300 мм, і довгі – понад 1000 мм [6, 10].

Міцність та жорсткість волокна, що міститься в сировині, також залежить від властивостей трести, яка переробляється. Внаслідок значної неоднорідності початкового матеріалу, що йде на приготування короткого волокна, його переробка є дуже трудомісткою. Підвищити однорідність фізичних властивостей такого матеріалу шляхом сортування практично дуже важко, до того ж сортування є економічно недоцільною технологічною операцією, оскільки витрати на неї не виправдовують себе.

Постає необхідність дослідити наступний технологічний процес – технологію одержання однотипного волокна льону з неорієнтованих стебел трести льону [7].

Виклад основного матеріалу. Отримання однотипного волокна з трести передбачає обробку підсушеної сировини на технологічному устаткуванні (м'яття, тіпання, трясіння).

Розглянемо процес м'яття. Відомо, що початкова сировина для отримання однотипного волокна є вельми неоднорідною. Разом з цим вона має хаотичне розташування стебел у шарі щодо осьової лінії агрегату. Таким чином, можливі випадки, коли окремі стебла будуть розташовані паралельно осьовим лініям м'яльних вальців. Такі стебла не піддаються промину, внаслідок чого значно знижується технологічний ефект процесу подальшої обробки (тіпання і трясіння). Для покращення умов обробки стебел в м'яльній частині агрегату, сировину попередньо необхідно паралелізувати з розташуванням елементів шару в осьовому напрямку агрегату.

Для посилення процесу м'яття верхні вальці приводяться в обертання від нижніх вальців завдяки зчепленню рифлів крізь шар оброблюваного матеріалу, а не за допомогою шестерень. В залежності від глибини заходження рифлів підвищується тиск на шар оброблюваного матеріалу. При використанні рифлених вальців, стебла проходять шлях ламаної лінії (рис. 1). Довжину ділянки стебел, яка підлягає проміну за один оберт вальців, називають периметром зламу P_3 .

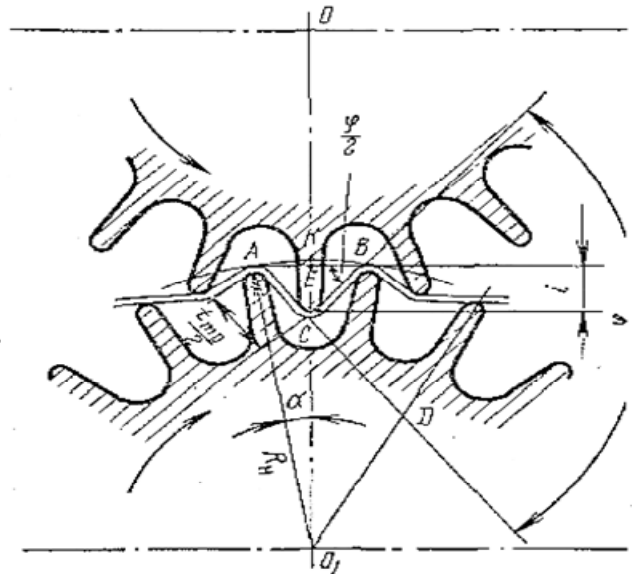


Рисунок 1 – Схема взаємодії рифлів пари вальців і стебла

Джерело: [6]

$$P_3 = Z \cdot t_{tp}, \quad (1)$$

де P_3 – периметр зламу, мм; Z – число рифлів вальців; t_{tp} – крок трести, мм.

Тоді швидкість руху матеріалу в парі вальців буде дорівнюватиме:

$$v_{tp} = \frac{n \cdot Z \cdot t_{tp}}{1000}, \quad (2)$$

де n – частота обертання вальців, хв.⁻¹.

Режим роботи м'яльної частини агрегату встановлюють залежно від фізичних властивостей оброблюваної сировини [4, 6].

Розглянемо процес тіпання. Попередньо пром'ятий в м'яльній частині агрегату шар матеріалу поступає в тіпальну частину. З останньої м'яльної пари шар матеріалу поступає в живлячий вузол, який подає матеріал до тіпального барабану. Робочими органами тіпального барабану є радіально розташовані бильні планки і гребені (рис. 2).

При обертанні тіпального барабану з великою швидкістю бильні планки і гребені по черзі впливають на шар оброблюваного матеріалу, і за рахунок зміни напрямку відносної швидкості відбувається зміна абсолютній швидкості елементів шару при дії планки і гребенів. Разом зі зміною абсолютної швидкості елементів пряди у момент взаємодії ними з кромкою бильної планки виникає велике прискорення елементів шару матеріалу в ділянці, що спирається на кромку.

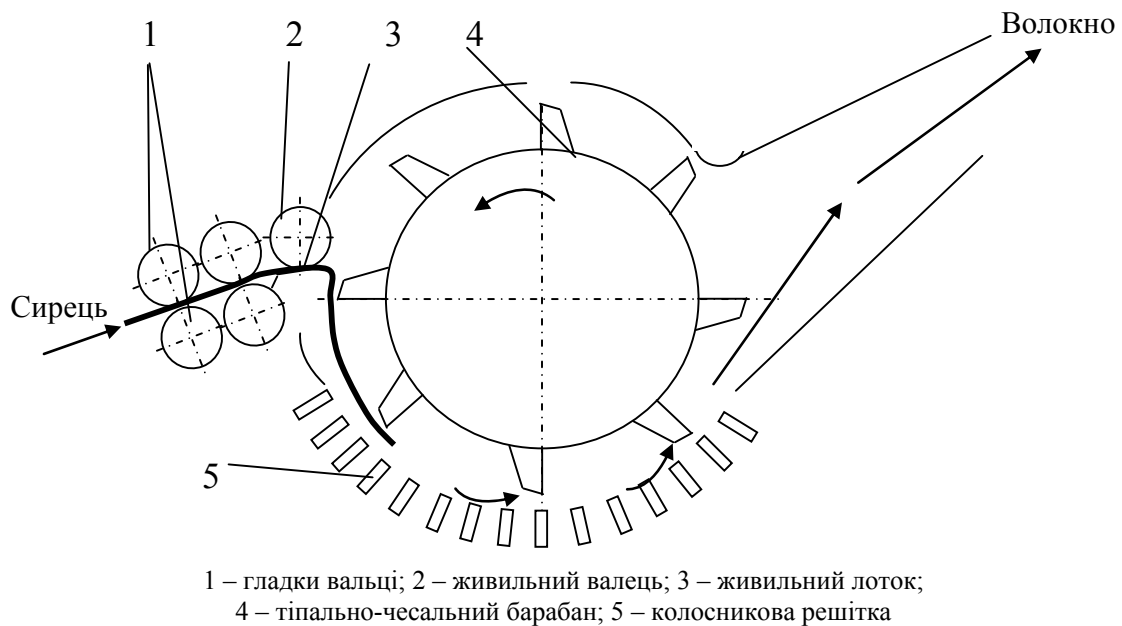


Рисунок 2 – Технологічна схема тіпально-чесальної частини

Джерело: [6]

Сили інерції, що викликані цими прискореннями, досягають значної величини і змінюються пропорційно квадрату швидкості робочих кромek бильних планок. Інерційні сили, а разом з ними і інші сили (тертя, тиск, натягнення), що виникають в шарі матеріалу при тіпанні, забезпечують видалення з оброблюваного матеріалу костриці та інших не волокнистих домішок.

Режим роботи тіпальної частини при високій пропускній спроможності агрегату повинен забезпечити достатньо високий ступінь очищення волокна від костриці. Ступінь очищення волокна від костриці в процесі тіпання залежить від наступних факторів: частоти обертання тіпального барабану, швидкості подачі шару оброблюваного матеріалу живлячим вузлом, зазору бильних планок і колосникової решітки, товщини і структури шару матеріалу, а також якості промину матеріалу у м'яльній машині [3, 4].

Кількість дій на оброблюваний матеріал в тіпальній частині агрегату залежить від часу перебування елемента шару в зоні тіпання. Шлях, що проходить елемент шару матеріалу через зону тіпання, дорівнює довжині зігнутого бильною планкою ділянки шару. Час перебування t цієї ділянки в зоні тіпання дорівнює часу руху шару матеріалу в зоні тіпання:

$$t = \frac{l}{V}, \quad (3)$$

де l – довжина зігнутої ділянки шару, м;

V – швидкість живлення, м/хв.

За час t елементи шару оброблюваного матеріалу отримують k дій:

$$k = m \cdot n \cdot \frac{l}{V}, \quad (4)$$

де k – кількість дій. шт;

m – число бильних планок на барабані, шт;

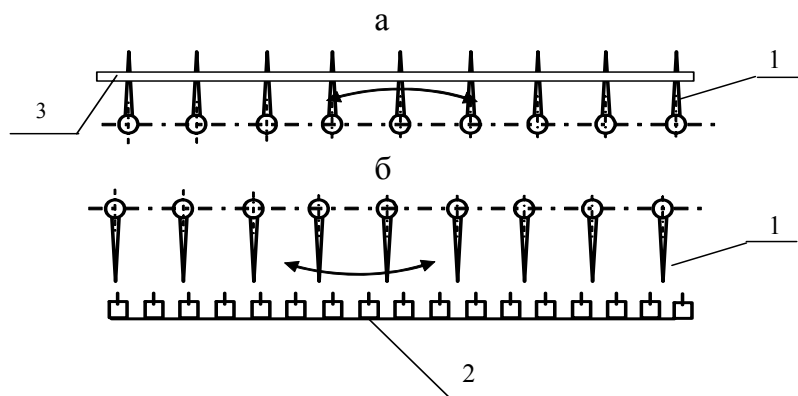
n – частота обертання барабану, хв.^{-1} .

Зазор між бильною планкою та колосниковою решіткою у вузлі тіпання є регульованою величиною. При його зменшенні ступінь очищення волокна збільшується за рахунок збільшення кутів вигину шару по планках колосникової решітки, при збільшенні – навпаки.

Тоді, для кращої обробки бажано, щоб ця зона була мінімальною. Інтенсивність обробки шару матеріалу залежить також від довжини волокон в шарі і ступені їх паралелізації [5, 6].

Розглянемо процес трясіння. Трясіння використовують для очищення короткого волокна від костриці, яке проводять на трясильних машинах, внаслідок чого шляхом багаторазових струшувань коротке волокно звільняється від насипної костриці та інших не волокнистих домішок.

Усі наявні трясильні машини можна поєднати в дві групи: машини з нижнім гребневим полем і машини з верхнім гребневим полем (рис. 3).



а) з нижнім гребневим полем; б) з верхнім гребневим полем

1 – голчасті гребні; 2 – голчастий транспортер; 3 – вал

Рисунок 3 – Принципові схемі трясильних машин

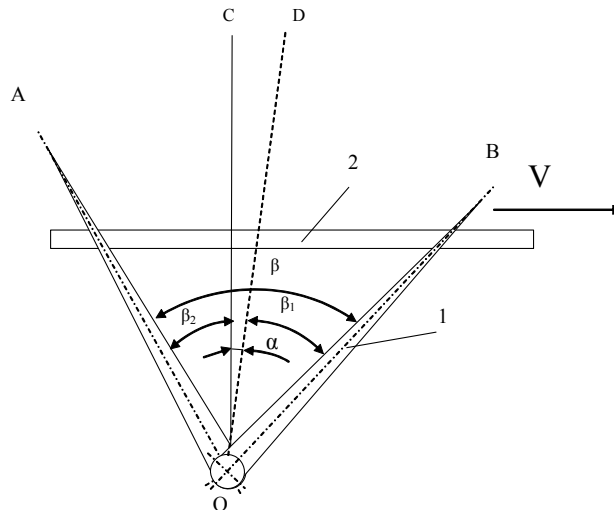
Джерело: [6]

До трясильних машин з нижнім гребневим полем (рис. 3, а) відносяться такі, в яких голки спрямовані вгору вістрями. У машинах з верхнім гребневим полем (рис. 3, б) вістря голок спрямовані вниз. Крім того, машини з верхнім гребневим полем відрізняються і тим, що мають голчасті транспортери 2, завдяки яким оброблюваний матеріал отримує додатковий рух. Голки 1 гребневого поля, розташовуючись над поверхнею голкового транспортера завдяки різниці швидкостей транспортера і гойданню голок забезпечують часткове видалення костриці, пов'язаною з волокном, а також сприяють паралелізації та розпушуванню волокна, при цьому спостерігається підвищення інтенсивності дій [6].

Волокно, що поступає на знекостричення до трясильної машини з нижнім гребневим полем, підтримується в гребневому полі на спеціальній решітці. Величина зазорів між планками решітки така, що костриця вільно осипається вниз, а волокно затримується на решітці. Решітка в трясильних машинах з нижнім гребневим полем розташована в похилій площині, з підйомом у бік руху матеріалу. Центри осьових ліній гребневих валів трясильних машин з нижнім гребневим полем знаходяться в одній похилій площині під кутом 6° до горизонтальної площини.

На рис. 4 показана схема взаємного розташування голок 1 гребневого валу і решітки 2. Голки гребневого поля, вмонтовані на гребневих валах, отримують коливальний рух крізь кривошипно-шатунний механізм. Кінчик голки має різну швидкість руху, змінюючись від нуля в крайньому положенні голки (положення точки

А) і потім від максимуму до нуля в крайньому положенні голки по ходу руху матеріалу (положення точки В). Отже, швидкість переміщення матеріалу на решітці також буде нерівномірною, а це, у свою чергу, викликає появу прискорень і інерційних сил, які діють на оброблюваний матеріал. Інерційні сили, під дією яких знаходиться клаптик волокна на кінчику голки, можуть бути зведені до двох сил: відцентрова сила і сила, викликана тангенціальним прискоренням. Відцентрова сила спрямована уздовж голки від осі гойдання до вершини. Сила, яка викликана тангенціальним прискоренням (змінною швидкістю за величиною), спрямована перпендикулярно до голки. Відцентрова сила досягає найбільшого значення у тому випадку, коли швидкість руху голки максимальна. А тангенціальна сила, навпаки, має максимальні значення при крайніх положеннях голки.



1 – голка; 2 – решітка

Рисунок 4 – Схема взаємного розташування голок валу і решітки в трясильній машині

Джерело: [10]

При дослідженні сил інерції необхідно врахувати і сили тяжіння, під дією яких матеріал прагне зміститися уздовж голки. Тангенціальні сили протягом одного оберту кривошипа чотири рази змінюють свій напрямок на зворотній. Ці зміни відбуваються за короткий проміжок часу, що забезпечує сильне струшування шару матеріалу і виділення костриці.

При переміщенні голки з крайнього положення проти руху матеріалу тангенціальне прискорення змінюється від максимуму до нуля, а голка на цій ділянці збільшує швидкість від нуля до максимуму. При цьому голка створює навантаження на матеріал, який чинить опір її руху, тому на цій ділянці відбувається розпушування волокна. При подальшому переміщенні голки з положення OD в крайнє положення в напрямку руху матеріалу (положення точки В) тангенціальне прискорення змінюється від нуля до максимуму. Швидкість же голки від максимальної знижується до нуля, в результаті чого відбувається зворотнє явище – голка чинить опір руху матеріалу. В наслідок дії цих інерційних сил відбувається утворення порожнеч, що полегшує виділення костриці з волокна.

Сили, які створюють навантаження на матеріал, пропорційні квадрату швидкості голки і змінюються уздовж голки, збільшуючись від площини решітки до кінчика голки. Максимального значення ці сили набувають на кінчику голки. Швидкість голок

визначається частотою обертання кривошипа. Швидкість руху матеріалу на решітці незалежно від швидкості кінчика голки змінюється від кута випередження, величини вильоту голки в крайньому положенні по ходу руху матеріалу, радіусу кривошипа, товщини шару оброблюваного матеріалу і вологості матеріалу.

Кутом випередження називають кут, розташований між перпендикуляром до решітки і бісектрисою кута розмаху. Цей кут при постійному положенні решітки регулюється за допомогою шатуна; із збільшенням довжини шатуна кут випередження збільшується, і навпаки. При цьому висота кінчика голки в крайньому положенні в напрямку руху матеріалу щодо площини решітки змінюватиметься.

Положення кінчика голки щодо площини решітки можна регулювати зміною положення самої решітки.

Із збільшенням радіусу кривошипа при постійному положенні решітки швидкість руху матеріалу збільшується, оскільки зменшується відстань від кінчика голки (у крайньому положенні голки в напрямку руху оброблюваного матеріалу) до площини решітки. У тому випадку, коли виліт голки залишається незмінним, із збільшенням радіусу кривошипа швидкість матеріалу зменшується. Це положення пояснюється тим, що із збільшенням радіусу кривошипа зростає колова швидкість голок і зменшується час вільного переміщення матеріалу на решітці, внаслідок того що голка швидше повертається в положення, з якого матеріал почав вільний рух.

При обробці волокна на трясильних машинах з верхнім гребневим полем і голчатим транспортером, швидкість руху матеріалу в трясильній частині його визначається кутом випередження, величиною заходження трясильних голок між голками транспортера та швидкістю транспортера [10].

Ефективність роботи трясильних машин залежить від ряду факторів, до яких можна віднести швидкість просування матеріалу в гребневому полі, число гойдань голок гребневих валів за одиницю часу, щільність завантаження матеріалу, кут випередження, розмах голок і положення решітки відносно кінчиків голок.

Висновки. На основі поєднання механічних процесів м'яття з ковзанням, тіпання з чесанням та трясіння запропоновано ресурсозберігаючу технологію виділення волокна льону з неорієнтованих стебел трести без розподілу волокна на довге та коротке.

Теоретично та експериментально обґрунтовано доцільність використання в процесі одержання однотипного волокна льону м'яльних вальців планчатого типу з поступовим збільшенням їх колової швидкості в напрямку руху оброблюваного матеріалу, що забезпечує ковзання матеріалу відносно кромки рифлі вальця, яке інтенсифікує процес руйнування зв'язку між волокном та деревиною стебла.

Зменшення кроку кромки планчатих вальців та збільшення інтерсекції між ними забезпечує поступове збільшення інтенсивності механічних дій на матеріал.

Список літератури

1. Гілязетдінов Р.Н., Коропченко С.П., Москаленко Б.І. Нові процеси у виділенні волокна луб'яних культур. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2010. № 94. С. 184-188.
2. Лисих А.Ю., Коб'яков С.М. Аналіз інноваційних технологій механічної переробки текстильної сировини. *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. Вип. 50. С. 164-172. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.164-172>.
3. Лисих А.Ю. Розробка та розрахунок кінематичної схеми механізму для одержання короткого льоноволокна. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільському господарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. Кропивницький: КНТУ, 2018. Вип. 31. С. 21-28.

4. Круглий Д.Г., Клевцов К.М. Модель процесу дроблення технічних комплексів луб'яного волокна при механічних впливах. *Вестник Херсонского нац. технического университета*. 2017. № 60 (1). С. 113-119.
5. Лисих А.Ю. Механічний процес підготовки сировини для одержання короткого лляного волокна. *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. Вип.47, ч.ІІ. С. 123-130.
6. Гілязетдінов Р.Н. Развитие научных основ створення інноваційних технологій первинної переробки луб'яних культур : дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.01. Херсон, 2009. 329 с.
7. Березовський Ю.В. Застосування нових технічних рішень у виробництві лляної продукції. *Вісник ХНТУ*. 2014. № 4 (51). С. 51-58.
8. Богданова О.Ф., Березовский Ю.В. Современные технологии переработки составляющих льна для производства продукции различного назначения. *Материалы и технологии*. Витебск, 2018. №2 (2). С.9-13.
9. Березовський Ю.В. Використання нових технічних рішень у промисловому виробництві лляної продукції. *Наука та інновації*. Київ, 2016. Т. 12. Вип. 4. С. 53-70.
10. Березовський Ю.В. Напрямки модернізації обладнання переробки лляної сировини. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. Хмельницький, 2016. № 1 (233). С. 189-195.

References

1. Hiliazetdinov, R.N., Koropchenko, S.P., & Moskalenko B.I. (2010). Novi protsesy u vydilenni volokna lubianykh kultur [New processes in the extraction of bast crops]. *Mekhanizatsia ta elektrifikatsia silskoho hospodarstva*. – *Mechanization and electrification of agriculture*, 94, 184-188 [in Ukrainian].
2. Lisikh A.Y., & Kobiakov S.M. (2020). Analiz inovatsiinykh tekhnolohii mekhanichnoi pererobky tekstylnoi syrovyny [Analysis of innovative technologies for mechanical processing of textile raw materials]. *Zahalnoderzhavnyi mizhvidomchyi nauko-tekhnichnyi zbirnyk. Konstruyuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*. – *National interagency scientific and technical collection of work. Design, production and exploitation of agricultural machines*, Vol. 50, 164-172 [in Ukrainian].
3. Lisikh A.Y. (2018). Rozrobka ta rozrakhunok kinematychnoi skhemy mekhanizmu dlia oderzhannia korotkoho lonovolokna [Development and calculation of the kinematic circuit of the mechanism for reception of a short flax fiber]. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia*. – *Collected works of scientific works of Kirovohrad National Technical University. Machinery in agricultural production, industry machine building, automation*, Vol. 31, 21-28 [in Ukrainian].
4. Kruhlyi D.H., & Klevtsov K.M. (2017) Model protsesu droblennia tekhnichnykh kompleksiv lubianoho volokna pry mekhanichnykh vplyvakh. [Model of the process of crushing technical complexes of bast fiber under mechanical influences]. *Vestnik Khersonskogo natsionalnoho tekhnicheskogo universiteta*. – *Bulletin of Kherson National Technical University*, Vol. 60, 1, 21-28 [in Ukrainian].
5. Lisikh A.Y. (2017). Mekhanichnyi protses pidhotovky syrovyny dlia oderzhannia korotkoho llianohho volokna. [Analysis of innovative technologies for mechanical processing of textile raw materials]. *Zahalnoderzhavnyi mizhvidomchyi nauko-tekhnichnyi zbirnyk. Konstruyuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*. – *National interagency scientific and technical collection of work. Design, production and exploitation of agricultural machines*, Vol.47, part II, 123-130 [in Ukrainian].
6. Hiliazetdinov, R.N. (2009). Rozvytok naukovikh osnov stvorennia innovatsiinykh tekhnolohii pervinnoi pererobky lubianikh kultur [Development of scientific branches of bast crops primary processing]. *Extended abstract of Doctor's thesis. Kherson* [in Ukrainian].
7. Berezovskyi, Yu.V. (2014). Zastosuvannia novykh tekhnichnykh rishen u vyrobnytstvi llianoi produktsii. [Application of new technical solutions in the production of linen products]. *Visnyk KHNTU*. – *Bulletin of KhNTU*, Vol. 4, 51, 51-58 [in Ukrainian].
8. Bohdanova, O.F., & Berezovskyi, Yu.V. (2018). Sovremennye tekhnolohii pererabotki sostavliaiushchikh lna dlia proizvodstva produktsii razlichnogo naznacheniiia. [Modern technologies for processing flax components for the production of products for various purposes]. *Materialy i tekhnolohii*. – *Materials and technologies*, 2, 2, 9-13 [in Russian].

9. Berezovskyi, Yu.V. (2016). Vykorystannia novykh tekhnichnykh rishen u promyslovomu vyrobnytstvi llianoi produktsii [The use of new technical solutions in the industrial production of linen products]. *Nauka ta innovatsii – Science and innovation, Vol. 12, 4, 53-70* [in Ukrainian].
10. Berezovskyi, Yu.V. (2016). Napriamky modernizatsii obladnannia pererobky llianoi syrovyny [Areas of modernization of linen processing equipment]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – Bulletin of Khmelnytsky National University. Technical sciences, Vol. 1, 233, 189-195* [in Ukrainian].

Alla Lisikh, PhD. tech. sci., **Victoria Nestrenko**, Assoc. Prof., PhD. tech. sci.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Pervomaysk, Mykolaiv region, Ukraine

Analysis of Theoretical Preconditions for the Development of Equipment for Obtaining the Same Type of Raw Materials for the Production of Textile Materials

The production of the same type of fiber involves the processing of flax raw materials in order to remove fiber from it with maximum purification from chaff and other non-fibrous impurities with minimal damage. The article analyzes the theoretical prerequisites for obtaining the same type of fiber, namely the use of various aggregates in the process of mechanical influences on the stems of the processed material.

To improve the conditions for processing stems in the soft part of the unit, the raw material must first be parallelized with the arrangement of the layer elements in the axial direction of the unit. The parallelization of the stems is achieved by drawing the layer of the processed material due to the difference in the linear speeds of the pulverizing pairs; at the same time, the speed of movement of the material in each subsequent milling pair is greater than in the previous one. The layer of material pre-washed in the breaking part of the unit enters the scutching part. From the last plow pair, the layer enters the feed unit, which feeds the material to the scutching drum. The working bodies of the scutching drum are radially arranged beater bars and combs. When the scutching drum rotates at high speed, the beater bars and combs alternately act on the layer of the processed material, and due to the change in the direction of the relative speed, the absolute speed of the layer elements changes under the action of the bar and combs. It has been established that to enhance the crushing process, the upper rollers are driven from the lower rollers due to the grip of the grooves through the layer of the processed material, and not with the help of gears. With an increase in the depth of entry of the flute, the pressure on the layer of the processed material increases. When using corrugated rollers, the stems follow the path of a broken line. When processing fiber on shaking machines with an upper combed field and a needle conveyor, the speed of movement of the material in the shaking part of it is determined by the lead angle, the amount of entry of the shaking needles between the conveyor needles and the speed of the conveyor.

The efficiency of shaking machines depends on a number of factors, which include the speed of material advancement in the combed field, the number of strokes of the combed roller needles per unit time, material loading density, lead angle, needle span, and position of the grid relative to the tips of the needles. The expediency of using in the process of obtaining the same type of flax fiber of slatted type crushing rollers with a gradual increase in their circumferential speed in the direction of movement of the material, which ensures the sliding of the material relative to the edge of the corrugation of the roller, which intensifies the process of destruction of the bond between the fiber and the wood of the stem, is substantiated.

single-type fiber, chaff, crushing process, shaking process, scutching drum

Одержано (Received) 09.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 17.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

А. В. Новийський, доц., канд. техн. наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

e-mail: Novytskyi@nubip.edu.ua

Моніторинг технічного стану ЗПРК за керівними матеріалами на їх експлуатацію

В статті представлено моніторинг інструкцій з обслуговування та експлуатації машин, керівних матеріалів на використання з позиції їх інформативності щодо реалізації вимог надійності. Моніторинг технічного стану проводився для зарубіжних зразків засобів для приготування і роздавання кормів з горизонтальними змішувально-подрібнювальними механізмами. Проаналізовано механізми з позицій наявності інформації про особливості конструкції, характерні несправності та відмови, основні способи відновлення працездатності. Забезпечення надійності включає кілька напрямків діяльності на протязі всіх життєвих циклів.

Встановлені основні положення для оцінки технічного стану та підвищення надійності машин при використанні керівних матеріалів. До складу положень входять: інформація про показники надійності машин, механізмів, робочих органів; періодичність технічного обслуговування і ремонту машин, відновлення робочих органів; відомості про трудомісткість технічного обслуговування і ремонту машин, відновлення робочих органів; схеми монтажу-демонтажу механізмів; інформація про характерні відмови та послідовність їх усунення; інформація про критерії граничного стану; технології відновлення робочих органів; інформація про вимоги при встановленні на зберігання.

засіб для приготування і роздавання кормів, машина, моніторинг, надійність, технічний стан, роботоздатність, керівні матеріали

Постановка проблеми. В останні роки в аграрній сфері України можна спостерігати значне оновлення машин та обладнання для тваринництва, включаючи сектор засобів для приготування і роздавання кормів (ЗПРК) [24]. Зазначене оновлення проходить не лише за рахунок надходження в експлуатацію кращих зарубіжних та вітчизняних зразків ЗПРК [24], але й заміну машин з горизонтальними механізмами подрібнення-змішування (МПЗ) на МПЗ з вертикальними шнековими робочими органам [30].

Практика використання та забезпечення працездатності ЗПРК з горизонтальними шнеками вказує на те, що зарубіжні зразки зазначених машин мають покращені технічні характеристики, в тому числі, досить високу експлуатаційну надійність [8, 7, 17, 19, 22, 23, 24, 29]. Разом з тим, інтенсивність використання цих засобів не зменшується, більшість з них відпрацювала свій амортизаційний період, а умови експлуатації та зберігання вимагають особливої уваги та постійного контролю з боку операторів машин, сервісних працівників, інженерно-технічної служби.

Окремі механізми сучасних зарубіжних ЗПРК, включаючи механізм завантаження та механізм вивантаження кормової суміші оснащені вбудованими електронними пристроями функціонування та контролю технічного стану, що сприяє забезпеченню їх працездатності при реалізації системи технічного обслуговування і ремонту (СТОР) [3, 8, 32].

Ускладнення сільськогосподарської техніки, зростання вимог споживачів до їх технічного рівня, зоотехнічних вимог і якості продукції, необхідність забезпечення працездатності ЗПРК з горизонтальними змішувально-подрібнювальними органами є мотивацією для використання системного аналізу для оцінки і забезпечення надійності систем та підсистем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Як було зазначено в попередніх дослідженнях [2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 28], результати технічного діагностування або ж відділеного встановлення технічного стану є підставою для прийняття рішення про подальший характер і режими використання машин, періодичність встановлення їх ТОР, номенклатуру запасних частин, обсяги ремонтно-профілактичних робіт. Прийняття рішення про необхідність проведення ТОР або ж відновлення працездатності при виникненні відмов є наявність відповідної інформації в нормативно-технічній документації.

Справність ЗПРК може відновлюватись при ремонті, а працездатність – підтримуватись при ТО і в процесі експлуатації виходячи з рекомендацій, що передбачені інструкціями та нормативними матеріалами на використання ЗПРК [13, 14, 16, 15, 30, 31, 33, 34, 35]. Для своєчасного і ефективного проведення технічного обслуговування і ремонту ЗПРК, необхідно знати [21, 25, 26, 32]:

- періодичність ТОР;
- критерії втрати працездатності;
- граничні і допустимі значення параметрів технічного стану;
- рівень підготовки персоналу для забезпечення їх працездатності.

У цьому аспекті слід також звернути увагу на дослідження, що присвячені вивченню впливу споживчих якостей машин, включаючи ЗПРК, на ефективність та надійність їх експлуатації [26, 28]. Методика досліджень передбачає оцінку та забезпечення надійності ЗПРК на основі аналізу системи діючих нормативних документів та керівних матеріалів.

Постановка завдання. Метою проведення досліджень є підвищення надійності засобів для приготування і роздавання кормів як складних технічних систем на основі аналізу існуючих нормативних документів на експлуатацію.

Виклад основного матеріалу. Під забезпеченням надійності слід розуміти комплекс взаємопов'язаних організаційно-технічних вимог та заходів, що підлягають проведенню на певних стадіях життєвого циклу об'єктів та спрямованих на обґрунтування номенклатури та завдання необхідних рівнів кількісних та якісних вимог до показників надійності, забезпечення їх досягнення при розробці та виробництві виробів, а також підтримка та підвищення, а при необхідності, відновлення досягнутого рівня в процесі експлуатації [11].

Аналіз надійності об'єкта за результатами заходів і способів щодо забезпечення надійності на етапах проектування, виробництва та експлуатації відповідно до програми забезпечення надійності (ПЗН) передбачає аналіз ремонтної та експлуатаційної документації з точки зору забезпечення надійності [12]. Забезпечення надійності будь-якої технічної системи, зокрема і СТС ЗПРК є комплексною характеристикою і включає кілька напрямків діяльності або процесів. На рис. 1 представлено графічне уявлення основних видів діяльності із забезпечення надійності СТС.

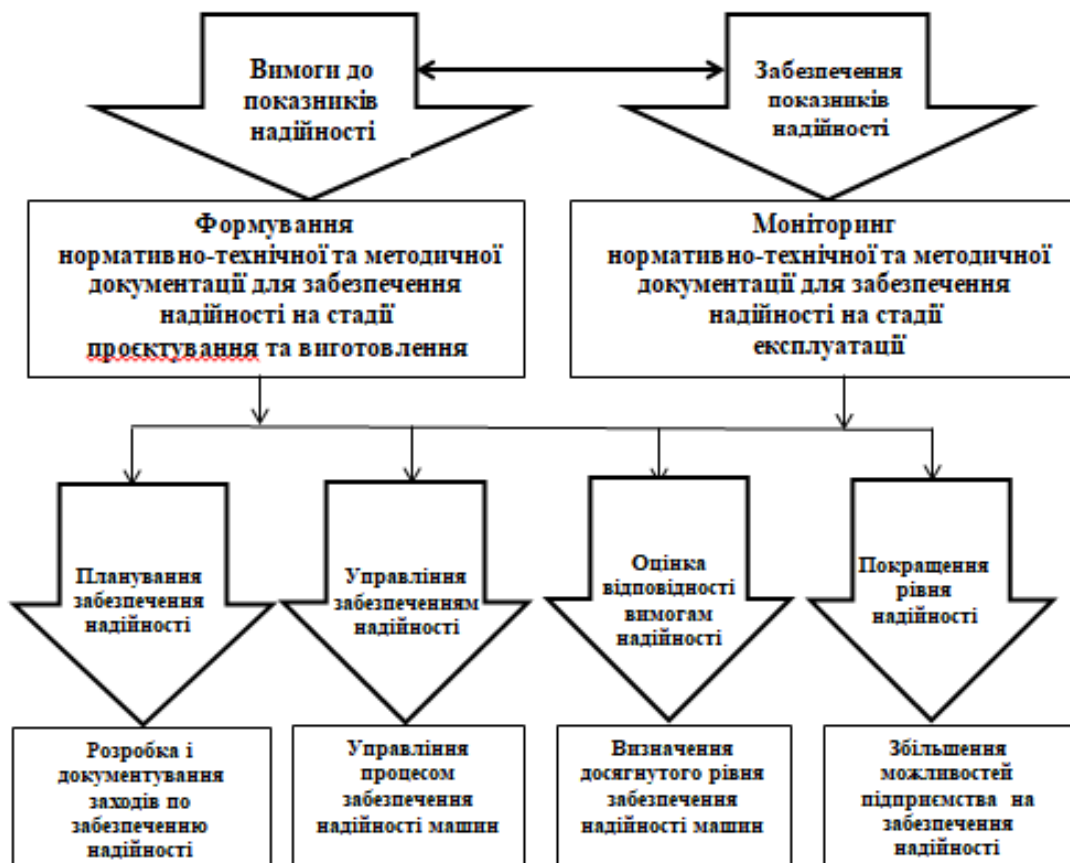


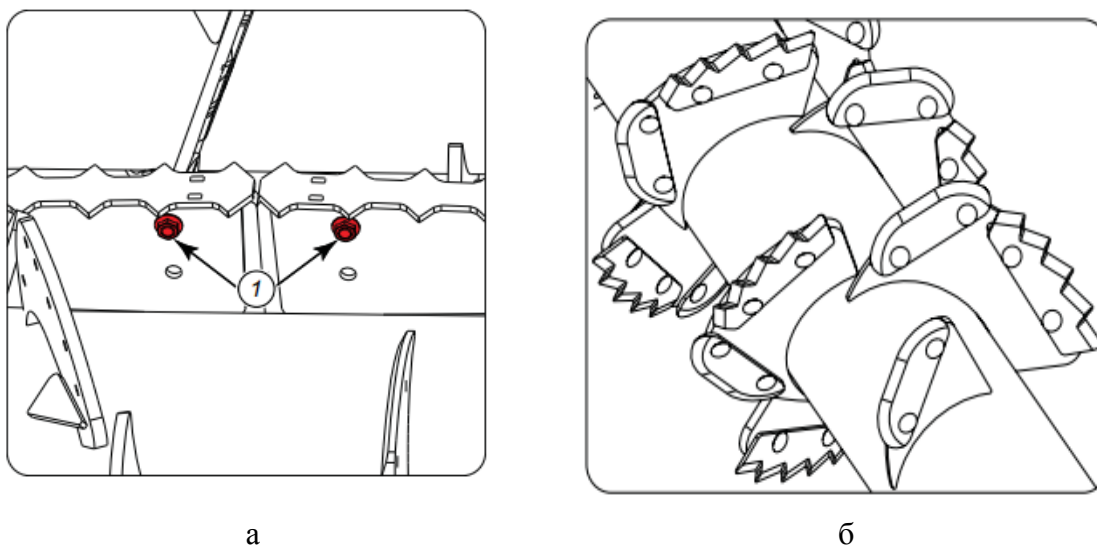
Рисунок 1 – Графічне подання змісту забезпечення надійності ЗПРК

Джерело: розроблено на підставі [12]

З рисунку 1 бачимо, що визначальним для постановки та вирішення завдань щодо забезпечення надійності ЗПРК є наявність вимог до надійності виробу. Звідси впливає наступне правило. Планувати та проводити будь-які роботи із забезпечення надійності будь-якого зразка ЗПРК має доцільність лише тоді, коли споживач пред'являє вимоги до надійності, тобто для вирішення зазначеного завдання спочатку мають бути визначені нормативні документи, що визначають вимоги до показників надійності [11, 12].

Згідно нормативних документів, для забезпечення ефективності експлуатації, продовження терміну служби і гарантування надійної роботи ЗПРК, ТОР необхідно проводити через відповідні проміжки часу [13, 14, 16, 30, 31, 33, 34]. Згідно нормативних рекомендацій заводів-виробників, зазначені роботи повинні проводитись авторизованими сервісними центрами. Як зазначено в [13, 14, 30], заводи-виробники не несуть відповідальність за відмови, що виникають в тих випадках, коли правила із сервісного обслуговування були порушені, або дотримані із порушеннями інструкцій на використання ЗПРК.

Механізм подрібнення-змішування змішувача-роздавача EUROMIX II 1460-1860 з горизонтальними подрібнювально-змішувальними робочими органами, передбачає регулювання протиріжучих ножів [34] (рис. 2).



а - регулювання протиріжучих ножів; б - комплект ножів для вторинного подрібнення

Рисунок 2 – Елементи МПЗ змішувача-роздавача EUROMIX II 1460-1860

Джерело: [34]

Протиріжучі ножі можуть бути встановлені в наступних положеннях: центрі, вгорі та внизу, що регулюються за допомогою гвинтів 2 (положення 1). Високе положення рекомендується встановлювати для складних умов використання та для регулювання різання волокон при обмеженні необхідної потужності. Встановлення зазначеного положення виконується безпосередньо на заводі.

Пристрій (рис. 2, б) використовується для покращення якості і швидкості подрібнення волокнистих продуктів [34].

Згідно інструкції на експлуатацію [34] для МПЗ змішувача-роздавача EUROMIX II 1460-1860 передбачено комплекс робіт з ЦТО, через кожні 10 год., 50 год., 100 год. та 1500 год. роботи. Також, сервісне обслуговування передбачає мащення механізми ЗПРК із вказуванням точок мащення.

В окремих випадках можливе блокування шнеків ЗПРК при використанні машини і руйнування запобіжного болта. Основними причинами зазначеної відмови є: швидке завантаження; підвищена швидкість механізму відбору потужності; наявність сторонніх предметів; зношені або пошкоджені ножі.

Але представлені в інструкції критерії граничного стану не відображують стан робочих органів і деталей, що лімітують надійність МПЗ ЗПРК [34].

Для ефективної роботи кормороздавачів РСК-12.00.00.000 РЭ та ПРСК-12.00.00.000 РЭ, а також для забезпечення їх надійності, необхідно здійснювати постійний контроль за станом вузлів ЗПРК та їх регулювання, періодичне мащення та своєчасну заміну зношених робочих органів та деталей [14, 31].

Надзвичайно корисною і позитивною є представлена в технічній характеристиці інформація про показники надійності кормороздавача [14, 31]. Вона включає наступні показники: коефіцієнт готовності – 0,98; середнє напрацювання на складну відмову – 160 год. (150 год. для [36]), термін служби – не менше 8 років.

Також, в інструкціях для зазначених ЗПРК [14, 31] надано рекомендації щодо кількості та кваліфікації обслуговуючого персоналу: один тракторист – машиніст, не менше 3 класу. Але було б доцільно більш ширше відобразити вимоги до операторів машин, а також щодо персоналу, що здійснює сервісне обслуговування і ремонт ЗПРК.

Згідно інструкцій на експлуатацію [14, 31] для кормороздавачів передбачено комплекс робіт з технічного обслуговування: ЩТО перед початком роботи, ТО-1 через кожні 120 год., ТО перед кожним сезоном роботи та ТО при зберіганні. Сервісне обслуговування передбачає комплекс рекомендацій щодо мащення механізмів ЗПРК із вказуванням точок мащення та рекомендації з ТО та регулювання (рис. 3) [13].

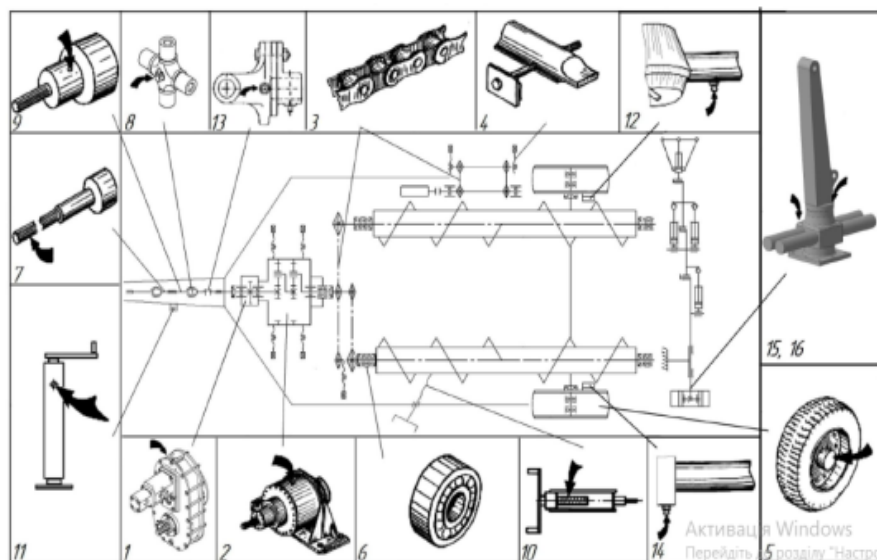


Рисунок 3 – Схема мащення РСК-12.00.00.000 РЭ

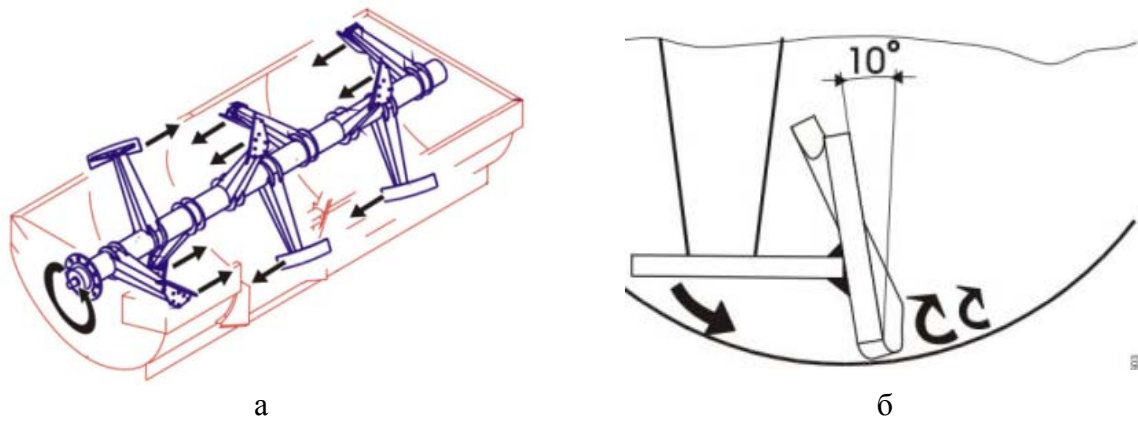
Джерело: [13]

Заслуговує на увагу представлений в інструкції перелік характерних несправностей кормороздавача та рекомендації для їх усунення. Ремонт кормороздавача, що має перелічені в [14] відмови, слід виконувати на підприємстві-виробнику або спеціалізованих підприємствах.

В зазначених керівних матеріалах на експлуатацію [14, 31] міститься цілий блок інформації про правильне зберігання кормороздавачів, яке забезпечує їх збереження, попереджає руйнування та пошкодження, сприяє скороченню витрат на ТО, ремонт та продовжує термін служби.

При організації зберігання та консервації необхідно суворо дотримуватись вимог, що зазначаються в інструкції. ЗПРК повинен зберігатися під навісом або в складському приміщенні за обов'язкового виконання робіт з консервації. В окремих випадках дозволяється зберігання машин на відкритих спеціально оснащених майданчиках. Зберігання ЗПРК передбачає ряд робіт з технічного обслуговування: ТО при короткочасному зберіганні; ТО при зніманні зі зберігання; ТО при тривалому зберіганні; ТО у період зберігання; ТО при зніманні зі зберігання.

Кормороздавач PA15R IF-STOLL призначено для змішування компонентів кормів для тварин і роздавання готових продуктів [13]. Зазначений кормороздавач розроблено з метою збереження структури кормів при перемішуванні на протязі 5-30 хв. Якість перемішування забезпечується роботою МПЗ до складу якого входить горизонтальний шнек з лопатями і ножем (рис. 4, а). Лопаті розміщені під кутом до валу для досягнення максимального ефекту перемішування. Обґрунтоване встановлення робочих органів під кутом до поздовжнього валу забезпечує переміщення кормової суміші до вивантажувального люку.



а – механізм подрібнення-змішування; б – кут встановлення лопатей механізму подрібнення-змішування
Рисунок 4 - Кормороздавач PA15R IF-STOLL

Джерело: [13]

Позитивною відмінністю кормороздавача від інших ЗПРК є лопаті (рис. 4, б), що встановлені під кутом 10^0 до напрямку руху вала ротора [12]. За рахунок зазначеної особливості конструкції досягається ефект підйому корму з дна та від стінок бункера до центру.

Розглянемо кормозмішувачі «DeLaval» (Швеція), які використовуються для приготування і роздавання кормів на фермах ВРХ [15]. Кормозмішувач має три змішувально-подрібнювальних органи, швидкість обертання яких становить відповідно: подавального – 2,5 об./хв., змішувально-подрібнювального – 7 об./хв. За результатами випробовувань в УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого [18, 23], встановлені показники якості роботи: рівномірність змішування – 93,8%; тривалість змішування – 7 хв.; рівномірність роздавання – 96,2%.

Надійність МПЗ кормозмішувач «DeLaval» [16] лімітують ножі, протирізи, рейки та шнеки, для яких характерні поступові відмови від зношування та аварійні відмови, в результаті попадання в бункер сторонніх предметів.

Згідно рекомендацій заводу-виробника, зазори між ножами і протирізами, між ножами і рейками не повинні перевищувати 1мм. Граничним є збільшення зазорів між вказаними робочими органами понад 2 мм. Зафіксовані випадки погіршення роботи шнеків у результаті зношування підшипників. Основними відмовами трансмісійних ланцюгів є зміна їх натягування, яка призводить до збільшення люфту і порушення роботи механізму приводу. Основні причини – це зношування ланцюгів та ексцентричних пластикових втулок. Граничним є збільшення люфту до 30 мм. В інструкції представлено аналіз основних регулювань механізмів ЗПРК, параметри граничного стану ножів МПЗ та їх ескізи. Разом з тим, в [16,] для ЗПРК не наведено рекомендації з ТО та не вказані основні показники надійності, що важливо при виборі машини споживачами.

В інструкції на використання ЗПРК [34] зазначено, що критерієм їх граничного стану має бути неможливість або техніко-економічна недоцільність проведення ремонту, коли його вартість перевищує 80% вартості нового кормороздавача.

Термін служби окремих конструкцій, обладнання та складових частин ЗПРК повинен відповідати його розрахунковому терміну служби. Середній час відновлення працездатності змішувача-кормороздавача становить 4 год., за наявності запасних частин. Питома сумарна оперативна трудомісткість ТО становить не більше 0,07 люд.-год., а змінний оперативний час ТО – не більше 0,22 год.

Контроль показників надійності ЗПРК повинен здійснюватися не рідше 1 разу на рік шляхом набору статистичних даних та узагальнення результатів спостережень за підконтрольною групою агрегатів (за критеріями безвідмовності, довговічності та ремонтпридатності). Після закінчення призначеного терміну служби ЗПРК підлягають випробуванню на надійність та встановленню відповідних технічних показників конструкторської документації.

Після закінчення призначеного ресурсу експлуатація ЗПРК може бути припинена незалежно від їх технічного стану. В нормативних документах на безпечне використання ЗПРК [34] задекларовані показники надійності, які є визначальними для забезпечення ефективності їх експлуатації та підтримання працездатності (табл. 1).

Таблиця 1 – Експлуатаційно-технологічні параметри змішувачів-кормороздавачів

Найменування призначеного показника	Значення показника
Розрахунковий термін служби, років, не менше	8
Встановлений ресурс до капітального ремонту, год.	5000
Гарантійний термін зберігання, років	1,5
Середнє напрацювання на складну відмову (II та III груп складності), год., не менше	160
Ймовірність безвідмовної роботи за рік експлуатації в період до ремонту з розбиранням	0,92
Експлуатаційна надійність, K_{er}	1,0
Коефіцієнт готовності, щонайменше, K_r	0,98

Джерело: розроблено на підставі [34]

Також дуже важливо, щоб конструкцією змішувачів-кормороздавачів було передбачено забезпечення показників ремонтпридатності: доступності до органів управління, місць регулювання та налаштування; можливість проведення зовнішнього огляду та обслуговування; доступність та можливість зручної заміни робочих органів і деталей, що швидко зношуються; проведення ТО у мінімальний термін.

Особливе місце в керівних матеріалах на експлуатацію ЗПРК займає рівень кваліфікації персоналу, аналіз можливих помилок при експлуатації машин та рекомендації на їх усунення. Це підтверджує важливість дослідження впливу людського фактору на надійність ЗПРК як СТС «ЛМС» [1, 9, 17, 18].

Персонал, що зайнятий експлуатацією змішувачів-кормороздавачів, повинен знати їх будову та правила експлуатації, виконувати відповідні виробничі інструкції, забезпечувати дотримання оптимальних режимів та встановлених параметрів роботи, підтримувати їх у справному стані, запобігати випадкам аварійного виходу з ладу [33].

Як зазначено в [33], підприємства, що експлуатують змішувачі-кормороздавачі, зобов'язані проводити технічне навчання виробничого персоналу, що займаються експлуатацією обладнання, за відповідними програмами та у передбачені терміни з урахуванням особливостей встановленого обладнання та конкретних умов експлуатації. Організація навчання персоналу, а також перевірка рівня знань кваліфікаційними комісіями має проводитися відповідно до порядку, прийнятого на підприємстві. Періодична перевірка знань персоналом виробничих інструкцій має проводитися не рідше одного разу на три роки.

Слід звернути увагу, що в інструкції на експлуатацію ПРСК-12.00.00.000 РЭ [31] міститься інформація про можливі помилкові дії персоналу, що можуть призвести до руйнування засобу та способи їх усунення.

За результатами моніторингу проведено порівняльний аналіз заходів з оцінки технічного стану та підвищення надійності МПЗ, які передбачені в інструкціях на експлуатацію ЗПРК [13, 14, 31, 33, 34]. Порівняльний аналіз передбачає формування основних положень, що є визначальними для оцінки технічного стану та підвищення надійності ЗПРК з горизонтальними змішувально-подрібнювальними органами (табл. 2). Він включає:

- інформація про показники надійності ЗПРК;
- періодичність ТО і ремонту ЗПРК, відновлення робочих органів;

Таблиця 2 – Визначальні положення для оцінки технічного стану деталей і робочих органів ЗПРК

Показники для оцінки технічного стану деталей і робочих органів	Марка засобу для приготування і роздавання кормів					
	Змішувач-кормороздавач EUROMIX II 1460-1860	Кормороздавач РСК-12.00.00.000 РЭ	Навантажувач-роздавач-змішувач кормів ПРСК-12	Кормороздавач PA15R. IF-STOLL	Мобільний-кормозмішувач «DeLaval»	Змішувачі-кормороздавачі. Обґрунтування безпеки
Інформація про показники надійності ЗПРК (механізмів, робочих органів)	–	+	+	–	+	+
Періодичність ТО і ремонту ЗПРК відновлення робочих органів	+	+	+	+	+	+
Відомості про трудомісткість ТО і ремонту ЗПРК, відновлення деталей	–	–	+	+	+	+
Схеми монтажу-демонтажу механізму, відновлення робочих органів	+	–	–	–	+	–
Інформація про характерні відмови та послідовність їх усунення;	+	+	+	+	–	–
Інформація про критерії граничного стану робочих органів	+	+	+	+	+	+
Рівень кваліфікації персоналу, що експлуатує та обслуговує ЗПРК	–	+	+	–	–	+
Інформація про вимоги при встановлення на зберігання	+	+	+	–	–	–

Джерело: розроблено на підставі [13, 14, 31, 33, 34]

- відомості про трудомісткість ТО і ремонту машин, відновлення робочих органів;
- схеми монтажу-демонтажу механізму, відновлення робочих органів;
- інформація про характерні відмови та послідовність їх усунення;
- інформація про критерії граничного стану робочих органів і деталей;
- рівень кваліфікації персоналу, що експлуатує та обслуговує ЗПРК;

- інформація про вимоги при встановленні на зберігання.

Моніторинг результатів системного аналізу, що представлено в таблиці 2 вказує на те, що не всі керівні матеріали на експлуатацію ЗПРК з горизонтальними змішувально-подрібнювальними органами містять достатній об'єм інформації, який необхідний для оцінки та забезпечення їх надійності. У більшості керівних матеріалів на експлуатацію ЗПРК відсутня інформація про їх одиничні та комплексні показники надійності, критерії граничного стану робочих органів, відомості про трудомісткість ТОР.

Практично відсутня інформація щодо вимог до підготовки персоналу, що займається експлуатацією, технічним обслуговуванням і ремонтом ЗПРК, встановленням та зняттям їх зі зберігання.

Слід звернути увагу споживачів на те, що не всі керівні матеріали містять інформацію про такі важливі складові ефективного використання ЗПРК, як комплектність машин та їх гарантійне обслуговування.

Окремо слід звернути увагу на наявність в керівних матеріалах рекомендацій щодо утилізації машин, зношених робочих органів і деталей, витратних матеріалів і технічних рідин.

Висновки. Виходячи із зазначеного, можна стверджувати, що розвиток техніки і технологій, складність взаємозв'язків технічних об'єктів, вплив людського фактору викликають необхідність розробки науково-обґрунтованих принципів і єдиних підходів для вибору методів і критеріїв для оцінки надійності ЗПРК з горизонтальними змішувально-подрібнювальними органами.

1. За результатами досліджень обґрунтовано використання перспективного наукового підходу до підвищення надійності засобів для приготування і роздавання кормів на основі моніторингу технічного стану виходячи з аналізу керівних матеріалів на їх експлуатацію.

2. Сформована можливість проведення системного аналізу заходів з оцінки технічного стану і підвищення надійності ЗПРК з горизонтальними змішувально-подрібнювальними органами.

3. Встановлено, що для більшості керівних матеріалів на експлуатацію ЗПРК відсутня інформація про їх одиничні та комплексні показники надійності, критерії граничного стану робочих органів, відомості про трудомісткість технічного обслуговування і ремонту, характерні несправності, відмови та способи їх усунення.

4. Значним резервом у забезпеченні надійності засобів є наявність інформації про підготовку та професійно важливі якості персоналу який займається їх монтажем та експлуатацією, технічним обслуговуванням та ремонтом, зберіганням та утилізацією.

5. Доцільно в межах реалізації Програми забезпечення надійності [12] для ЗПРК провести: контроль якості запасних частин; аналіз причин відмов і організацію зворотного зв'язку з етапами проектування та виготовлення; впровадження сучасних технологій ремонту; розробку методології та засобів технічної діагностики залишкового ресурсу.

6. Впровадження результатів представлених досліджень проектними організаціями та заводами сільськогосподарського машинобудування дасть можливість підвищити споживчі якості засобів для приготування і роздавання кормів та надійність в експлуатації, забезпечити ресурсозбереження та імпортозаміщення, дозволить підвищити показники довговічності та ремонтпридатності.

Список літератури

1. Andriy Novitskiy, Aleksandr Bannyi. Логико – вероятностные модели надёжности сложной техники. *Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture*. Lublin, 2012. Vol. 14, №3. P. 184–190.

2. Aulin, V., Hrynkiy, 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 (2020). *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 22 (2), pp. 3-14.
3. Novitskiy A., Karabinhosh S. Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. *Machinery & Energetics*. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 2. 241. P. 106-121.
4. Pylypaka S. F., Klendii M. B., Trokhaniak V. I., Pastushenko A. S., Novitskiy A. V. Movement of a material particle on an inclined plane all the points of which describe circles in oscillatory motion in the same plane. *Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series*. №1 (97) / 2020. Karaganda, 2020. pp. 122–131. Scopus. WoS.
5. Rogovskii I. L. Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 2017. Vol. 258. P. 399–407.
6. Rogovskii I., Titova L., Novitskiy A., Rebenko V. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*. 2019. Vol. 18. P. 291-298.
7. Vasyl Khmelovskiy, Volodymyr Otchenashko, Semen Voloshyn, Olena Pinchevska. Providing processes of preparation and distribution of feed for cattle on animal husbandry farms. *Engineering for rural development: Proceedings of 18th International Scientific Conference*. Jelgava, Latvia, May 20-22, 2020. pp. 778–783. Scopus. WoS.
8. Andriy Novitskiy. Forming reliability of means for preparation and disposal of forage. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2017. Vol. 19. No 3. 123–128.
9. Андрей Новицкий, Александр Банний Логико-вероятностное моделирование надежности сложной сельскохозяйственной техники. *Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture*. 2016. Vol. 14, №3. P. 187–196.
10. Аулін В. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Лисенко С. В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія. Кропивницький: Видавництво ТОВ «КОД», 2017. 370 с.
11. ДСТУ 3278-95. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Основні терміни та визначення. Держстандарт України. Київ. 59 с.
12. ДСТУ 2861-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. Видання офіційне. Держстандарт України. Київ. 16 с.
13. Кормораздатчик PA15R. IF-STOLL. Инструкция по эксплуатации. 2010. 80 с.
14. Кормораздатчик РСК. Руководство по эксплуатации РСК-12.00.00.000 РЭ. 2020. 82 с.
15. Ловейкін В. С., Хмельовський В. С., Гудова А. В. Підвищення ефективності роботи мобільних змішувачів-роздавачів кормів. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: механізація і автоматизація виробничих процесів*. 2016. Вип. 10/2 (30). С. 107–111.
16. Мобільний кормозмішувач «DeLaval». Інструкція з експлуатації. 65 с.
17. Новицкий А. В. Исследование вероятности безотказной работы средств для приготовления и раздачи кормов как систем «Человек-Машина». *Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture*. Lublin, 2015. Vol. 17, № 3. P. 335–341.
18. Новицкий А. В., Мельник В. И., Билоус М. С. Формирование профессионально важных качеств инженерно-технического персонала при обслуживании сельскохозяйственной техники. *Сборник научных трудов SWorld*, 18 – 30 Марта 2014г. Технические науки, Том 3. 2014. С. 63–67.
19. Новицкий А. В., Ружи́ло З. В. Аналіз відмов засобів для приготування і роздавання кормів. *Науковий вісник НУБіПУ. Серія «Техніка та енергетика АПК»*. Вип. 226. К., 2015. С. 253–259.
20. Новицкий А. В. Методологія дослідження надійності техніки на основі логіко-ймовірнісного моделювання. Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України : збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції , присвяченої 20-й річниці з дня створення факультету конструювання та дизайну НУБіПУ. К. 2021. С. 274–276.
21. Новицкий А. В. Моніторинг матеріально-технічного забезпечення та надійності техніки АПК в системі розвитку інноваційних процесів. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019. vol. 10. no.3. P. 101–108.
22. Новицкий А. В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування складних технічних систем у тваринництві. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2016. Вип. 254, ч. 3. С. 221–335.
23. Новицкий А. В. Оцінка надійності засобів для приготування і роздавання кормів в залежності від умов і режимів їх експлуатації. *Науковий вісник НУБіПУ. Серія «Техніка та енергетика АПК»*. Вип. 212, ч. 1. К., 2015. С. 141–147.
24. Новицкий А. В., Банний О. О. Надійність сільськогосподарської техніки в системі інноваційних процесів з досвіду зарубіжних компаній. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, p. 115–124.

25. Новицький А. В., Банний О. О. Статистичний аналіз функціонування ремонтної служби України 2021 *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 12, No 2, p. 39–47.
26. Новицький А. В., Банний О. О., Бистрий О. М. Дослідження впливу експлуатаційних факторів на технічний стан сільськогосподарської техніки 2021 *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, p. 39–46.
27. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Логіко-імовірнісна модель надійності засобів для приготування і роздавання кормів. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Механізація та автоматизація виробничих процесів*. 16. Вип. 10(2). С. 137–141.
28. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Технічна оцінка споживчих якостей сільськогосподарської техніки. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2017. Вип. 264 (2017). С. 293–303.
29. Новицький А. В., Ружи́ло З. В., Котречко О.О. Забезпечення надійності сільськогосподарської техніки в системі розвитку інноваційних процесів. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. 2019, Vol. 10, No 3, P. 151–157.
30. Новицький А. В., Харьковський І. С., Новицький А. В. Моніторинг технічного стану сільськогосподарської техніки за керівними матеріалами на її експлуатацію. 2021. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. 2021, Vol. 12, No 4, p. 85–93.
31. Погрузчик-раздатчик-смеситель кормов ПРСК 12. ПРСК-12.00.00.000 РЭ. 2020. 80 с.
32. Ружи́ло З. В., Новицький А. В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування систем «ЛМС» під впливом технічного обслуговування і ремонту. *Науковий Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів»*. 2016. Вип. 2. С. 223–231.
33. Смесители–кормораздатчики обоснование безопасности. Код ОКПО.28.22.18.001 ОБ. Самара, 2018. 42 с.
34. Смеситель–кормораздатчик EUROMIX II 1460-1860. 2017. 75 с.
35. Шацкий В. В. Моделирование биотехнических систем. Запорожье: Интер-М, 2017. 300 с.

References

1. Andriy Novitskiy, Aleksandr Bannyi. (2012). Lohyko – veroiatnostnye modeli nadězhnosti slozhnoi tekhniky. *Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. Lublin, Vol. 14, 3, P. 184–190* [in English].
2. Aulin, V., Hryniv, A., Lyashuk, O., Vovk, Y., Lysenko, S., Holub, D. et al. (2020). Increasing the functioning efficiency of the working warehouse of the "Uvk Ukraine" company transport and logistics center. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 22 (2)*, pp. 3–14 [in English].
3. Novitskiy, A. & Karabinhosh, S. (2018). Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. *Machinery & Energetics. Vol. 9. No. 2. 241. P. 106–121* [in English].
4. Pylypaka, S.F., Klendii, M.B., Trokhaniak, V.I., Pastushenko, A.S., Novitskiy, A.V. (2020). Movement of a material particle on an inclined plane all the points of which describe circles in oscillatory motion in the same plane. *Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. №1 (97) / 2020. Karaganda, pr. 122–131. Scopus. WoS* [in English].
5. Rogovskii, I.L. (2017). Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Vol. 258. P. 399–407* [in English].
6. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A. & Rebenko, V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development. Vol. 18. P. 291–298* [in English].
7. Vasyl Khmelovskiy, Volodymyr Otchenashko, Semen Voloshyn, Olena Pinchevska. (2020). Providing processes of preparation and distribution of feed for cattle on animal husbandry farms. *Proceedings of 18th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 20–22, pp. 778–783. Scopus. WoS* [in English].
8. Andriy Novitskiy. (2017). Forming reliability of means for preparation and disposal of forage. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 19. No 3. 123–128* [in English].
9. Andrej Novickij & Aleksandr Bannyj (2016). Logiko-verojatnostnoe modelirovanie nadezhnosti slozhnoj sel'skohozejstvennoj tekhniki. *Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. Lublin, Vol. 14, №3. R. 187–196* [in Russian].
10. Aulin, V.V., Holub, D.V., Hryniv, A.V. & Lysenko, S.V. (2017). *Metodolohichni i teoretychni osnovy zabezpechennia ta pidvyshchennia nadiinosti funktsionuvannia avtomobilnykh transportnykh system* [Methodological and theoretical foundations of ensuring and increasing the reliability of the functioning of automobile transport systems]. Kropyvnytskyi: Vydavnytstvo TOV «KOD» [in Ukrainian]

11. Systema rozroblennia ta postavlennia produktsii na vyrobnytstvo. Osnovni terminy ta vyznachennia. [The system of development and delivery of products for production. Basic terms and definitions](1995). DSTU 3278-95. Derzhstandart Ukrainy. Kyiv [in Ukrainian].
12. Nadiinist tekhniky. Analiz nadiinosti. Osnovni polozhennia. [Reliability of equipment. Reliability analysis. Substantive provisions]. (1994). DSTU 2861-94. Vydannia ofitsiine. Derzhstandart Ukrainy. Kyiv [in Ukrainian].
13. Kormorazdatchik PA15R. IF-STOLL. [Feed dispenser PA15R. IF-STOLL]. (2010). Instrukcija po jekspluatatsii. [in Russian].
14. Kormorazdatchyk RSK. [Kormorazdatchik RSK]. (2020). Rukovodstvo po jekspluatatsii RSK [in Russian].
15. Loveikin, V.S., Khmelovskiy, V.S. & Hudova, A.V. (2016). Pidvyshchennia efektyvnosti roboty mobilnykh zmishuvachiv-rozdavachiv kormiv [Improving the efficiency of mobile mixers-distributors of fodder]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarynoho universytetu. Seriya: mekhanizatsiia i avtomatyzatsiia vyrobnychyykh protsesiv – Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Series: mechanization and automation of production processes, Issue 10/2 (30), 107–111.* [in Ukrainian].
16. Mobilnyi kormozmishuvach «DeLaval» [DeLaval mobile feed mixer.]. Instruktziia z ekspluatatsii. [in Ukrainian].
17. Novytskyi, A.V. (2015). Yssledovanye veroiatnosti bezotkaznoi raboty sredstv dlia pryhotovleniia y razdachy kormov kak system «Chelovek-Mashyna» [Investigation of the probability of failure-free operation of means for the preparation and distribution of fodder as "Man-Machine" systems]. *Motrol, motoryzatsiia i energetyka rol'nictva motorization and power industry in agriculture. Lublin, Vol. 17, № 3, P. 335–341.* [in Russian].
18. Novickij, A.V., Mel'nik, V.I. & Bilous, M.S. (2014). Formirovanie professional'no vazhnykh kachestv inzhenerno-tehnicheskogo personala pri obsluzhivanii sel'skohozyajstvennoj tehniky [Formation of professionally important qualities of engineering and technical personnel when servicing agricultural machinery.]. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld, Tehnicheskie nauki (18 – 30 Marta 2014g.) – Collection of scientific papers SWorld (March 18 - 30). Technical science, Vol.3, 63–67* [in Russian].
19. Novytskyi, A.V. & Ruzhylo, Z.V. (2015). Analiz vidmov zasobiv dlia pryhotuvannia i rozdavannia kormiv [Analysis of failures of means for preparing and distributing fodder]. *Naukovyi visnyk NUBiPU. Seriya «Tekhnika ta enerhetyka APK» – Scientific Bulletin of NUBiPU. Series "Agricultural machinery and energy", Issue. 226, 253–259.* [in Ukrainian].
20. Novytskyi, A.V. (2021). Metodolohiia doslidzhennia nadiinosti tekhniky na osnovi lohiko-ymovirnisnoho modeliuvannia [Methodology for researching reliability of equipment based on logical-probabilistic modeling]. *Modern problems and prospects for the development of mechanical engineering in Ukraine: Mizhnarodna naukovo-praktychna onlain-konferentsiia, prysviachenoj 20-y richnytsi z dnia stvorennia fakultetu konstruiuvannia ta dyzainu NUBiPU. K., 274–276.* [in Ukrainian].
21. Novytskyi, A.V. (2019). Monitorynh materialno-tehnichnoho zabezpechennia ta nadiinosti tekhniky APK v systemi rozvytku innovatsiinykh protsesiv [Monitoring of material and technical support and reliability of agricultural machinery in the system of development of innovative processes]. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research, Vol. 10, no.3, P. 101–108.* [in Ukrainian].
22. Novytskyi, A.V. (2016). Ohliad teoretychnykh doslidzhen nadiinoho funktsionuvannia skladnykh tekhnichnykh system u tvarynnystvi [Review of theoretical studies of reliable functioning of complex technical systems in animal husbandry]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Tekhnika ta enerhetyka APK – Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: Technology and energy of agricultural industry, K., Issue. 254, part. 3. S. 221–335.* [in Ukrainian].
23. Novytskyi, A.V. (2015). Otsinka nadiinosti zasobiv dlia pryhotuvannia i rozdavannia kormiv v zalezhnosti vid umov i rezhymiv yikh ekspluatatsii [Assessment of the reliability of means for preparing and distributing fodder depending on the conditions and modes of their operation]. *Naukovyi visnyk NUBiPU. Seriya «Tekhnika ta enerhetyka APK» – Scientific Bulletin of NUBiPU. Series "Agricultural machinery and energy", Issue 12, part. 1, 141–147.* [in Ukrainian].
24. Novytskyi, A.V. & Bannyi, O.O. (2020). Nadiinist silskohospodarskoi tekhniky v systemi innovatsiinykh protsesiv z dosvidu zarubizhnykh kompanii [Reliability of agricultural machinery in the system of innovative processes from the experience of foreign companies]. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research, Vol. 11, 2, 115–124.* [in Ukrainian].
25. Novytskyi, A.V. & Bannyi, O.O. (2020). Statystychnyi analiz funktsionuvannia remontnoi sluzhby Ukrainy 2021 [Statistical analysis of the functioning of the repair service of Ukraine in 2021]. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research, Vol. 12, 2, 39–47.* [in Ukrainian].
26. Novytskyi, A.V., Bannyi, O.O. & Bystryi, O.M. (2021). Doslidzhennia vplyvu ekspluatatsiinykh faktoriv na tekhnichnyi stan silskohospodarskoi tekhniky [Study of the influence of operational factors on the

- technical condition of agricultural machinery]. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*, Vol. 12, 4, 39-46 [in Ukrainian].
27. Novytskyi A. V., Novytskyi Yu. A. Lohiko-imovirnisna model nadiinosti zasobiv dlia pryhotuvannia i rozdavannia kormiv [Logical-probabilistic model of the reliability of means for preparing and distributing fodder]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarynoho universytetu. Seriiia : Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychkykh protsesiv – Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Series: Mechanization and automation of production processes*, 16. Issue, 10(2), 137–141. [in Ukrainian].
 28. Novytskyi, A.V., & Novytskyi, Yu.A. (2017). Tekhnichna otsinka spozhyvchykh yakosti silskohospodarskoi tekhniki [Technical assessment of consumer qualities of agricultural machinery]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriiia: Tekhnika ta enerhetyka APK – Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: Technology and energy of agricultural industry*, Issue. 264, 293–303. [in Ukrainian].
 29. Novytskyi, A.V., Ruzhylo, Z.V. & Kotrechko, O.O. (2019). Zabezpechennia nadiinosti silskohospodarskoi tekhniki v systemi rozvytku innovatsiinykh protsesiv [Ensuring the reliability of agricultural machinery in the system of development of innovative processes]. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*, Issue. 10, No 3, P. 151–157. [in Ukrainian].
 30. Novytskyi A.V., Kharkovskyi I.S. & Novytskyi A.V. (2021). Monitorynh tekhnichnoho stanu silskohospodarskoi tekhniki za kerivnymi materialamy na yii ekspluatatsiiu [Monitoring of the technical condition of agricultural machinery according to guidance materials for its operation]. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research* Vol. 12, No 4, 85-93 [in Ukrainian].
 31. Pohruzchik-razdatchyk-smesytel kormov PRSK 12. PRSK-12.00.00.000 RЭ. 2020. 80 s. [in Ukrainian].
 32. Ruzhylo, Z.V. & Novytskyi, A.V. (2016). Ohliad teoretychnykh doslidzhen nadiinoho funktsionuvannia system «LMS» pid vplyvom tekhnichnoho obsluhovuvannia i remontu. *Naukovyi Zhurnal «Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv»*, Issue. 2, 223–231. [in Ukrainian].
 33. Smesiteli–kormorazdatchiki obosnovanie bezopasnosti [Feed mixers safety case]. (2018). Kod OKPO.28.22.18.001 OB. Samara, 42 s. [in Russian].
 34. Smestitel'-kormorazdatchik EUROMIX II 1460-1860 [Feeder EUROMIX II 1460-1860]. 2017. 75 p [in Russian].
 35. Shackij, V.V. (2017). *Modelirovanie biotekhnicheskikh sistem [Modeling of biotechnical systems]*. Zaporozh'e: Inter-M [in Russian].

Andrey Novitskiy, Assoc. Prof., Ph.D. tech. sci.,

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

Monitoring of the technical condition of MPDF on guidelines for their operation

The efficiency of use and increase the reliability of agricultural machinery depends on the regulatory and technical documentation governing the requirements for its technical condition and operation. The analysis of the existing normative-technical and guiding documents on ensuring the reliability of means for preparation and distribution of fodder is given. To effectively carry out maintenance and repair of means for the preparation and distribution of feed should know: the criteria for disability; maximum and permissible parameters of technical condition; indicators of the transition of equipment from working to inoperable condition.

The article presents the monitoring of instructions for maintenance and operation of machines, guide materials for use from the standpoint of their informativeness on the implementation of reliability requirements. Monitoring of technical condition was carried out for foreign samples of means for preparation and distribution of feed with horizontal mixing and grinding mechanisms. The mechanisms are analyzed from the standpoint of the availability of information about the features of the structure, the characteristic faults and failures, the main ways to restore efficiency. Ensuring reliability includes several activities throughout the life cycle.

The main provisions for assessing the technical condition and improving the reliability of machines when using guide materials. The provisions include: information on the reliability of machines, mechanisms, working bodies; periodicity of maintenance and repair of machines, restoration of working bodies; information on the complexity of maintenance and repair of machines, restoration of working bodies; schemes of assembly and disassembly of mechanisms; information on typical failures and the sequence of their elimination; information on the limit state criteria; technologies for the restoration of working bodies; information on installation requirements.

The current normative documents of the system of general technical requirements for the means for the preparation and distribution of feed do not fully meet the organizational and methodological aspects of ensuring their reliability.

means for preparation and distribution of fodder, machine, monitoring, reliability, technical condition, operability, guiding materials

Одержано (Received) 12.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 26.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 621.664

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.86-96](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.86-96)

Ю.В. Кулешков, проф., д-р. техн. наук, **М.В. Красота**, доц., канд. техн. наук,
Т.В. Руденко, доц., канд. техн. наук, **Р.А. Осін**, доц. канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Ю.Б. Євсейчик, доц., канд. фіз.-мат. наук

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

e-mail: kul090455@gmail.com

Визначення раціонального радіального зазору в шестеренному насосі гідросистем автотракторної техніки

В статті розглянуто вплив величини радіального зазору між корпусом та шестернями шестеренного насоса гідросистеми автотракторної техніки. Наведені результати досліджень залежності втрат робочої рідини через радіальний зазор між зубами шестерень та корпусом шестеренного насоса. Визначені основні параметри, що впливають на величину втрат та раціональні значення радіального зазору, за яких вони будуть мінімальними. Запропоновано підвищити довговічність шестеренного насоса гідросистем автотракторної техніки наступними шляхами: зменшенням початкового зносу корпусу; виключення подальшого зносу деталей радіального з'єднання використанням ефекту фрикційної складової руху робочої рідини в радіальному зазорі.

шестеренний насос, радіальний зазор, втрати робочої рідини

Постановка проблеми. В гідросистемах автотракторної техніки широке розповсюдження отримали насоси шестеренного типу. Даний агрегат багато в чому визначає ефективність виконання навантажувально-розвантажувальних робіт спеціальних автомобілів, а також операцій з сільськогосподарськими машинами, що входять до складу машино-тракторного агрегату та приводяться в дію від гідросистеми трактора.

Працездатність та довговічність шестеренного насоса в значній мірі залежить від величини радіального зазору.

Під радіальним зазором розуміють зазор між корпусом і вершинами зубів шестерень. В більшості випадків, за оцінкою різних авторів [1-13], втрати робочої рідини через радіальні зазори складають 20...25%. І, незважаючи на те, що втрати робочої рідини через радіальні зазори не є основними, вони відіграють значну роль в довговічності шестеренного насоса. Цей факт пояснюється наступним.

При виготовленні шестеренного насоса для підвищення коефіцієнта подачі намагаються виконати радіальний зазор мінімальним. Цього досягають тим, що для створення нульового радіального зазору в з'єднанні «корпус - шестерні» обробку ділянки розділення робочих порожнин на стінках колодязів корпусу здійснюють врізанням зубів шестерень в стінки його корпусу під дією тиску робочої рідини на стадії обкатування насоса [13].

Створення нульового радіального зазору таким способом призводить до початкового зносу корпусу шестеренного насоса ще на стадії його виготовлення, що знижує його довговічність.

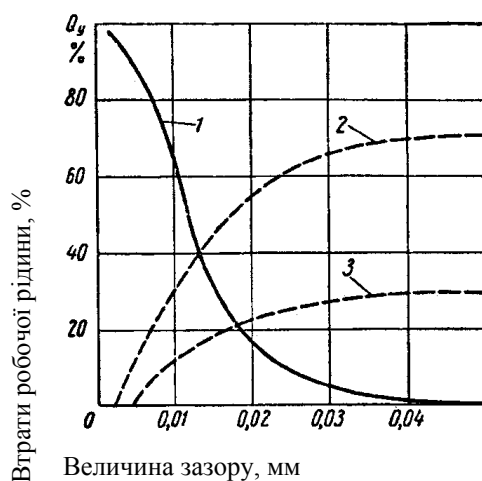
Аналіз останніх досліджень і публікацій. Втрати робочої рідини через зазори в з'єднаннях деталей відіграють ключову роль в зниженні коефіцієнта подачі шестеренного насоса. Постає питання про співвідношення втрат через різні зазори шестеренного насоса. Існуючі в даному напрямку дослідження по-різному вирішують це питання.

Так, Т.М. Башта [1-5] вважає, що на торцеві втрати робочої рідини припадає 75...80% сумарних втрат в шестеренному насосі. Однак, ці дані автор наводить для шестеренних насосів, у яких відсутня автокомпенсація торцевих зазорів. Щодо залежності втрат робочої рідини від величини зазорів дослідник наводить такі дані: при збільшенні торцевого зазору на 0,1 мм коефіцієнт подачі знижується приблизно на 20%, а при збільшенні радіального зазору у з'єднанні «корпус – шестерні» - на 0,1 мм коефіцієнт подачі зменшується приблизно на 0,25%.

Є.М. Юдін [6] розподіляє обсяг втрат робочої рідини за значимістю аналогічно Т.М. Башті: торцеві втрати, втрати через радіальні зазори і втрати через нещільність міжзубового контакту.

В результаті експериментального визначення втрат робочої рідини Рибкін Є.А., Усов А.А. у роботі [7] представили результати своїх досліджень у вигляді графічних залежностей, наведених на рис. 1.

Виходячи з отриманих залежностей, автори роблять висновок, що втрати робочої рідини через зазор у міжзубовому контакті є суттєвими тільки в насосах з дуже малими величинами торцевих і радіальних зазорів, а вже при зазорах 0,02 – 0,03 мм домінуючими стають втрати через торцеві зазори.



1 – втрати через зазор в міжзубовому контакті; 2 – втрати через торцевий зазор;
3 – втрати робочої рідини через радіальний зазор

Рисунок 1 – Залежність втрат робочої рідини від зазорів в шестеренному насосі
Джерело: розроблено [7]

Савунов М.П. [8] найбільш значимими вважає втрати робочої рідини через торцеві і радіальні зазори. При цьому, втрати робочої рідини через міжзубовий контакт, на його думку, незначні, тому що в місцях контакту розвивається значний тиск, який викликає деформацію і підвищує щільність прилягання профілів. Крім того, герметичність міжзубового контакту в процесі експлуатації насоса не погіршується, а може навіть покращуватися внаслідок поступового припрацювання поверхонь зубів, що контактують.

Згідно з Калашниковим В.І. [9], порядок значимості втрат робочої рідини в шестеренному насосі такий: втрати через торцеві, радіальні зазори, через міжзубовий

контакт та через радіальні зазори між втулками та цапфами шестерень. При цьому, він вважає, що величина втрат робочої рідини через міжзубовий контакт у 2 рази менша ніж торцевих.

Ібрагімов Р.А. у роботі [10] наводить кількісний розподіл втрат робочої рідини через зазори в основних з'єднаннях шестеренного насоса. При цьому, він стверджує, що втрати робочої рідини через зазори в основних з'єднаннях шестеренного насоса залежать від тиску та температури робочої рідини. Найбільші втрати робочої рідини доводяться на радіальний зазор – 44...75%, торцеві зазори – 18,6...44% та через міжзубовий контакт 3,5...8,2% [10].

В роботі [11] запропоновано оригінальний підхід до визначення розподілу втрат робочої рідини через відповідні зазори, а саме визначено темп втрат робочої рідини залежно від величини зазору. Були отримані такі результати: темп втрат через міжзубовий зазор 100 %, через торцеві зазори 15,7 %, через радіальний зазор 5,14%.

В статті [12] пропонується математична модель втрат робочої рідини через радіальні зазори, яка враховує те, що в зоні ущільнення радіального зазору за один цикл роботи насоса знаходиться різна кількість зубів шестерень.

В публікації [13] наведено аналіз існуючих моделей втрат робочої рідини через радіальний зазор. Велике різноманіття виразів для підрахунку втрат робочої рідини між дуговою поверхнею корпусу і зовнішньою циліндричною поверхнею шестерні вказує на те, що немає єдиної думки дослідників в даному питанні. Це стало однією з причин того, що нові шестеренні насоси вже після обкатування і випробування мають знос в зоні отвору всмоктування внаслідок того, що радіальний зазор формується шляхом навмисного "врізання" шестерень в корпус. Такий стан справ не може задовольняти сучасні вимоги насособудування. Тому, подальші дослідження закономірностей втрат робочої рідини через радіальний зазор [12] безумовно є актуальними.

З вищенаведеного витікає, що не існує єдиної думки про втрати робочої рідини через зазори в з'єднаннях шестеренного насоса. Однак, всі дослідники одноставно стверджують, що понад 75...90 % втрат робочої рідини доводяться на торцеві та радіальні зазори.

Постановка завдання. Метою досліджень є зниження втрат робочої рідини через радіальний зазор шляхом визначення раціонального радіального зазору між зубами шестерень та корпусом шестеренного насосу.

Викладення основного матеріалу. В даній роботі пропонується підвищити довговічність шестеренного насоса наступними шляхами: зменшенням початкового зносу корпусу; виключення подальшого зносу деталей радіального з'єднання використанням ефекту фрикційної складової руху робочої рідини в радіальному зазорі.

Втрати робочої рідини через радіальний зазор можливо описати наступною залежністю [13]

$$q_p = \left(\frac{\Delta P \cdot \delta_p^3}{12 \cdot \mu \cdot l_z} - \frac{r_a \cdot \omega \cdot \delta_p}{2} \right) \cdot b, \quad (1)$$

де δ_p – радіальний зазор, м;

ΔP – перепад тиску між камерами всмоктування і нагнітання, Па;

μ – в'язкість робочої рідини, Па·с;

l_z – довжина зони ущільнення вершин зубів шестерень корпусом, м;

r_a – зовнішній радіус шестерні, м;

ω – кутова швидкість обертання шестерень насоса, с⁻¹;

b – ширина шестерень, м.

або через частоту обертання враховуючи, що

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n, \quad (2)$$

де n - частота обертання шестерень насоса, об/с,

отримаємо залежність для визначення втрат робочої рідини через радіальний зазор між корпусом і вершинами зубів шестерень

$$q_p = \left(\frac{\Delta P \cdot \delta_p^3}{12 \cdot \mu \cdot l_z} - r_a \cdot \pi \cdot n \cdot \delta_p \right) \cdot b. \quad (3)$$

Тоді, сумарні втрати робочої рідини через радіальні зазори для ведучої і веденої шестерень за один оберт насоса складуть

$$q_{1p} = \left(\frac{\Delta P \cdot \delta_p^3}{6 \cdot \mu \cdot l_z \cdot n} - 2 \cdot r_a \cdot \pi \cdot \delta_p \right) \cdot b. \quad (4)$$

Розрахунки за (4) будемо проводити з вихідними даними, що відповідають шестеренному насосу типу НШ-32: $\delta_p = 0,035 \cdot 10^{-3}$ м; $\Delta P = 16$ МПа; $\mu = 53,4$ Па·с $l_z = 1 \cdot 10^{-3} \dots 3 \cdot 10^{-3}$ м; $r_a = 27,5 \cdot 10^{-3}$ м; $n = 10 \dots 40$ об/с, $b = 22 \cdot 10^{-3}$ м; $V_0 = 32 \cdot 10^{-6}$ м/с.

Залежність втрат робочої рідини через радіальні зазори від частоти обертання для шестерень з різною шириною вершин $l_{z1} = 1 \cdot 10^{-3}$ м, $l_{z2} = 2 \cdot 10^{-3}$ м і $l_{z3} = 3 \cdot 10^{-3}$ м представлена на рис. 2.

Аналізуючи (4), бачимо, що керувати втратами робочої рідини через радіальні зазори можливо зміною трьох параметрів, а саме ширини вершин шестерень l_z , частоти обертання шестерень n і зовнішнього радіуса шестерень r_a .

З рис. 2 та (4) бачимо, що втрати робочої рідини через радіальні зазори змінюються по гіперболічній залежності. Більш чутлива залежність втрат робочої рідини через радіальний зазор (4) для шестерень з меншою шириною вершини зуба.

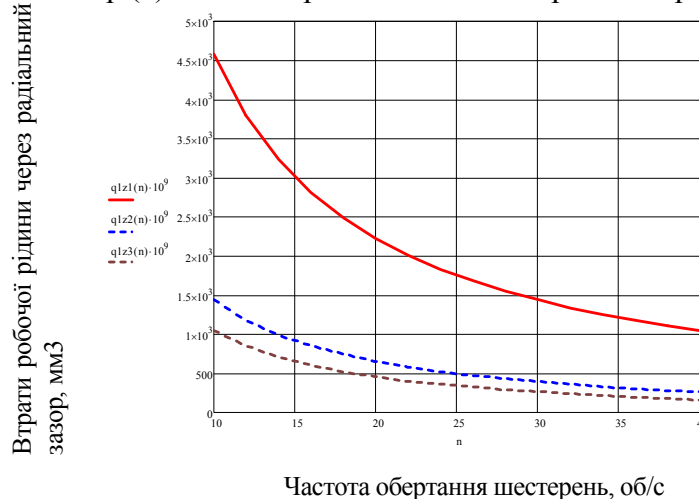


Рисунок 2 - Залежність втрат робочої рідини через радіальні зазори від частоти обертання для шестерень з різною шириною вершин $l_{z1} = 1 \cdot 10^{-3}$ м, $l_{z2} = 2 \cdot 10^{-3}$ м і $l_{z3} = 3 \cdot 10^{-3}$ м.

Джерело: розроблено авторами

Аналізуючи (1), (3) і (4) з точки зору фізики процесу втрат робочої рідини через радіальний зазор бачимо, що перший доданок формул (1), (3) і (4) – це напірна складова втрат робочої рідини. Тобто, причиною втрат робочої рідини через радіальний зазор, є тиск робочої рідини, що створюється насосом, і спрямовуються вони назустріч обертанню шестерень.

Другий доданок в цих формулах являє собою фрикційну складову руху втрат

робочої рідини через радіальний зазор. Як видно з залежностей (1), (3) і (4) фрикційна складова втрат робочої рідини направлена в бік, протилежний напрямку втрат робочої рідини дією тиску, тобто співпадає з напрямком подачі насоса. При цьому, як видно з (3) вона пропорційна частоті обертання шестерень n , зовнішньому радіусу шестерні r_a і величині радіального зазору δ_p .

Рух робочої рідини в радіальному зазорі підпорядкований двом протилежно діючим силам. З одного боку, в напрямку з камери нагнітання до камери всмоктування діє сила гідравлічного тиску, а з іншого боку в протилежному напрямку на цю ж робочу рідину діє фрикційна сила, яка виникає через рух шестерень у в'язкій робочій рідині. Результат дії цих сил у вигляді характеру розподілу швидкості робочої рідини залежно від положення частки рідини на радіусі радіального зазору наочно представлений на рис. 3.

На рис. 3 видно, що робоча рідина біля вершини зуба шестерні має швидкість, що дорівнює лінійній швидкості руху шестерні. При пересуванні по радіусу фрикційна складова руху робочої рідини складається з руху робочої рідини під впливом перепаду тисків. В певний момент ця сума дорівнює нулю. Величина зазору в цій точці є раціональним зазором, при якому подача і коефіцієнт подачі насоса будуть максимальні. При подальшому просуванні по радіусу, швидкість часток робочої рідини знижується досягаючи нуля на корпусі насоса.

Логічно припустити, що існує таке співвідношення між частотою обертання шестерень і радіальним зазором, при якому фрикційна складова перевищує другий доданок. В цьому випадку втрати робочої рідини відповідно до (1), (3) і (4) стають позитивними і додаються, а не, як звичайно, віднімаються від подачі шестеренного насоса.

Тобто, збільшуючи частоту обертання шестерень, можливо не лише зменшити втрати робочої рідини через радіальний зазор, але й забезпечити збільшення як подачі, так і коефіцієнта подачі шестеренного насоса.

Цей феномен, з точки зору фізики, можна пояснити тим, що завдяки такій властивості робочої рідини як в'язкість, вона прилипає до твердих стінок. Її частина, що знаходиться в радіальному зазорі, захоплюється вершинами шестерень, що обертаються, і переноситься з камери всмоктування до камери нагнітання. Тобто, по суті зростає об'єм робочої камери насоса, причому за межі її геометричних розмірів. Як відомо, геометричні розміри робочої камери шестеренного насоса обмежуються діаметром вершин шестерень.

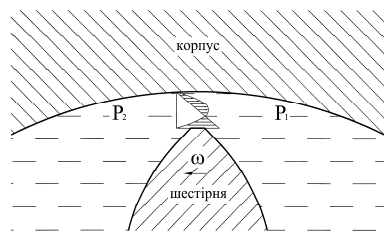


Рисунок 3 – Схема швидкостей руху робочої рідини через радіальний зазор при перепаді тиску між камерами нагнітання і всмоктування Δp і обертанні кутовій швидкості обертання шестерень $\omega > 0$.

Джерело: розроблено авторами

Прирівнявши (3) до нуля отримаємо рівняння

$$\frac{\Delta P \cdot \delta_p^2}{6 \cdot \mu \cdot l_z} - 2 \cdot r_a \cdot \pi \cdot n = 0. \quad (5)$$

Розв'язавши рівняння відносно частоти обертання n , отримаємо

$$n = \frac{\Delta P \cdot \delta_p^2}{12 \cdot \mu \cdot l_z \cdot r_a \cdot \pi} \quad (6)$$

Тобто при частоті обертання шестерень, що визначається з рівняння (5) втрати робочої рідини через радіальні зазори будуть відсутні.

Графічна ілюстрація розв'язання рівняння (6) наведена на рис. 4.

З (6) бачимо, що параметри, якими можливо керувати частотою обертання, залежать від радіального зазору δ_p , радіуса шестерень r_a і від товщини вершини зуба шестерні l_z .

Розглянемо вплив на втрати робочої рідини радіального зазору δ_p .

Вплив радіуса шестерень r_a на втрати робочої рідини через радіальний зазор суперечливий. З одного боку, збільшення радіуса шестерень r_a призводить до зменшення втрат робочої рідини через радіальний зазор, а з іншого боку до активації процесів кавітації, що викликає необхідність пропорційно зменшити частоту обертання шестерень.

З наведених залежностей бачимо, що збільшення товщини вершин зубів шестерень l_z пропорційно зменшує напірну складову втрат робочої рідини. Однак, експериментально встановлено, що працездатність зубчастого зачеплення зберігається лише при умові

$$\frac{r_a}{l_z} < 10. \quad (7)$$

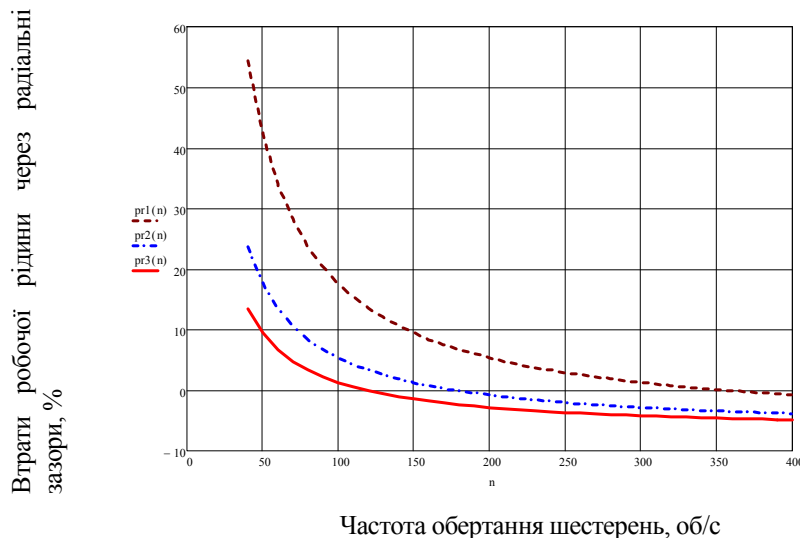


Рисунок 4 – Залежність втрат робочої рідини через радіальні зазори від частоти обертання для шестерень з різною шириною вершин $l_{z1} = 1 \cdot 10^{-3}$ м, $l_{z2} = 2 \cdot 10^{-3}$ м і $l_{z3} = 3 \cdot 10^{-3}$ м у відсотках від об'єму робочої камери можна визначити за формулою

Джерело: розроблено авторами

Перші насоси, які випускалися промисловістю мали низьку частоту обертання шестерень, що і спонукало до створення мінімального нульового радіального зазору шляхом врізання шестерень в корпус шестеренного насоса.

Частота обертання сучасних шестеренних насосів зросла в 3...4 рази, що дає можливість збільшити радіальний зазор без підвищення втрат робочої рідини.

Розрахунки за (6), що наведені в табл. 1 і на рис. 4 були здійснені за вихідними даними, що відповідають шестеренному насосу НШ-32.

Таблиця 1 – Частоти обертання шестерень та радіального зазору, при яких відсутні втрати робочої рідини через радіальний зазор

Товщина вершини зубів шестерень, м	Частота обертання шестерень, при якій втрати робочої рідини через радіальний зазор будуть відсутні, об/с
$l_{z1} = 1 \cdot 10^{-3}$ м	354,0
$l_{z2} = 2 \cdot 10^{-3}$ м	118,0
$l_{z3} = 3 \cdot 10^{-3}$ м	88,5

Джерело: розроблено авторами

Отримані результати мають більш теоретичне, ніж практичне значення, бо отримані частоти обертання на практиці поки що не реалізуються. Однак, при цьому з графіків, представлених на рис. 4 видно, що при частоті обертання шестерень $n = 50$ об/с, втрати робочої рідини через радіальні зазори мінімальні. І, в першу чергу, це стосується шестерень з шириною вершин $l_{z2} = 2 \cdot 10^{-3}$ м і $l_{z3} = 3 \cdot 10^{-3}$ м.

Звичайно, коефіцієнт подачі серійних насосів складає $\eta_v = 94\%$, тобто втрати робочої рідини через зазори в насосі складають 6%. Тоді, втрати робочої рідини через радіальні зазори у відсотках від об'єму робочої камери можна визначити за формулою

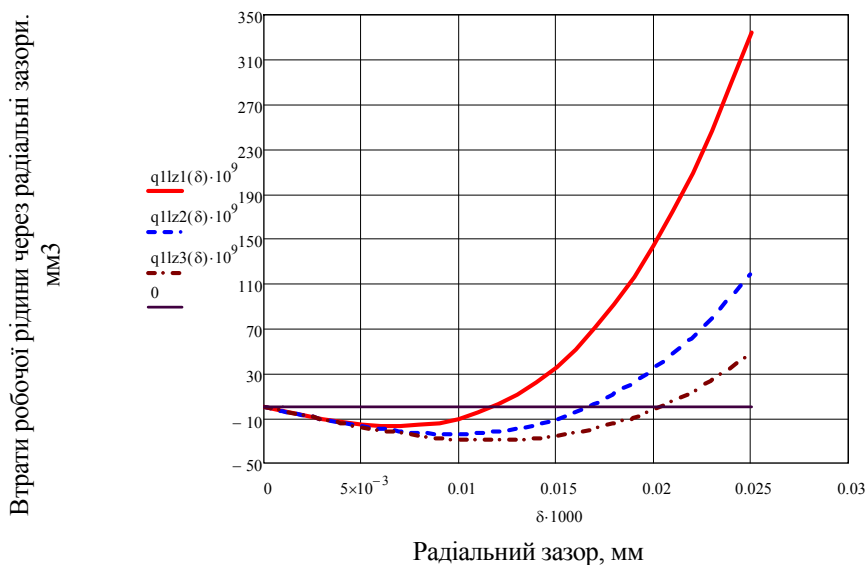
$$pr(n) = \frac{q_1 l_p}{0,06 \cdot V_0} \cdot 100, \quad (8)$$

де V_0 – об'єм робочої камери насоса, $V_0 = 32 \cdot 10^{-6}$ м³.

Графіки залежності (8) представлені на рис. 5.

На рис. 5 наведено графічні залежності втрат робочої рідини через радіальний зазор для шестерень з шириною вершини зуба $l_{z1} = 1 \cdot 10^{-3}$ м, $l_{z2} = 2 \cdot 10^{-3}$ м і $l_{z3} = 3 \cdot 10^{-3}$ м від величини радіального зазору δ_p .

З рис. 5 видно, що при малих частотах обертання шестерень втрати робочої рідини через радіальні зазори дуже великі, однак із збільшенням частоти обертання вони знижуються за гіперболічною залежністю і стають, навіть нижчими нуля. Таке можливо, коли фрикційна складова втрат робочої рідини перевищує напірну.

Рисунок 5 – Графіки втрат робочої рідини через радіальний зазор для шестерень з шириною вершини зуба $l_{z1} = 1 \cdot 10^{-3}$ м, $l_{z2} = 2 \cdot 10^{-3}$ м і $l_{z3} = 3 \cdot 10^{-3}$ м від величини радіального зазору δ_p .

Джерело: розроблено авторами

Таким чином, іншим методом, яким можливо досягти зниження втрат робочої рідини через радіальний зазор є використання шестерень із збільшеною шириною вершин зубів. Це дозволить збільшити фрикційну складову втрат робочої рідини через радіальний зазор.

З рис. 5 видно, що у випадку коли фрикційна складова перевищує напірну, втрати робочої рідини через радіальний зазор можуть бути від'ємними. Цьому сприяє збільшення частоти обертання шестерень, а також певний раціональний зазор.

Визначити раціональний зазор можливо з рівняння

$$\frac{dq_{1p}(\delta)}{d\delta} = 0. \quad (9)$$

Рівняння (9) в розгорнутому вигляді має вигляд

$$\frac{\Delta P \cdot \delta_p^2}{4 \cdot \mu \cdot l_z \cdot n} - \pi \cdot r_a = 0. \quad (10)$$

Тоді, розв'язок рівняння (10) буде мати вигляд

$$\delta_p = 2 \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot n \cdot \mu \cdot l_z \cdot r_a}{\Delta P}}. \quad (11)$$

З (11) видно, що на раціональний радіальний зазор δ_p впливає п'ять параметрів. Однак, з них істотно впливають лише два, це частота обертання шестерень n та протяжність зони ущільнення радіального зазору l_z .

В табл. 2 наведені результати розрахунків раціонального радіального зазору у відповідності до залежності (11), при яких фрикційна складову має найбільший вплив на втрати робочої рідини через радіальний зазор. При цьому, втрати робочої рідини через радіальний зазор можуть мати навіть від'ємне значення.

Таблиця 2 – Результати визначення раціонального радіального зазору від протяжності зони ущільнення радіального зазору l_z та частоти обертання шестерень n , при якій втрати робочої рідини через радіальний зазор від'ємні.

Частота обертання шестерень n , об/с (об/хв.)	Ширина вершини зуба шестерні l_{z1} , мм		
	$l_{z1} = 1$	$l_{z2} = 2$	$l_{z3} = 3$
8,33 (500)	3,1 мкм	4,38 мкм	5,37 мкм
16,66 (1000)	4,38 мкм	6,20 мкм	7,59 мкм
32 (1920)	6,07 мкм	8,59 мкм	10,52 мкм
40(2400)	6,79 мкм	9,61 мкм	11,76 мкм
50 (3000)	7,59 мкм	10,74 мкм	13,15 мкм
60 (3600)	9,32 мкм	11,76 мкм	14,41 мкм
100 (6000)	10,74 мкм	15,18 мкм	18,6 мкм

Джерело: розроблено авторами

З рис. 5 і табл. 2 видно, що досягнення зазначених радіальних зазорів цілком реальне, що теоретично повинно збільшити, як коефіцієнт подачі, так і подачу шестеренного насоса при незмінних геометричних розмірах вузла, що качає.

Для прикладу розрахуємо відсоток втрат робочої рідини через радіальний зазор для існуючих параметрів шестеренного насоса НШ–32 $\delta_p = 28$ мкм і $n = 40$ об/с і $l_{z1} = 1$ мм відсоток втрат робочої рідини через радіальний зазор складає $pr_0 = 25,9$ %, а для параметрів, що рекомендується $\delta_p = 14,4$ мкм і $n = 50$ об/с і $l_{z1} = 3$ мм всього

$pr_0 = 2,83 \%$, тобто майже на порядок менше.

Висновки. За результатами проведених досліджень можливо зробити наступні висновки.

1. Аналіз джерел науково-технічної інформації показав суперечливість результатів теоретичних та експериментальних досліджень, щодо співвідношення втрат робочої рідини через зазори в з'єднаннях деталей шестеренного насоса. Але майже одностайною є думка про те, що втрати через радіальні зазори є одними із превалуючих.

2. Запропоновано новий підхід до визначення умов, при яких втрати робочої рідини через радіальні зазори мінімальні. Зазначені моделі враховують наявність напірної і фрикційної (в'язкісної) складової втрат.

3. Виявлені основні параметри, що дозволяють керувати втратами робочої рідини через радіальні зазори. До них відносяться ширина вершин зубів шестерень, частота обертання шестерень і зовнішній радіус шестерень.

4. Результати досліджень визначення раціонального радіального зазору дозволяють підвищити ефективність технології виготовлення шестеренного насоса за рахунок оптимізації допусків на виготовлення деталей насоса.

Список літератури

1. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы / Башта Т.М. и др.. М.: Машиностроение, 1982. 593 с.
2. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учеб. для машин-ых вузов / Башта Т.М. др. 2-е изд., перераб. М.: Машиностроение, 1982. 423 с.
3. Башта Т.М. Расчеты и конструкция самолетных гидравлических устройств / 3-е изд. перераб. и доп. М.: Гос. научно-технич. издат. Оборонгиз, 1961. 475 с.
4. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика: справ. пособ. М.: Машиностроение, 1977. 672 с.
5. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем: учеб. для вузов. М.:Машиностроение, 1974. 606 с.
6. Юдин Е.М. Шестеренные насосы. Основные параметры и их расчет / 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1964. 236 с.
7. Рыбкин Е.А., Усов А.А. Шестеренные насосы для металлорежущих станков. Г.: Машгиз, 1960. 189 с.
8. Савунов М.П. Исследование работоспособности агрегатов гидросистем сельскохозяйственных тракторов: дис. ... канд. техн. наук. Горки, 1970. 197 с.
9. Калашников В.И. Исследование эксплуатационной надежности гидронасосов типа НШ 32. Дис. канд. техн. наук. Киев 1968. 167 с.
10. Ибрагимов Р.А. Повышение работоспособности отремонтированных насосов гидросистем машин, эксплуатируемых в условиях хлопководства: дис. ... канд. технич. наук. Янгиль, 1984. 252 с.
11. Кулешков Ю.В., Саловский В. С. Оценка влияния зазоров в сопряжениях шестеренного насоса на величину его внутренних утечек. *Конструирование и технология производства с.х. машин. Республиканский межведомственный научно-технический сборник*. 1993. Вып. 23. С. 28 – 32.
12. Матвієнко О.О. Математична модель втрат робочої рідини через радіальний зазор шестеренного насоса типу НШ .. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ*. 2005. Вип. 16. С.235-240.
13. Ю.В. Кулешков, Матвієнко О.О. Аналіз математичних моделей втрат робочої рідини через радіальний зазор шестеренного насоса типу НШ . *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ*. 2006. Вип. 17. С. 205 - 207.

References

1. Bashta, T.M., Rudnev, S.S., Nekrasov, B.B. et al. (1982). *Gidravlika, gidravlicheskie mashiny i gidravlicheskie privody* [Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
2. Bashta, T.M., Rudnev, S.S., Nekrasov, B.B. et al. (1982). *Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody* [Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives]. (2d ed.). Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
3. Bashta, T.M. (1961). *Raschety i konstrukciya samoletnyh gidravlicheskih ustroystv* [Calculations and design of aircraft hydraulic devices]. (3d ed.). Moscow: Gos. nauchno-tekhnich. izdat. Oborongiz [in Russian].
4. Bashta, T.M. (1977). *Mashinostroitel'naya gidravlika*: [Mechanical engineering hydraulics]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
5. Bashta, T.M. (1974). *Ob'emnye nasosy i gidravlicheskie dvigateli gidrosistem* [Displacement pumps and hydraulic motors for hydraulic systems]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
6. YUdin, E.M. (1964). *Shesterennye nasosy. Osnovnye parametry i ih raschet* [Машиностроительная гидравлика]. (2d ed.). Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
7. Rybkin, E.A. & Usov, A.A. (1960). *Shesterennye nasosy dlya metallovezhushchih stankov* [Gear pumps for machine tools]. G.: Mashgiz, [in Russian].
8. Savunov, M.P. (1970). *Issledovanie rabotosposobnosti agregatov gidrosistem sel'skohozyajstvennyh traktorov* [Investigation of the performance of units of hydraulic systems of agricultural tractors]. *Candidate's thesis*. Gorki [in Russian].
9. Kalashnikov, V.I. (1968). *Issledovanie ekspluatatsionnoj nadezhnosti gidronasosov tipa NSH 32* [Study of the operational reliability of hydraulic pumps type NSH 32]. *Candidate's thesis*. Kiev [in Russian].
10. Ibragimov, R.A. (1984). *Povyshenie rabotosposobnosti otremonirovannyh nasosov gidrosistem mashin, ekspluatiruemyyh v usloviyah hlopkovodstva*. *Candidate's thesis*. YAngiyul'. [in Russian].
11. Kuleshkov, Yu.V. & Salovskiy, V. S. (1993). *Ocenka vliyaniya zazorov v sopryazheniyah shesterennogo nasosa na velichinu ego vnutrennih utechek* [Evaluation of the effect of clearances in the interfaces of a gear pump on the magnitude of its internal leakage]. *Konstruirovaniye i tekhnologiya proizvodstva s.h. mashin. Respublikanskij mezhvedomstvennyy nauchno-tekhnicheskij sbornik – Design and production technology of s.kh. machines. Republican interdepartmental scientific and technical collection, Vol. 23, 28 – 32* [in Russian].
12. Matvienko, O.O. (2005). *Matematichna model' vtrat robochoї ridini cherez radial'nij zazor shesterennogo nasosa tipu NSH* [Mathematical model of losses of the working fluid due to the radial clearance of the gear pump type NSH]. *Zbirnik naukovih prac' KNTU. Tekhnika v sil's'kogospodars'komu virobnictvi, galuzeve mashinobuduvannya, avtomatizaciya – Collected Works of Kirovohrad National Technical University. Machinery in Agricultural Production, Industry Machine Building, Automation, Issue 16, 235-240* [in Ukrainian].
13. Kuleshkov, Yu.V. & Matvienko, O.O. (2006). *Analiz matematichnih modelej vtrat robochoї ridini cherez radial'nij zazor shesterennogo nasosa tipu NSH* [Analysis of mathematical models of losses of the working fluid due to the radial clearance of the gear pump of the NSH type]. *Zbirnik naukovih prac' Kirovohrads'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universitetu tekhnika v sil's'kogospodars'komu virobnictvi, galuzeve mashinobuduvannya, avtomatizaciya – Collected Works of Kirovohrad National Technical University. Machinery in Agricultural Production, Industry Machine Building, Automation, Issue. 17 205 - 207* [in Ukrainian].

Yuriy Kuleshkov, Prof., **Mykhailo Krasota**, Assoc. Prof., Phd tech. sci., **Timofey Rudenko**, Assoc. Prof., Phd tech. sci., **Ruslan Osin**, Assoc. Prof., Phd tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Yuriy Evseichik, Assoc. Prof., Phd phys.-math. sci.

National Transport Universit, Kyiv, Ukraine

Measuring Rational Radial Clearance in Gear Pump Hydraulic Systems of Auto and Tractor Machinery

The research goal is working liquid losses decreasing through the radial clearance in the way of measuring the rational radial clearance between gear teeth and gear pump body.

In this research was considered the radial clearance value influences the body and gears of gear pump hydraulic systems of auto and tractor machinery.

Given research results of working liquid losses dependency through the radial clearance between teeth and gear pump body.

Offered a new way for condition determination in which working liquid losses through radial clearance are minimal. Received terms for working liquid losses measuring, which include the presence of pressurized and friction (viscous) part of losses.

Determined main parameters, which allow for management of working liquid losses through radial clearance, such as gear teeth top wideness, gear rotational speed, and gear outer radius.

The research of rational radial clearance measuring results allows increasing gear pump manufactory technology efficiency due to optimization of pump details manufactory.

Determined main parameters, which influence on losses value and rational radial clearance value and due of which they will be minimal.

Offered to increase the durability of gear pump hydraulic systems of auto and tractor machinery work in the next ways: decreasing of starting body deterioration, exclusion further deterioration of radial details connection by using friction part of working liquid movement in radial clearance effect.

gear pump, radial clearance, working liquid losses

Одержано (Received) 26.04.2022

Прорецензовано (Reviewed) 06.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 53.08:620.178.5

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.97-102](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.97-102)

А.П. Стахова, доц., канд. техн. наук, С.Л. Макаровський

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

e-mail: sap@nau.edu.ua

Розробка алгоритмів та програмного забезпечення систем вимірювання та аналізу вібрації

Наведено аналіз у галузі вібраційного контролю, методів та алгоритмів обробки вібраційних даних. Виявлено основні проблеми систем діагностики стану обладнання складних конструкцій, показано напрями їх вирішення. Запропоновано розробку алгоритму та програмного забезпечення для вирішення завдань вібраційного контролю з визначенням амплітудно-фазових параметрів у режимі реального часу та обробки вібраційних даних для оцінки технічного стану механізмів.

вібраційний контроль, система вібраційного контролю, спектральний аналіз, оцінка технічного стану

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку машинного обладнання основним напрямком забезпечення працездатного стану техніки є підвищення ефективності її контролю. Для цього проводиться робота з вивчення технічного стану обладнання та аналізу параметрів його змін.

Більшість несправностей машинного обладнання виражається в підвищенні вібрацій, отже аналіз вібрації є потужним засобом для діагностики обладнання. При цьому кожна несправність або пошкодження має свій вид вібрацій [1-2]. Перевищення допустимого рівня вібрацій при роботі різних видів техніки призводить до зниження надійності та довговічності окремих елементів в цих пристроях. Поява сучасної вібровимірювальної апаратури забезпечує можливість проведення точних вимірювань, реєстрації та подальшого аналізу динамічних процесів, тобто вібраційних сигналів [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зазвичай у структуру систем вимірювання та аналізу вібрації (рис.1), будь то технічні засоби вібраційного контролю та захисту, вібраційного моніторингу або діагностики, включені первинні вимірювальні перетворювачі, узгоджуючі пристрої, лінії зв'язку та засоби (програми) обробки інформації [4]. Всі засоби вимірювання та аналізу вібрації використовують вимірювальні віброперетворювачі, причому найчастіше застосовуються п'єзоелектричні перетворювачі віброприскорення (акселерометри) [5-6], оптичні (лазерні) перетворювачі віброшвидкості [6] та токовихрвові перетворювачі відносного вібропереміщення [7].

Для зв'язку віброперетворювача із засобами аналізу використовуються лінії провідного або бездротового зв'язку та узгоджувальні пристрої. У найпростішому випадку, як узгоджувальні пристрої використовуються попередні підсилювачі сигналу. Так, для п'єзоакселерометрів, в залежності від характеристик лінії зв'язку, можуть використовуватися попередні підсилювачі напруги, заряду або струму, для забезпечення високої стійкості засобів вимірювання та аналізу вібрації. Попередні

підсилювачі вбудовуються в один корпус із акселерометром. У складніших випадках узгоджувальне пристрій може виконувати функції попередньої фільтрації сигналу, комутації ліній зв'язку, перетворення сигналу цифрову форму [8].

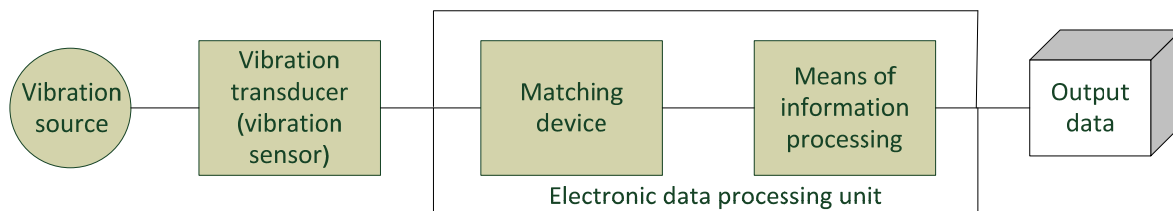


Рисунок 1 - Структура системи вимірювання та аналізу вібрації

Джерело: [8]

Сучасні засоби вимірювання та аналізу вібрації є вузькоспеціалізованими приладами. Як правило, вони запрограмовані на виконання кількох функцій та не мають можливості зміни функціональності користувачем. Для повноцінного використання цих пристроїв застосовується зовнішнє програмне забезпечення на стаціонарному комп'ютері. Простота вимірювань і доступність отриманої інформації дозволяє використовувати ці прилади обслуговуючому персоналу без спеціальної підготовки, а при виявленні нештатної ситуації викликати фахівців для проведення складнішого дослідження стану контролюваного об'єкта.

Більш складні види аналізу реалізуються з допомогою засобів вібраційного моніторингу [9]. Основним призначенням засобів вібраційного моніторингу є виявлення незворотних змін вібрації обладнання та прогнозування швидкості їх розвитку [9]. До додаткового завдання, яке може вирішуватися засобами моніторингу, можна віднести визначення причин виявлених змін. Це завдання вирішується експертом, який аналізує результати моніторингу, у тому числі із застосуванням спеціальних експертних програм.

Функціональні можливості систем вібраційного моніторингу при обробці та аналізі сигналів визначаються складом та можливостями програмного забезпечення. За функціональними можливостями системи моніторингу та діагностики можна розділити на два основні класи – системи масового діагностичного обслуговування з програмами автоматичної діагностики та прогнозу стану типового обертового обладнання і розширені системи моніторингу, в тому числі і з експертними програмами, розрахованими те що, що діагностику виконує підготовлений експерт. Аналіз існуючих систем моніторингу показує, що їх основні функціональні можливості визначаються складом і складністю застосовуваного програмно-алгоритмічного забезпечення.

Серед завдань вібраційного моніторингу та діагностики зустрічаються такі, вирішення яких потребує проведення спеціальних досліджень. Ряд приладобудівних фірм випускає технічні засоби для розширеного аналізу сигналів [10-11], які передбачають попередній запис цих сигналів на згадку про прилад з подальшим його багаторазовим аналізом.

Аналіз існуючих методів та алгоритмів обробки віброметричних даних показав, що основними методами та алгоритмами, що застосовуються, є методи формування діагностичних ознак, чутливих до конкретних видів дефектного стану, для певних елементів механізму. У зв'язку з цим актуальна розробка методів та алгоритмів виявлення діагностичних ознак для оцінки технічного стану механізмів, для яких немає нормальних параметрів.

Постановка завдання. Отже, для забезпечення працездатного стану машинного обладнання неможливо без вирішення завдань введення, обробки та аналізу

вібраційних сигналів у режимі реального часу. На сьогодні залишається актуальним питання розробки математичного та програмного забезпечення, що дозволяє вирішувати завдання вібраційного контролю у режимі реального часу. Одним із напрямів подальшого розвитку програмного забезпечення для вирішення завдань віброконтролю є розширення функціональних можливостей, зокрема, у галузі забезпечення безперервної реєстрації з визначенням амплітудно-фазових параметрів вібрації у багатоканальному режимі роботи.

Виклад основного матеріалу. Основою функціонування систем вібраційного контролю є використання спектрального аналізу. Спектральний аналіз вібрації обладнання дозволяє виявити більше половини з можливих розвинених дефектів і на цій основі не пропустити жодного з дефектів, що швидко розвиваються безпосередньо перед аварією обладнання, що контролюється. Тому системи вібраційного контролю є ефективним засобом запобігання аваріям, а використання в їх складі експертної діагностичної програми дозволяє виявити причини необхідної зупинки обладнання та швидко їх усунути. Функціональні можливості систем вібраційного моніторингу при обробці та аналізі сигналів визначаються складом та можливостями програмного забезпечення.

Найважливішою складовою систем вібраційного контролю є програмне забезпечення. Існуюче програмне забезпечення умовно можна розбити на три основні типи.

1. Програми підтримки технічних засобів вимірювання та аналізу сигналів.
2. Програми моніторингу.
3. Експертні програми діагностики чи програми підтримки прийняття рішень.

До складу системи вібраційного контролю можуть входити десятки алгоритмів обробки даних, а також способів їх відображення. Визначення амплітудних та фазових параметрів вібрації обладнання. Вимірюючи величину цих вібрацій можна судити про величину, джерела та основні причини виникнення збудливих сил і пропонувати способи їх зменшення.

Застосування при вимірюваннях тільки вібровимірювальних перетворювачів дозволяє отримати тільки скалярні параметри вібрації, такі як середнє квадратичне значення, розмах амплітуди коливань, пік фактор, спектральні характеристики і т.п.

На рис. 2 показані зміна в часі прийнятих вібросигналу та сигналу від датчика фазової мітки. Сигнал від датчика фазової мітки наведено у відносних одиницях.

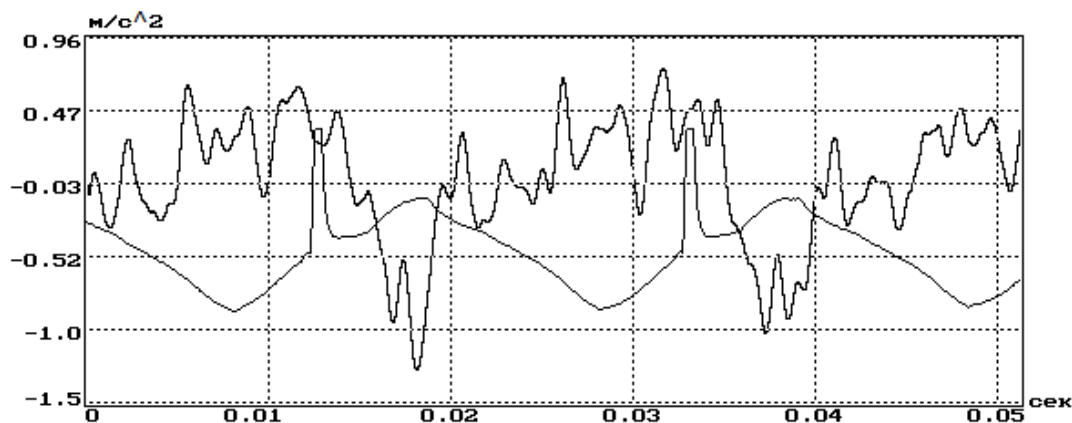


Рисунок 2 – Зміна вібросигналу в часі та сигналу від датчика фазової мітки

Джерело: розроблено автором

Фазові кути для сигналів, представлених в одиницях віброшвидкості або вібропереміщення, більше по відношенню до сигналу, представленого в одиницях віброприскорення відповідно на $\pi/2$ і π , взятих за модулем 2π .

Надалі вважатимемо фронтом спрацьовування наростаючий фронт імпульсу, а значення опорного рівня розраховуватимемо за формулою:

$$U_b = U_{\max} - v(U_{\max} - U_{\min}) \quad (1)$$

де $U_{\max}$, $U_{\min}$ – максимальне і мінімальне значення імпульсу, що формується датчиком фазової мітки, які приймаються для його ідентифікації;

v – відносне значення для фіксації опорного рівня, може знаходитися в діапазоні від 0,35 до 0,7.

Дискретний відлік з номером відповідає моменту спрацьовування датчика фазової мітки, якщо для значень цього сигналу виконується умова:

$$x_i \leq U_b < x_{i+1} \quad (2)$$

де x_i – значення дискретного відліку сигналу від датчика фазової мітки у момент часу i .

Для підвищення точності алгоритму при виділенні моменту спрацьовування вираз (2) може бути модифікований таким чином:

$$(x_{i-1} \leq U_b) \& (x_i \leq U_b < x_{i+1}) \quad (3)$$

Умова (3) застосовується для всіх значень масиву даних, що представляє сигнал від датчика фазової мітки. При цьому фіксуються номери відрахунків, для яких виконується умова (3), окремо виділяється номер першого I_n та номер останнього I_k відліку для аналізованого масиву даних, а також підраховується загальна кількість таких відліків. Якщо загальна кількість таких відліків дорівнює M , то кількість періодів оборотної спектральної складової K , що повністю укладаються на аналізованому масиві, дорівнює:

$$K = M - 1. \quad (4)$$

Запропонований алгоритм визначення амплітудно-фазових параметрів забезпечує обчислення амплітуди оборотної складової з похибкою, що не перевищує 0,2 %, а початкової фази з абсолютною похибкою 1,5 градуса при аналізі сигналів, отриманих при пусках і вибігах механізмів з обертальним рухом.

Як уже згадувалося, одним з найбільш поширених способів оцінки технічного стану різних механізмів з обертальним рухом є застосування спектрального аналізу. При реалізації цього підходу будується модель досліджуваного механізму та визначаються частоти, що характеризують його стан. Надалі, отримані цих частотах величини порівнюються з еталонними чи емпірично встановленими у процесі експлуатації. Ця методика має такі недоліки як: висока трудомісткість побудови моделі для складних механізмів, невизначеність параметрів, що характеризують об'єкт. Тим не менш, цей метод широко поширений і застосовується для оцінки технічного стану як окремих механізмів, так і груп однотипних механізмів.

На наступному етапі проводиться розбраковування досліджуваних механізмів. $X_{i,min}$, $X_{i,max}$ - виконують роль інформативно значущих параметрів при прийнятті рішення про віднесення об'єкта до певної групи. Механізм j , що має значення вібраційного параметра $X_{i,j}$, відноситься до класу механізмів з хорошим технічним станом за цим параметром, якщо виконується умова:

$$X_{i,j} \leq X_{i,\min} \quad (5)$$

він же відноситься до класу механізмів із середнім технічним станом, якщо виконується умова:

$$X_{i,\min} < X_{i,j} \leq X_{i,\max} \quad (6)$$

і відноситься до класу механізмів з поганим технічним станом, якщо виконується умова:

$$X_{i,j} > X_{i,\max} \quad (7)$$

Подальшим розвитком цього методу є побудова діагностичних алгоритмів, які дозволять визначити причину незадовільного стану механізму.

Висновки. Отримані результати формують теоретичну та практичну базу для розробки програмного забезпечення комп'ютерних систем для вирішення завдань вібраційного контролю в режимі реального часу. Вони можуть бути використані для модернізації та подальшого розвитку існуючих систем.

Розроблені методи та алгоритми аналізу вібраційних сигналів можуть застосовуватися в автоматизованих системах вібраційного контролю та підтримки прийняття рішення для визначення якості виготовлення та складання різних вузлів, оцінки залишкової стійкості та жорсткості, контролю та оцінки стану механізмів та агрегатів з обертовим рухом.

Список літератури

1. Стахова А. П., Квасніков В. П. Автоматизація виявлення дефектів машинного обладнання засобами вібродіагностики . *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки*. 2021. №. 1. С. 32-41.
2. Prudhom A. et al. Time-frequency vibration analysis for the detection of motor damages caused by bearing currents . *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2017. Т. 84. С. 747-762.
3. Kvasnikov V., Stakhova A. Vibration Measurement Technologies and Systems . *Safety in Aviation and Space Technologies*. Springer, Cham, 2022. С. 53-62.
4. Stakhova A., Kvasnikov V. Development of a device for measuring and analyzing vibrations . *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska*. 2021. Т. 11. №. 2. С. 48-51.
5. Tian B. et al. Design of a piezoelectric accelerometer with high sensitivity and low transverse effect . *Sensors*. 2016. Т. 16, №. 10. С. 1587.
6. Буклагин Д. С. Новые измерительные системы: направления и возможности применения при испытаниях сельскохозяйственной техники . *Техника и оборудование для села*. 2018. №. 5. С. 30-35.
7. Chaturvedi V. et al. Demodulation techniques for self-oscillating eddy-current displacement sensor interfaces: A review . *IEEE Sensors Journal*. 2017. Т. 17, №. 9. С. 2617-2624.
8. Eidukeviciute, M., Volkovasa, V. Measurement uncertainty in vibromonitoring systems and diagnostics reliability evaluation . *J. of Sound and Vibration*. 2007. Vol. 308, № 3–5. P. 625–631.
9. Ahmed H., Nandi A. K. Condition monitoring with vibration signals: Compressive sampling and learning algorithms for rotating machines. John Wiley & Sons, 2020.
10. Lacey S. The role of vibration monitoring in predictive maintenance . *Asset Management & Maintenance Journal*. 2011. Т. 24. №. 1. С. 42-51.
11. Brown D. N., Jorgensen J. C. Machine condition monitoring using vibration analysis . Bruel & Kjaer, Application Note. 1987.

References

1. Stahova, A.P. & Kvasnikov, V.P. (2021). Avtomatizacija vijavlenija defektiv mashinnogo obladnannja zasobami vibrodiagnostiki [Automation of detection of machine equipment defects by vibrodiagnostics]. *Visnik Cherkas'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Tehnichni nauki – Bulletin of Cherkasy State Technological University, 1*, 32-41 [in Russian].

2. Prudhom, A., Antonino-Daviu, J., Razik, H., & Climente-Alarcon, V. (2017). Time-frequency vibration analysis for the detection of motor damages caused by bearing currents. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 84, 747-762.
3. Kvasnikov, V., & Stakhova, A. (2022). Vibration Measurement Technologies and Systems. In *Safety in Aviation and Space Technologies* (pp. 53-62). Springer, Cham.
4. Stakhova, A., & Kvasnikov, V. (2021). Development of a device for measuring and analyzing vibrations. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 11(2), 48-51.
5. Tian, B., Liu, H., Yang, N., Zhao, Y., & Jiang, Z. (2016). Design of a piezoelectric accelerometer with high sensitivity and low transverse effect. *Sensors*, 16(10), 1587.
6. Buklagin, D.S. (2018). Novye izmeritel'nye sistemy: napravlenija i vozmozhnosti primeneniya pri ispytaniyah sel'skohozjajstvennoj tehniki [New measuring systems: directions and possibilities of application in testing agricultural machinery]. *Tehnika i oborudovanie dlja sela – Machinery and equipment for the village*, 5, 30-35 [in Russian].
7. Chaturvedi, V., Nabavi, M. R., Vogel, J. G., & Nihtianov, S. (2017). Demodulation techniques for self-oscillating eddy-current displacement sensor interfaces: A review. *IEEE Sensors Journal*, 17(9), 2617-2624.
8. Eidukeviciute, M., & Volkovas, V. (2007). Measurement uncertainty in vibromonitoring systems and diagnostics reliability evaluation. *Journal of Sound and Vibration*, 308(3-5), 625-631.
9. Ahmed, H., & Nandi, A. K. (2020). Condition monitoring with vibration signals: Compressive sampling and learning algorithms for rotating machines. John Wiley & Sons.
10. Lacey, S. (2011). The role of vibration monitoring in predictive maintenance. *Asset Management & Maintenance Journal*, 24(1), 42-51.
11. Brown, D. N., & Jorgensen, J. C. (1987). Machine condition monitoring using vibration analysis. *Bruel & Kjaer, Application Note*.

Anzhelika Stakhova, Assoc. Prof., PhD Tech. Sci., **Serhii Makarovskiy**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

Development of Algorithms and Software for Vibration Measurement and Analysis Systems

An analysis is presented in the field of vibration control, methods and algorithms for processing vibration data. The main existing problems of systems for diagnosing the state of equipment of complex structures are identified, directions for their solution are shown. The development of an algorithm and software for solving problems of vibration control with the determination of amplitude-phase parameters in real time and processing of vibration data to assess the technical condition of mechanisms is proposed.

The results obtained form the theoretical and practical basis for the development of software for computer systems for solving problems of vibration control in real time, providing continuous recording and determination of amplitude-phase parameters. Features of the input of vibration data in vibration control systems make it possible to accurately determine the moment of their readiness, which, along with the organization of data transmission via a direct memory access channel and a special implementation of the input procedure, allows data to be received in real time. They can be used to modernize and further develop existing systems.

The developed methods and algorithms for the analysis of vibration signals can be used in automated vibration control and decision support systems to determine the quality of manufacturing and assembly of various components, assess the residual resistance and rigidity, monitor and evaluate the state of mechanisms and assemblies with rotational motion. The proposed method for the formation of diagnostic features and the determination of informatively significant parameters for assessing the technical condition of complex mechanisms is based on the use of spectral analysis. Operational and multifunctional analysis of large volumes of experimental data will expand the functionality of vibration control systems.

vibration control, vibration control system, spectral analysis, assessment of technical condition

Одержано (Received) 10.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 20.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

С.І. Осадчий, проф., д-р. техн. наук, **Л.Г. Віхрова**, проф., канд. техн. наук, **В.М. Каліч**, проф., канд. тех. наук, **М.С. Мірошніченко**, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: vihrovalg@ukr.net, marymir@ukr.net

Інформаційна технологія проектування системи автоматичної стабілізації потоку хлібної маси на вході до молотарки зернозбирального комбайну

В статті наведено нову методологію створення інформаційної технології проектування комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході до молотарки зернозбирального комбайну. Окреслено характерні риси подібної методології. Це дозволяє здійснювати проектування систем керування технологічними процесами на комбайні з урахуванням зовнішніх впливів, які мають стохастичний характер. Обґрунтовано стадії створення інформаційної технології синтезу оптимальної комбінованої системи стабілізації зі зворотнім зв'язком за відхиленням хлібної маси від середнього значення та корекцією за зміною врожайності.

стабілізація потоку хлібної маси, оптимальні системи, синтез систем, інформаційні технології, стадії досліджень

Постановка проблеми. За останні роки виявилась тенденція розвитку зернозбиральної техніки, яка полягає у її комп'ютеризації та роботі у складі системи точного землеробства, що дозволяє оптимізувати режими роботи зернозбиральної техніки за критеріями мінімуму втрат врожаю та максимуму продуктивності.

Результати досліджень науковців в галузі конструювання зернозбиральної техніки та створення систем стабілізації потоку хлібної маси у молотарці комбайну [1,2] показують, що максимізацію якості збору зернових доцільно виконувати шляхом створення оптимальних комбінованих систем стабілізації потоку хлібної маси на вході до молотарки. Структура та параметри зазначених систем повинні визначатися з урахуванням моделей динаміки об'єкта стабілізації (поліноми M_1 , P_1 рис. 1.1), датчиків в колах зворотного зв'язку по відхиленню K_1 та у колі корекції по збуренню K_2 , збурень ψ_1 , ψ_2 та завад ϕ_1 , ϕ_2 , притаманних реальним експлуатаційним умовам функціонування комбайну, на основі сучасних ефективних методів автоматизованого проектування систем управління.

Концепція такого підходу до створення систем автоматичного керування полягає в тому [4, 6], щоб в результаті вирішення, так званої, задачі аналітичного конструювання ще до початку основного проектування системи оцінити граничні рубежі підвищення її якості, а також синтезувати оптимальну структуру, не лише параметри регулятора, а й визначити доцільність початку робіт, пов'язаних із створенням нової системи. При цьому основні матеріальні та часові витрати на проектування, виготовлення та випробування виробу виникають лише після прийняття позитивного рішення щодо доцільності та якості системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення особливостей процедур створення та конструкції сучасних існуючих систем стабілізації потоку хлібної маси за літературними джерелами [1,2] дозволяє виділити цілий ряд причин, які не дозволяють різко підвищити конкурентні можливості цієї сільськогосподарської техніки. По-перше,

диференційні рівняння зернозбирального комбайну не враховують динамічні властивості та конструктивні особливості гідротрансмісій, що функціонують у режимі постійної зміни навантажень. По-друге, традиційні підходи до визначення структури та параметрів, які застосовують для розробки систем керування технологічними процесами на комбайні, розраховані на дію лише регулярних зовнішніх впливів, в той час як реальні збурення та завади мають стохастичний характер. По-третє, існуючі методи синтезу оптимальних комбінованих систем стабілізації дозволяють успішно визначати структуру та параметри двоканального регулятора, якщо у системі є лише одне контрольоване джерело збурень на вході об'єкта стабілізації.

Постановка завдання. Для подолання виділених недоліків нами пропонується розповсюдити дію експериментально-аналітичного методу [4] розробки оптимальних систем стабілізації на випадок мінімізації коливань потоку хлібної маси на вході молотарки зернозбирального комбайну шляхом розробки інформаційної технології синтезу оптимальної комбінованої системи стабілізації зі зворотнім зв'язком за відхиленням хлібної маси від середнього значення та корекцією за зміною врожайності.

Виклад основного матеріалу. Такий експериментально-аналітичний підхід дозволяє різко скоротити витрати на створення системи автоматичного керування (стабілізації) за рахунок скорочення випробувально-налагоджувальних робіт, визначення можливих меж максимізації якості керування ще на етапі створення технічної пропозиції, формалізації процедур синтезу системи стабілізації та аналізу її якості, приведення остаточного проектування до реалізації оптимальних законів керування, які знайдені аналітично.

З іншого боку, успішне розповсюдження такого підходу до розв'язання задачі досягнення об'єктивно максимальної ефективності збору зернових за рахунок розробки та впровадження оптимальної комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході молотарки вимагає [3,4,6]:

1. Формулювання задачі синтезу комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході в молотарку у термінах динамічного проектування [4,5] оптимальних систем стохастичної стабілізації динамічних об'єктів.

2. Наявності інформації про модель динаміки узагальненого об'єкта керування „кут нахилу шайби блоку циліндрів – потік хлібної маси на вході у молотарку”, у вигляді передаточної функції або диференційного рівняння, які відповідають роботі організаційно-технічної системи зернозбирального комбайну в реальних експлуатаційних умовах.

3. Моделей динаміки зміни збурень (рельєф поля, врожайність культури), які супроводжують процес збору зернових, та шумів вимірювання, які діють на виходах датчиків комбінованої системи стабілізації.

4. Наявності відповідним чином адаптованих до умов поставленої задачі алгоритмів визначення моделей динаміки об'єкта керування, датчиків вимірювальної інформації, збурень та завад, зазначених вище, синтезу оптимальних комбінованих систем стабілізації та аналізу їх якості в реальних умовах збирання врожаю зернових.

5. Програмно-технічних засобів автоматизованого проектування оптимальних систем керування зазначеного класу.

Враховуючи вимоги 1.-5., поставимо задачу синтезу оптимальної комбінованої системи стабілізації потоку хлібної зі зворотнім зв'язком за відхиленням хлібної маси від середнього значення та корекцією за зміною врожайності (рис. 1) наступним чином.

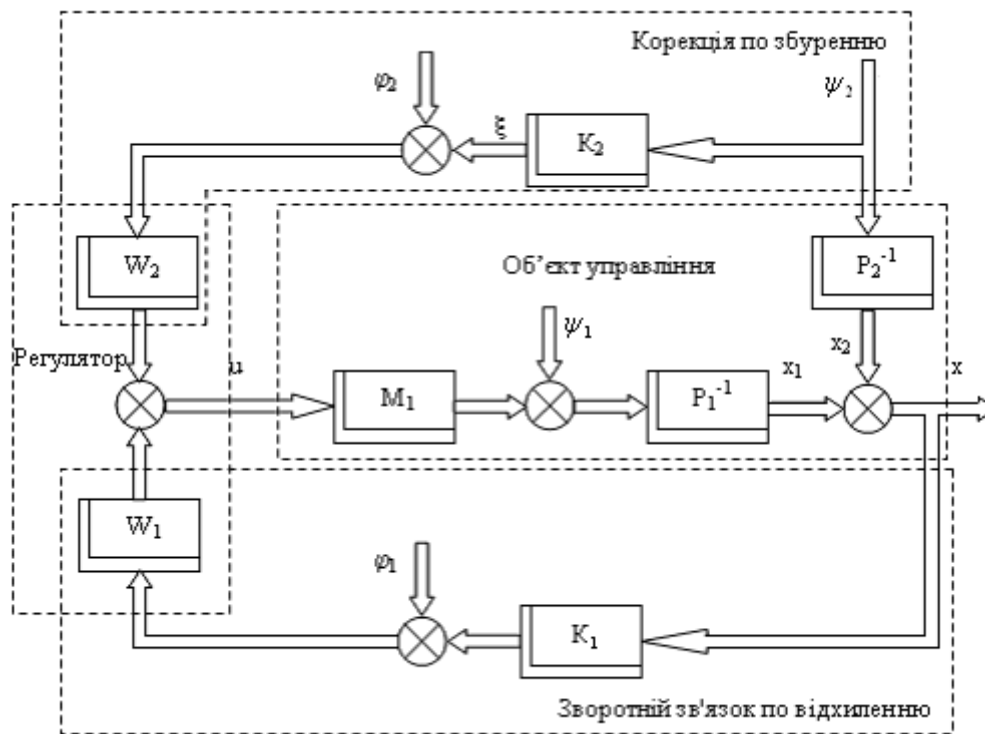


Рисунок 1 – Структурна схема комбінованої системи стабілізації

Джерело: [7]

Задано:

- склад комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході до молотарки;
- необхідні геометричні параметри комбайну;
- динаміка датчиків потоку хлібної маси (матриця передаточних функцій K_1) та датчиків зміни врожайності (K_2);
- характеристики динаміки зміни шумів (похибок) на виході датчиків вектори φ_1 та φ_2 ;
- числові характеристики зміни рельєфу поля ψ_1 , як стаціонарного випадкового процесу;
- карта врожайності поля;
- диференціальне рівняння, яке зв'язує зміну обертового моменту на колесах комбайну зі зміною потоку зерна

$$\begin{cases} P_1 x_1 = M_1 u + \psi_1 \\ P_2 x_2 = \psi_2 \\ x = x_1 + x_2 \end{cases}, \quad (1)$$

де x, x_1, x_2 – n - вимірні вектори вихідних координат об'єкта керування;

u – m - вимірний вектор сигналів керування;

P_1, P_2 – поліноміальні матриці від оператора диференціювання $s=d/dt$ розміру $n \times n$, які визначають зміну вихідних координат об'єкта при зміні векторів збурень ψ_1, ψ_2 ;

M_1 – поліноміальна матриця від оператора диференціювання s розміру $n \times m$, яка характеризує чутливість об'єкта керування до зміни компонентів вектору u .

Необхідно визначити:

- спектральну щільність зміни врожайності (ψ_2) при русі комбайну з заданою середньою швидкістю;
- матриці P_1 , P_2 , M_1 системи диференціальних рівнянь (1) роботи узагальненого об'єкта керування „кут нахилу шайби блоку циліндрів – потік хлібної маси на вході у молотарку” в умовах збирання зернових;
- структуру та параметри матриць передаточних функцій регулятора W_1 , W_2 , увімкнення яких до кіл зворотного зв'язку та корекції забезпечує стійкість замкненої системи „об'єкт-регулятор” та мінімізує коливання потоку хлібної маси на вході до молотарки при обмежених ресурсах на керування в реальних умовах зміни врожайності, рельєфу поля та шумів вимірювання;
- ефект від застосування оптимальної комбінованої системи стабілізації та граничні можливості підвищення точності стабілізації при обмежених ресурсах на керування в реальних умовах зміни врожайності, рельєфу поля та шумів;
- алгоритм функціонування та склад мікропроцесорного регулятора оптимальної комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході молотарки.
- застосування експериментально-аналітичного підходу до розв'язання поставленої задачі вимагає проведення цілого ряду різноманітних, але пов'язаних між собою стадій наукових досліджень (рис. 2), послідовність виконання яких визначає інформаційну технологію розв'язання поставленої задачі.

На стадії підготовки до виконання досліджень необхідно вивчити особливості конструкції сучасних зернозбиральних комбайнів та принципи створення моделей динаміки роботи системи переробки хлібної маси на зерно. Крім цього визначити, по можливості, моделі динаміки або особливості характеристик зміни факторів, які ускладнюють досягнення максимальної якості стабілізації потоку хлібної маси, та обґрунтувати вибір можливих способів автоматичної стабілізації такого потоку. Результати експериментальних досліджень, проведених нами [7] показали, що різкого підвищення якості стабілізації потоку хлібної маси на вході до молотарки можливо досягти за рахунок використання комбінованого принципу стабілізації за відхиленням маси та за зміною врожайності. Однак, успішне застосування такого принципу для гарантованої мінімізації коливань потоку хлібної маси в реальних умовах збирання врожаю вимагає розробки нових методів, прийомів та засобів розробки оптимальних комбінованих систем стабілізації з корекцією за збуренням, діючим на їх виході.

На першій стадії досліджень на основі вивчення методів сучасної теорії керування та співставлення їх з відомостями про динаміку об'єкта керування, контрольованих та неконтрольованих збурень та завад вимірювання обґрунтувати вибір існуючих або розробити нові методи синтезу оптимальних структури та параметрів комбінованих систем стабілізації, розробити алгоритми аналізу якості таких двоконтурних замкнених систем, а також створити метод уточнення моделі динаміки узагальненого об'єкта керування „кут нахилу шайби блоку циліндрів – потік хлібної маси на вході у молотарку”.

Друга стадія досліджень (рис.2) завершує розробку методології проектування оптимальної комбінованої системи стабілізації зі зворотнім зв'язком за відхиленням та корекцією за збуренням. На даній стадії необхідно за отриманими методами визначення динаміки об'єкта керування, синтезу та аналізу оптимальних замкнених систем стабілізації у частотній області розробити: методiku визначення спектральної щільності коливань врожайності в напрямку руху зернозбирального комбайну; структурної ідентифікації передаточної функції гідротрансмісії та спектральної щільності збурень, які діють на неї при роботі у навантаженому режимі; технології дослідження якості синтезованої комбінованої системи; а також програмного

забезпечення операцій факторизації та сепарації дробово-раціональних функцій у системі інженерних розрахунків MATLAB.

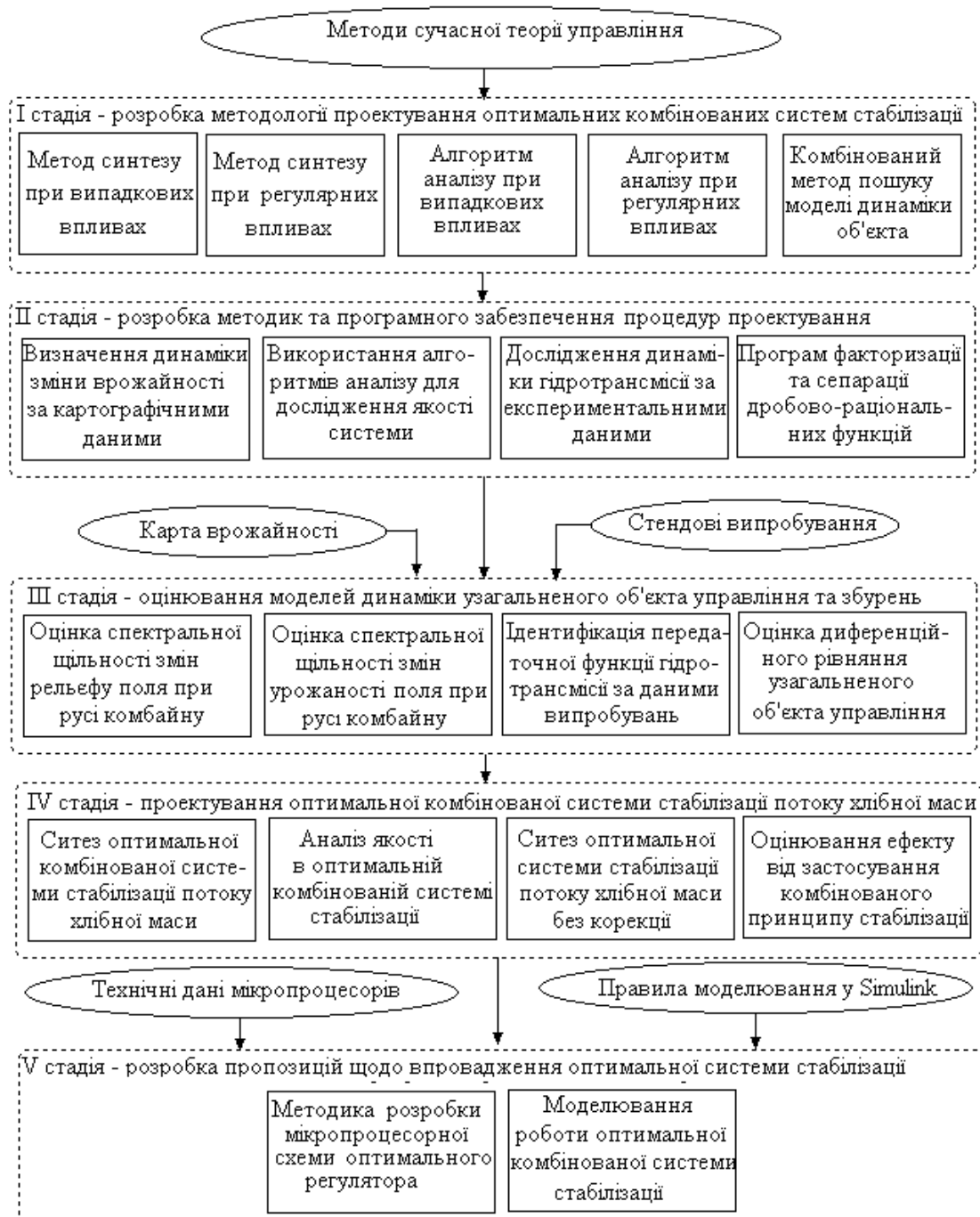


Рисунок 2 – Інформаційна технологія створення комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси

Джерело: [7]

Виконання третьої стадії досліджень присвячено оцінюванню моделей динаміки: узагальненого об'єкта керування та векторів контрольованих і неконтрольованих збурень, які діють в умовах руху зернозбирального комбайну по полю, рельєф якого та урожайність змінюються випадковим чином. Вихідні дані для цієї стадії складаються з карти врожайності поля, записів лабораторно-стендових випробувань гідротрансмісії,

відомих моделей динаміки повздовжнього руху комбайну, характеристик макронерівностей поля, які описуються системою рівнянь типу (1), метрологічних характеристик датчиків потоку хлібної маси і зміни урожайності. Методологічну основу складають відповідні алгоритми та методики їх застосування, визначені на стадіях I, II.

Призначення четвертої стадії досліджень полягає у визначенні структури та параметрів матриць передаточних функцій двоканального регулятора оптимальної комбінованої системи стабілізації і матриці передаточних функцій одноканального регулятора звичайної оптимальної системи стабілізації, які дозволяють оцінити ефект від застосування комбінованого принципу регулювання для досягнення мети дисертації. Вихідними даними для виконання даних досліджень є відповідні результати стадії III. В результаті синтезу комбінованої системи стабілізації при різному рівні середньої врожайності поля отримати номограми зміни параметрів матриці передаточних функцій оптимального.

Як видно зі схеми технології на рис.2, п'ята стадія досліджень складається з двох етапів. На цій стадії за передаточними функціями двоканального регулятора, тактико-технічними характеристиками мікропроцесорів різної архітектури та особливостями моделювання динаміки систем керування у середовищі SIMULINK необхідно розробити та застосувати методику розробки мікропроцесорної системи керування, яка реалізує матриці передаточних функцій двоканального регулятора, а також здійснити моделювання роботи синтезованої системи в умовах зміни середнього рівня врожайності.

Висновки. Таким чином, у статті обґрунтовано склад та визначено зміст стадій нової інформаційної технології проектування комбінованої системи стабілізації потоку хлібної маси на вході до молотарки зернозбирального комбайну.

Нова технологія має декілька відмінних рис. По – перше її впровадження дозволяє отримати диференціальні рівняння зернозбирального комбайну, які враховують динамічні властивості та конструктивні особливості гідротрансмисій, що функціонують у режимі постійної зміни навантажень.

По-друге, вона дозволяє проектувати системи керування технологічними процесами на комбайні, розраховані на дію зовнішніх впливів, які мають стохастичний характер.

По-третє, нова технологія дозволяє здійснити синтез оптимальної комбінованої систем стабілізації в умовах дії двох багатовимірних незалежних джерел збурень на вході та виході об'єкта стабілізації.

Список літератури

1. Сисолін П.В., Коваль С.М., Іваненко І.М. Машины для збирання зернових культур методом обчислення колосків. Кіровоград : КОД, 2010. 112 с.
2. Робочі процеси і розрахунок сільськогосподарських машин: навч. посіб. / К.І. Шмат, П.В. Сисолін, В.В. Карманов, Г.І. Іванов. Херсон : Олді-плюс, 2004. 308 с.
3. Азарсков В.Н., Блохин Л.Н., Житецкий Л.С. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации: монография. К.: Книжное издательство НАУ, 2006. 440с.
4. Блохин Л.Н. Оптимальные системы стабилизации. К.: Техніка, 1982. 144 с.
5. Методи сучасної теорії управління: навч. посіб. / А.П. Ладанюк, В.Д. Кишенько, Н.М. Луцька, В.В. Іващук. К. : НУХТ, 2010. 196 с.
6. Осадчий С.І. Автоматизація динамічного проектування оптимальних багатовимірних робастних систем стохастичної стабілізації. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2010. Вип. 40, ч. 1. С. 25-34.
7. Мірошніченко М.С. Синтез оптимальної системи стабілізації потоку хлібної маси зернозбирального комбайну. *Вестник национального технического университета «ХПИ»: сб. наук. прац. Тематический выпуск «Информатика и моделирование».* 2011. № 36. С. 48-51.

Referencis

1. Sysolin, P.V., Koval', S.M. & Ivanenko, I.M. (2010). *Mashyny dlia zbyrannia zernovykh kul'tur metodom obchisuvannia koloskiv* [Machines for harvesting grain by the method of combing spikelets]. Kirovohrad : KOD [in Ukrainian].
2. Shmat, K.I., Sysolin, P.V., Karmanov, V.V. & Ivanov, H.I. (2004). *Robochi protsesy i rozrakhunok sil'skohospodars'kykh mashyn* [Work processes and calculation of agricultural machinery] . Kherson : Oldi-plus [in Ukrainian].
3. Azarskov, V.N., Blokhyn, L.N. & Zhytetskyj, L.S. (2006). *Metodolohiya konstruyrovanyia optimal'nykh system stokhastycheskoj stabylyzatsiy* [Methodology of designing optimal stochastic stabilization systems] . Kyiv: Knyzhnoe yzdatel'stvo NAU [in Ukrainian].
4. Blokhyn, L.N. (1982). *Optymal'nye systemy stabylyzatsiy* [Optimal stabilization systems] . Kyiv: Tekhnika [in Ukrainian].
5. Ladaniuk, A.P., Kyshen'ko, V.D., Luts'ka, N.M. & Ivaschuk, V.V. (2010). *Metody suchasnoi teorii upravlinnia* [Methods of modern management theory]. Kyiv: NUKhT [in Ukrainian].
6. Osadchij, S.I. (2010). Avtomatyzatsiia dynamichnoho proektuvannia optimal'nykh bahatovymirnykh robastnykh system stokhastychnoi stabilizatsii [Automatic Dynamics Designing of the optimal multidimensional robust stochastic stabilizing systems for the mobile objects]. *Konstruivannja, vyrobnytvo ta ekspluatacija sil'skohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Vol. 40, isse. 1* , 25-34. [in Ukrainian].
7. Miroshnichenko, M.S. (2011). Syntez optimal'noi systemy stabilizatsii potoku khlibnoi masy zernozbyral'noho kombajnu [Synthesis of the optimal grain weight stabilization system of the combine harvester]. *Vestnyk natsional'noho tekhnicheskoho unyversyteta «KhPY»: sb. nauk. prats'. Tematycheskyj vypusk «Ynformatyka y modelyrovanye» – Bulletin of the National Technical University "KhPI" A series of "Information and Modeling". 36*, 48-51. [in Ukrainian].

Sergiy Osadchij, Prof., DSc., **Larysa Vskhrova**, Prof., PhD tech. sci., **Viktor Kalich**, Prof., PhD tech. sci., **Mariia Miroshnichenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky, Ukraine

Information Technology of Designing the System of Automatic Stabilization of the Flow of Bread Mass at the Entrance to the Thresher of the Combine

The article presents a new methodology for creating information technology for the design of a combined system for stabilizing the flow of bread mass at the entrance to the combine thresher. The characteristic features of such a methodology are outlined.

This allows the design of process control systems on the combine, taking into account external influences that are stochastic in nature.

The stages of creation of information technology for the synthesis of the optimal combined stabilization system with feedback on the deviation of the bread weight from the average value and correction for changes in yield are substantiated.

The article substantiates the composition and determines the content of operations of the new information technology of designing a combined system of stabilization of the flow of bread mass at the entrance to the thresher of the combine.

The new technology has several distinctive features. First, its introduction allows to obtain differential equations of the combine harvester, which take into account the dynamic properties and design features of hydraulic transmissions operating in the mode of constant load change.

Secondly, it allows you to design process control systems on the combine, designed for external influences that are stochastic in nature.

Third, the new technology allows the synthesis of optimal combined stabilization systems under the conditions of two multidimensional independent sources of disturbance at the input and output of the stabilization object.

stabilization of grain mass flow, optimal systems, system synthesis, information technologies, research stages

Одержано (Received) 02.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 16.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

А. Ю. Орлович, проф., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: cntu.ets260@gmail.com

Оптимізація теплових режимів в кондитерських електропечах харчового виробництва

Існуючі методи регулювання теплового режиму в тунельних печах на підприємствах харчової промисловості є малоефективні і не враховують вплив всіх складових теплового потоку в процесі передачі тепла до заготовки що обробляється. Жоден з існуючих способів не стабілізує в повній мірі загальний тепловий потік, який отримує випікаємо заготовка при проходженні зони випікання. Процес випікання є однією зі стадій виробництва кондитерських продуктів, що визначає якість і вартість продукту, умови праці обслуговуючого персоналу, можливість створення поточних механізованих і автоматизованих виробів. Пропонується метод регулювання теплового режиму оснований на стабілізації всіх теплових потоків, що підводяться до оброблюваного виробу.

тепловий режим, тунельна піч, передача тепла, виріб

Постановка проблеми. Процес випікання є однією зі стадій виробництва харчових продуктів, що визначає якість і вартість продукту, умови праці обслуговуючого персоналу, можливість створення поточних механізованих і автоматизованих виробів. Первопричиною всіх процесів і змін, які відбуваються при випічці харчового виробу, є прогрів випікаємої заготовки (ВЗ) в результаті теплообміну з елементами пекарської камери, що віддають тепло, і пароповітряною сумішшю, що заповнюють камеру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теплота передається ВЗ випромінюванням, конвекцією і кондукцією (прямою теплопровідністю безпосередньо від поду печі. Відносна роль передачі теплоти ВЗ кожним із перерахованих способів залежить від конструктивних особливостей і режиму роботи пекарської камери. Більша частина теплоти передається випромінюванням. Найменшою є частка теплоти, що передається у процесі випікання ВЗ, конвективного теплообміну з газовим середовищем пекарної камери без навмисної циркуляції газів в пекарній камері [1]. Електричні тунельні печі, як правило, мають 3-4 незалежні теплові зони, котрі нагріваються трубчатими електронагрівачами (ТЕН). Тени розташовані зверху та знизу ВЗ. В деяких моделях печей для обігріву ВЗ зверху використовуються не ТЕНи, а інфрачервоні випромінювачі.

В печах, що експлуатуються і випускаються в нашій країні, застосовуються наступні засоби регулювання теплового режиму [2]:

1. Частина ТЕН, що складають 50-70% від загальної кількості, включаються в ручному режимі. Їх потужність може регулюватись за допомогою перемикачів в різні групи. Вмикання-вимикання ТЕН, що залишились, виконується автоматично за заданою температурою в камері (печі ШБ-2П, БН, ХПС, ПИК-8).

2. Нагрівальні елементи кожної зони розбиті на три групи. Перша група може бути ввімкнена постійно, вимкнена, або ввімкнена до однієї з двох наступних груп, що керуються автоматично. При температурі нижче заданої автоматично вмикаються нагрівачі другої і третьої груп. При досягненні нижнього рівня заданої температури

вимикається друга група нагрівачів, а при досягненні верхнього рівня – третя група (Печі П-119, П-104).

3. Потужність верхніх і нижніх нагрівачів регулюються окремо і плавно по ПД алгоритму за допомогою симісторних регуляторів (печі ПКМ, І8-ПЕТ).

Слід зауважити, що жоден з зазначених способів не стабілізує в повній мірі загальний тепловий потік, що отримує ВЗ при проходженні зони випікання. Перші два способи направлені на стабілізацію температури в камері випікання шляхом сходянкової зміни потужності ТЕНу, останній спосіб в більшості регулює потужність ТЕНу в функції відхилення температури першого ступеню.

Постановка завдання. Метою дослідження є вплив теплового режиму в тунельних електропечах на підприємствах харчової промисловості до заготівки, що обробляється.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо процес теплопередачі до ВЗ. Прийmemo, що промінепоглинаюча здібність пароповітряної суміші в камері рівна нулю. Температури поверхностей ВЗ, ТЕН, пода, своди – рівномірно розподілені і дорівнюють деяким середньозваженим величинам. Температура в камері також рівномірно розподілена по об'єму і рівна $T_{кам}$. Тоді сумарний тепловий потік, що отримує ВЗ при випіканні буде складатись з наступних складових:

- що отримується при конвекції від робочого середовища камери:

$$q_{к.к} = a_{кам-втз} (T_{кам} - T_{втз}), \quad (1)$$

де $a_{кам-втз}$ – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від пароповітряного середовища до поверхні ВЗ,

$T_{кам}$ – температура пароповітряного середовища камери,

$T_{втз}$ – температура поверхні ВЗ;

- що отримується випромінюванням від поверхні нагрівального елемента:

$$q_{и.не} = C_{пр.не-втз} \left[\left(\frac{T_{п.не}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{втз}}{100} \right)^4 \right], \quad (2)$$

де $C_{пр.не-втз}$ – приведений коефіцієнт випромінювання системи нагрівальний елемент-ВЗ,

$T_{п.не}$ и $T_{втз}$ – абсолютні температурні поверхні нагрівальних елементів і поверхні ВЗ,

- що отримується випромінюванням від поверхні своду:

$$q_{и.св} = C_{пр.св-втз} \left[\left(\frac{T_{п.св}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{втз}}{100} \right)^4 \right]. \quad (3)$$

де $C_{пр.св-втз}$ – приведений коефіцієнт випромінювання системи поверхня своду-ВЗ,

$T_{п.св}$ – абсолютна температура своду.

- що отримується кондукцією від пода печі:

$$q_{кнд} = \frac{1}{R} (T_{под} - T_{вмз}), \quad (4)$$

де R – еквівалентний тепловий опір системи под-ВЗ;

$T_{под}$ – температура пода печі.

Для стабільного процесу випічки, загальний тепловий потік, що передається ВЗ від кожної теплової зони повинен бути постійним, тобто:

$$q_{к.к} + q_{i.не} + q_{i.св} + q_{кнд} = const. \quad (5)$$

Тоді при незмінній швидкості конвеєра кількість теплоти, що отримує кожна ВЗ при проходженні теплової зони, буде постійним, і відповідно, прогрів ВЗ буде стабільним.

При виконанні умови (5), необхідно контролювати температуру ВЗ, пароповітряної суміші в камері, поверхні ТЕНу, поверхні своду і поду. Слід зауважити, що всі температури контролювати важко і вартість такого контролю суттєво велика. Тому пропонується спростити систему і контролювати лише 2 важливі температури – температуру поду і температуру пароповітряної суміші середовища в камері.

Зауважимо, що теплові процеси пов'язані з подом печі достатньо інерційні. Якщо підтримувати температуру пода за допомогою звичайного ПД-регулятора, можна достатньо точно стабілізувати тепловий потік, що отримує ВЗ за допомогою кондукції. Тоді задача зводиться до стабілізації теплового потоку, що отримує ВЗ, через верхню поверхню.

Зробимо ще одне припущення. ТЕП в печі зазвичай має відбиваючий екран. Цей екран направляє більшу частину випромінювання на поверхню ВЗ. Поверхня своду обігрівается у більшості за допомогою конвекції від пароповітряної суміші камери. Внаслідок чого температура своду мало відрізняється від її температури. Тому можемо прийняти:

$$T_{п.св} = T_{кам}. \quad (6)$$

Вираз 5 з урахуванням 6. матиме вигляд (7):

$$a_{кам-вмз} (T_{кам} - T_{вмз}) + C_{пр.не-вмз} \left[\left(\frac{T_{п.не}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{вмз}}{100} \right)^4 \right] + C_{пр.св-вмз} \left[\left(\frac{T_{кам}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{вмз}}{100} \right)^4 \right] = const$$

Покажемо температуру поверхні ТЕНу (7) через температуру камери і потужність ТЕНу.

Тепловий потік до ТЕНу складається з наступних складових:

$$q_{\Sigma тен} = \frac{P_{тен}}{S_{тен}} = q_{конв} + q_{випр} = q_{к.кам} + q_{i.кам} + q_{i.вмз} + q_{i.под}, \quad (8)$$

У сучасних тунельних печах харчового виробництва для обігріву поверхні ВЗ використовуються нагрівальні елементи, котрі більшу частину теплоти віддають випромінюванням[3]. Для спрощення розрахунків конвективну складову врахуємо коефіцієнтом $\beta_{к.тен}$:

$$\frac{P_{тен}}{S_{тен}} = q_{конв} + q_{випр} = \beta_{к.тен} q_{i.кам} + q_{i.втз} + q_{i.под} \quad (9)$$

Розглянемо вираз (9) і зробимо деякі математичні перетворення отримаємо наступне (10):

$$\left(\frac{T_{п.не}}{100}\right)^4 = \frac{\frac{P_{тен}}{S_{тен}} + \beta_{к.тен} C_{не-кам} (0,01 \cdot T_{кам})^4 + C_{не-втз} (0,01 \cdot T_{втз})^4 + C_{не-под} (0,01 \cdot T_{под})^4}{\beta_{к.тен} (C_{не-кам} + C_{не-втз} + C_{не-под})}$$

Якщо врахувати, що результатом роботи системи буде стабілізація теплового потоку до ВЗ, тому середня температура поверхні ВЗ буде залишатись стабільної, температура поду також буде стабілізована незалежним регулятором. Вираз матиме вид:

$$\begin{aligned} a_{кам-втз} T_{кам} + \frac{C_{пр.не-втз} P_{тен}}{S_{тен} \beta_{к.тен} (C_{не-кам} + C_{не-втз} + C_{не-под})} + \\ \frac{C_{пр.не-втз} \beta_{к.тен} C_{не-кам} (0,01 \cdot T_{кам})^4}{C_{не-кам} + C_{не-втз} + C_{не-под}} + C_{пр.св-втз} (0,01 \cdot T_{кам})^4 = const \end{aligned} \quad (11)$$

Коефіцієнти при змінних $P_{тен}$ та $T_{кам}$ постійними у вузькому температурному діапазоні конкретного режиму випічки, тоді вираз (11) прийме вигляд:

$$P_{тен} + \varphi_1 T_{кам} + \varphi_2 T_{кам}^4 = const, \quad (12)$$

де $T_{кам}$ – абсолютна температура у камері;

φ_1 та φ_2 – коефіцієнти, що будуть залежать від конструкції камери, виду пекарського виробу, нагрівачів і т.д.

Таким чином, при відхиленні температури в камері на $\Delta T_{кам}$, необхідно провести корекцію потужності ТЕНу на величину:

$$\Delta P_{тен} = \varphi_2 (T_{кам}^4 - (T_{кам} + \Delta T_{кам})^4) + \varphi_1 \Delta T_{кам}. \quad (13)$$

Корегувати потужність можна по відхиленню температури у четвертому ступеню. Легко виміряти температуру від ТЕНу і температуру в камері. Задача зводиться до виміру температури у двох встановлених режимах при випіканні конкретної продукції. Після чого вирішуємо систему рівнянь з двома невідомими φ_1 та φ_2 . Далі, після визначення коефіцієнтів, переходимо в режим автоматичної компенсації відхилення температури.

Зауважимо, при відхиленні температури в камері – її компенсуємо корегуючи потужність ТЕНу. При цьому температура в камері не повернеться до першочергового значення, однак сумарний тепловий потік на ВЗ не зміниться.

Висновки.

1. Існуючі способи регулювання теплового режиму в електричних тунельних печах не дозволяють якісно стабілізувати прогрів ВЗ в процесі випікання при коливаннях температури пароповітряного середовища камери.

2. Запропонований спосіб компенсації коливань температури всередині камери випікання базується на фізичних процесах теплопереносу і дозволяє стабілізувати кількість теплоти на ВЗ. При цьому, приріст температури ВЗ при проходженні зони випічки буде постійний, як наслідок – прогрівання ВЗ буде стабільним. Це дозволить зменшити брак продукції внаслідок дефектів випічки.

Список літератури

1. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства / Под ред. Л.И. Пучковой. СПб.: Профессия, 2005. 416с.
2. Пашченко Л.П., Жаркова И.М. Технология хлебобулочных изделий. М.: КолосС, 2008. 389с.
3. Пашченко Л.П., Мазур П.Я. Физико-химические основы хлебопечения. Воронеж: ВГТА, 2001. 115с.

References

1. Auerman, L.Ya. (2005). Technology of bakery production / L.I. Puchkova (Ed.). St. Petersburg: Profession [in Russian].
2. Pashchenko, L.P. & Zharkova, I.M. (2008). *Tehnologija hlebobulochnykh izdelij* [Technology of bakery products]. Moscow: KolosS [in Russian].
3. Pashchenko, L.P. & Mazur, P.Ya. (2001). *Fiziko-himicheskie osnovy hlebopechenija* [Physical and chemical bases of baking]. Voronezh: VGTA [in Russian].

Anatoliy Orlovich, Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Optimization of the Thermal Regime in Confectionery Electric Ovens for Food Production

The article is devoted to the study of the thermal regime in tunnel kilns in the food industry. It is noted that the existing methods are inefficient and do not take into account the influence of all components of the heat flow in the process of heat transfer to the workpiece. It is noted in the article that none of the existing methods fully stabilizes the total heat flux received by the baked workpiece during the passage of the baking zone. The baking process is one of the stages of food production, which determines the quality and cost of the product, the working conditions of staff, the ability to create current mechanized and automated products.

The proposed method of regulating the thermal regime is based on the stabilization of all heat fluxes supplied to the workpiece.

The author of the article proposes a method of compensating for temperature fluctuations inside the baking chamber based on physical heat transfer processes and allows to stabilize the amount of heat on the baked workpiece. In this case, the increase in the temperature of the workpiece during the passage of the baking zone will be constant, as a consequence - the heating of the workpiece will be stable. This will reduce product shortages due to baking defects.

thermal mode, tunnel oven, heat transfer, bakery product

Одержано (Received) 22.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 27.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

О. П. Голик, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна

e-mail: dego@ukr.net

Інструменти та методи розробки стартапів в інженерних кластерах

В статті обґрунтовано доцільність вивчення здобувачами вищої освіти дисципліни, яка формує компетентності з розробки інноваційних проєктів. Наведено та розглянуто методологічний інструмент, який дозволяє розробляти стартапи та займатися проєктною діяльністю.

універсальні навички, командна робота, піраміда Франкліна, матриця Ейзенхауера, закон Парето, діаграма Ганта

Постановка проблеми. Ще у 2020 році в закладах вищої освіти почали впроваджувати дисципліни, які направлені на розвиток компетентностей з розробки та управління стартап-проєктами [1]. Підприємства зацікавлені в тому, щоб майбутні випускники мали необхідні знання, навички та практичний досвід одразу розробляти інноваційні проєкти. Тому доцільним є розвивати у здобувачів вищої освіти відповідні компетентності. Таким чином під час навчання у закладі освіти студенти можуть без ризиків пробувати розробляти стартапи, а після завершення навчання вони будуть готовими безпосередньо виконувати професійні завдання.

Особливо важливим є набуття таких компетентностей для інженерно-технічних спеціальностей, оскільки ринок праці дуже сильно змінився і, як наслідок, роботодавцям необхідні працівники, які мають практичний досвід в інноваційній діяльності.

Постановка завдання. Під час навчання в університеті студенти в основному здобувають «жорсткі» навички (hard skills), а при роботі на підприємствах дуже важливим є наявність розвинених «м'яких» навичок (soft skills). Навчання розробки та управління стартап-проєктами допоможе студентам опанувати на практиці саме soft skills, які є важливими для ефективної командної роботи. Крім того, навчання розробки стартапів дає можливість студентам формувати вміння переживати невдачі, більш толерантно ставитись до власних помилок, виховувати самокритичність. В результаті студенти ставляться до власних невдач, як до одного з етапів на шляху до успіху [2].

Здобувачам вищої освіти інженерно-технічних спеціальностей важливо навчитися працювати в команді у мультидисциплінарному середовищі, щоб в подальшому здобути різноманітні навички, знання та досвід.

Метою статті є огляд та аналіз основних інструментів та методів, які дозволяють студентам інженерно-технічних спеціальностей сформувати компетентності з розробки стартап-проєктів.

Виклад основного матеріалу. Розглянувши тлумачення поняття «стартап» з різних джерел можна виділити основні властивості:

- це новий проєкт в основі якого лежить якась абсолютно нова ідея;
- це процес, який перетворює ідею на успішний бізнес;

- це діяльність, яка пов'язана з інвестуванням власного часу та зусиль;
- це тимчасова структура, призначена для пошуку та реалізації масштабованої бізнес-моделі;
- повинен мати унікальну (оригінальну, ексклюзивну) ідею;
- ніколи не копіює вже відомі комерційні проекти, а являє собою щось кардинально нове.

Будь-яка проектна діяльність завжди пов'язана з використанням певних компетентностей. Існують професійні компетентності (hard skills) та універсальні компетентності (soft skills). Набуття та розвиток саме soft skills є особливо важливим при розробці стартапів, оскільки ці навички дають можливість комунікувати один з одним та працювати в команді. В [3-5] наведені ключові універсальні навички, які будуть необхідні для успішного професійного зростання в майбутньому, представлені на рис. 1.



Рисунок 1 – Ключові Soft Skills

Джерело: розроблено автором на підставі [3-5]

Одним з головних чинників реалізації проекту є командна робота. На рис. 2 наведені переваги та недоліки командної роботи. Таким чином студентам необхідно надавати рекомендації для підвищення ефективності командної роботи. Основними з них є методи підтримки мотивації роботи в команді та можливість членам команди відчувати власну значимість і внесок у загальну справу.

На розробку стартапа необхідний певний час, який необхідно контролювати. Тому важливо володіти інформацією про фактори, які впливають на час виконання

проекту. Автором [6] запропоновано називати ці фактори «пожирачі часу». На рис. 3 показані «пожирачі часу на різних етапах розробки стартапів [6-8].

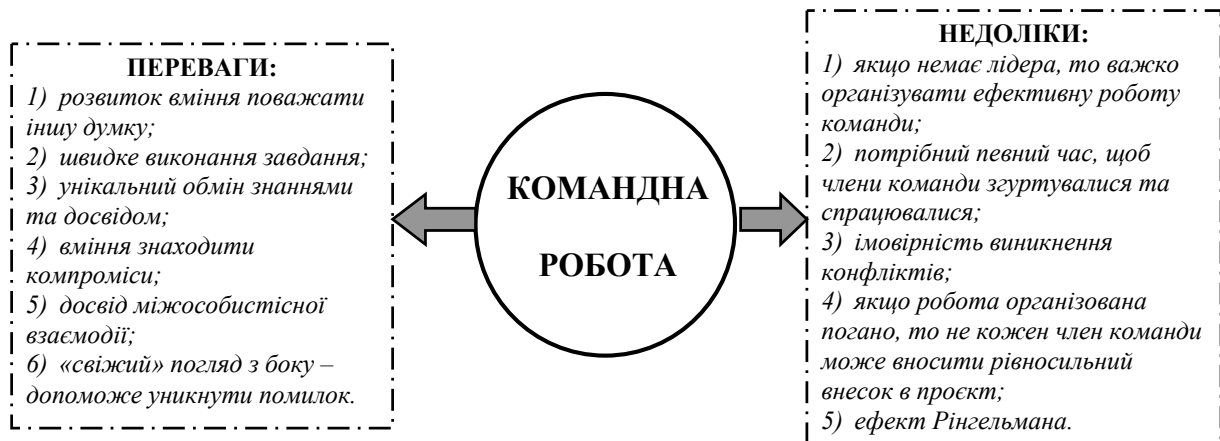


Рисунок 2 – Властивості роботи в команді

Джерело: розроблено автором на підставі [6]



Рисунок 3 – Фактори, які впливають на витрати часу

Джерело: розроблено автором на підставі [6]

Для управління часом доцільно використовувати піраміду Франкліна (піраміда ефективності), представлена на рис.4 [9].

За допомогою цієї піраміди можна представити весь маршрут досягнення цілей. Суть полягає в тому, щоб розбити глобальне завдання на більш дрібні, які також необхідно розбити на підзадачі [8, 9].



Рисунок 4 – Піраміда Франкліна

Джерело: [9]

Також важливим при розробці стартапів є контроль часу (його планування) та проставлення пріоритетів. Для реалізації цього завдання використовують матрицю Ейзенхауера. За допомогою цієї матриці завдання сортують по параметрам важливості (терміновості) та сортування списку справ [10]. На рис. 5 показана матриця Ейзенхауера [8], за допомогою якої сортують завдання.

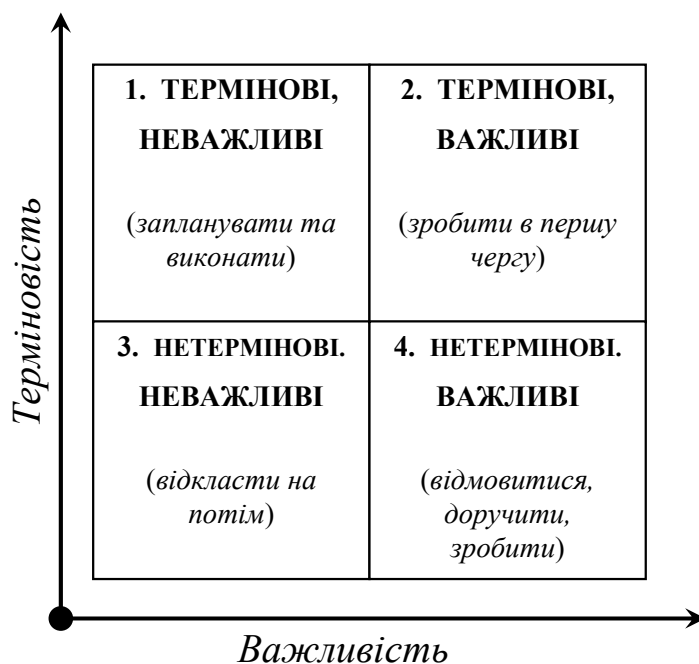


Рисунок 5 – Матриця Ейзенхауера

Джерело: [6]

Для того щоб ефективно використовувати матрицю Ейзенхауера доцільно також застосовувати «метод Франкліна». За його допомогою можна визначити важливі справи, які відповідають поточним життєвим цілям [11]. Він запропонував для вирішення цієї задачі задати собі 3 наступних питання [11]:

1. До яких наслідків може призвести невиконання цього завдання?
2. Чи може хтось виконати завдання замість мене?
3. Чи важлива ця задача для досягнення моєї мети?

Таким чином можна зрозуміти, наскільки важлива задача та наскільки терміново треба виконати завдання.

Будь-який стартап потребує чіткого планування роботи та певний алгоритм дій. Одним з відомих та доступних методів планування розробки проєктів є метод 7 START. Суть якого полягає у відповідях на 7 ключових питань, які розкривають суть проєкту, наприклад, для чого проєкт [8]. Крім того важливою задачею є чітко описати ціль проєкту. Зазвичай на практиці застосовують метод опису SMART (Specific Measurable Achievable Relevant Time-Bound) [8]. Тобто ціль проєкту обов'язково повинна бути конкретною, вимірюваною, досяжною, важливою та мати термін виконання. Після чого обов'язково необхідно виконати SWOT-аналіз стартапу – визначення сильних та слабких сторін, а також ймовірностей загроз та можливостей їх виникнення. В результаті будують матрицю, яка допомагає визначити вплив сильних сторін для реалізації можливостей та протистояння загрозам, а слабкі сторони можуть завадити реалізації можливостей та підвищити ризик виникнення загрози [8].

Ефективно розробити стартап дозволяють інструменти та методи, які дають можливість розбити проєкт на складові задачі та під задачі. Для цього можна застосувати інструменти структури декомпозиції робіт, ієрархічної структури робіт. Використовуючи такі інструменти можна побудувати дерево цілей. Після чого необхідно представити графік робіт у вигляді діаграми, наприклад, діаграми Ганта. Розробити таку діаграму можна за допомогою прикладних програм Microsoft Project та Redmine. В результаті буде розроблено діаграму контрольних точок за допомогою якої можна розподілити певні види робіт між членами команди, які беруть участь у розробці стартапу. В кінцевому етапі необхідно розрахувати бюджет проєкту та знайти інвесторів. В даній статті не розглянуто інструменти та методи розробки стартапів за допомогою яких можна розрахувати бюджет та здійснювати пошук інвесторів.

Висновки. В результаті вивчення дисципліни, яка охоплює ознайомлення з інструментами та методами розробки стартапів, здобувачі вищої освіти зможуть використати набуті знання при роботі над кваліфікаційними роботами, участі в держбюджетних темах та міжнародних проєктах. Крім того, вони будуть мати практичний досвід розробки інноваційних проєктів, який враховують роботодавці.

Список літератури

1. Як створити бізнес: українських студентів навчатимуть основ підприємницької діяльності. 24 Канал. URL: https://education.24tv.ua/yak-stvoriti-biznes-ukrayinskih-studentiv-navchatimut-osnov-pidpriyemnitskoyi_n1731695 (дата звернення: 16.05.2022).
2. Освіта майбутнього: чому студентів варто навчати підприємництву. Mind.ua. URL: <https://mind.ua/openmind/20218882-osvita-majbutnogo-chomu-studentiv-varto-navchati-pidpriemnictvu> (дата звернення: 16.05.2022).
3. Якими будуть основні 10 навичок у 2025 році – Всесвітній економічний форум опублікував список. Нова українська школа | Веб-ресурс НУШ. URL: <https://nus.org.ua/news/yakymu-budut-osnovni-10-navychok-u-2025-rotsi-vsesvitnij-ekonomichnij-forum-opublikuvav-spysok/> (дата звернення: 16.05.2022).
4. ТОП-25 навичок, затребуваних у 2025 році – журнал | «Освіторія». Освіторія. URL: <https://osvitoria.media/experience/top-25-navychok-zatrebuyanyh-u-2025-rotsi/> (дата звернення: 16.05.2022).
5. Future Skills You'll Need In Your Career By 2030. Top Universities. URL: <https://www.topuniversities.com/student-info/careers-advice/future-skills-youll-need-your-career-2030> (date of access: 16.05.2022).

6. Журба Микола. Фандрейзинг та організація проектної діяльності в закладах освіти: європейський досвід : [авторський курс міжнародного стажування]. URL: <http://conference-ukraine.com.ua/ru/training/stazhuvannya/> (дата звернення: 12.05.2022).
7. Що таке поглиначі часу та як з ними боротися? *Time management по-українськи*. URL: http://time-management-24.blogspot.com/2015/06/blog-post_6.html (дата звернення: 16.05.2022).
8. Top 9 Time Wasters and How To Avoid Them. *Toggl: Time Tracking, Project Planning and Hiring Tools to Help Teams Work Better*. URL: <https://toggl.com/track/time-wasters/> (date of access: 16.05.2022).
9. Піраміда Франкліна на прикладі: дерево цілей, плани на рік. *Перший астрологічний • Все саме цікаве про Ваше життя*. URL: <https://vcf.vn.ua/piramida-franklina-vchimosya-dosyagati-postavlenix-cilej/> (дата звернення: 17.05.2022).
10. Scroggs L. Avoid the "Urgency Trap" with the Eisenhower Matrix. *Todoist*. URL: <https://todoist.com/productivity-methods/eisenhower-matrix> (date of access: 17.05.2022).
11. Матриця Ейзенхауера як інструмент розстановки пріоритетів. *НОВИНИ - "АГРОКЕБЕТИ"*. URL: <https://blog.agrokebety.com/matytsya-eyzenkhauera> (дата звернення: 17.05.2022).

References

1. Yak stvoryty biznes: ukrainskykh studentiv navchatymut osnov pidpriemnytskoi diialnosti [How to create a business: Ukrainian students will be taught the basics of entrepreneurial activity]. 24 Kanal. *education.24tv.ua*. Retrieved from https://education.24tv.ua/yak-stvoriti-biznes-ukrayinskih-studentiv-navchatymut-osnov-pidpriemnytskoyi_n1731695 [in Ukraine].
2. Osvita maibutnoho: chomu studentiv varto navchaty pidpriemnytstvu [Education for the future: why students should be taught entrepreneurship]. *mind.ua*. Retrieved from <https://mind.ua/openmind/20218882-osvita-majbutnogo-chomu-studentiv-varto-navchati-pidpriemnytstvu> [in Ukraine].
3. Yakymy budut osnovni 10 navychok u 2025 rotsi – Vsesvitni ekonomichni forum opublikuvav spysok [What will be the top 10 skills in 2025 - the World Economic Forum has published a list]. Nova ukrainska shkola: Veb-resurs NUS. *nus.org.ua*. Retrieved from <https://nus.org.ua/news/yakymy-budut-osnovni-10-navychok-u-2025-rotsi-vsesvitnij-ekonomichnyj-forum-opublikuvav-spysok/> [in Ukraine].
4. TOP-25 navychok, zatrebuyanykh u 2025 rotsi – zhurnal [TOP-25 skills in demand in 2025 - magazine]. «Osvitoria». *osvitoria.media*. Retrieved from <https://osvitoria.media/experience/top-25-navychok-zatrebuyanykh-u-2025-rotsi/> [in Ukraine].
5. Future Skills You'll Need In Your Career By 2030. *topuniversities.com*. Retrieved from <https://www.topuniversities.com/student-info/careers-advice/future-skills-youll-need-your-career-2030> [in English].
6. Zhurba Mykola. Fandreizynh ta orhanizatsiia proektnoi diialnosti v zakladakh osvity: yevropeyskyi dosvid [Mykola Zhurba. Fundraising and organization of project activities in educational institutions: European experience]. *conference-ukraine.com.ua*. Retrieved from <http://conference-ukraine.com.ua/ru/training/stazhuvannya/> [in Ukraine].
7. Shcho take pohlynachi chasu ta yak z nymy borotysia? Time management po-ukrainski [What are time wasters and how to deal with them? Time management in Ukrainian.]. *time-management-24.blogspot.com*. Retrieved from http://time-management-24.blogspot.com/2015/06/blog-post_6.html [in Ukraine].
8. Top 9 Time Wasters and How To Avoid Them. *Toggl: Time Tracking, Project Planning and Hiring Tools to Help Teams Work Better*. *toggl.com*. Retrieved from <https://toggl.com/track/time-wasters/> [in English].
9. Piramida Franklina na prykladi: derevo tsilei, plany na rik [Franklin's pyramid as an example: a tree of goals, plans for the year]. Pershyi astrolohichnyi • Vse same tsikave pro Vashe zhyttia. *vcf.vn.ua*. Retrieved from <https://vcf.vn.ua/piramida-franklina-vchimosya-dosyagati-postavlenix-cilej/> [in Ukraine].
10. Scroggs L. Avoid the "Urgency Trap" with the Eisenhower Matrix. *Todoist*. Retrieved from <https://todoist.com/productivity-methods/eisenhower-matrix> [in English].
11. Matrytsia Eizenkhauera yak instrument rozstanovky priorytetiv [The Eisenhower matrix as a tool for setting priorities]. NOVYNY - "AHROKEBETY". *blog.agrokebety.com*. Retrieved from <https://blog.agrokebety.com/matytsya-eyzenkhauera> [in Ukraine].

Olena Holyk, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Tools and Methods for Developing Startups in Engineering Clusters

The article is aimed at reviewing the most effective methods and tools for the making of startups. Relevance of familiarization of students of engineering specialties with these methods lies in the need to acquire

knowledge, skills and skills in innovative project activities. As the labor market is constantly changing, employers are interested in graduates who have project skills and practical experience.

The article considers soft skills that will be in demand in the coming years for successful professional growth and ability to work in a team. The advantages and disadvantages of teamwork, as well as recommendations for improving the effectiveness of teamwork, are presented. The main obstacles preventing control of the process to develop the startup are mentioned. Methods of planning and control of time, determination of priorities of tasks are considered. To formulate the project name and to form the goals, the main instruments that allow to determine the influence of strong and weak sides (SWOT-analysis) are given. Also the tools of the composition structure of works and the hierarchical structure of works which allow to divide the project into components of tasks and subgoals are considered.

Thus, the study of engineering and technical specialties of the methods and tools of making start-ups, presented in the article, will help students to form skills to survive failures, to treat their own mistakes with tolerance, to learn to work in a team in a multidisciplinary environment. As a result, students can take a risk-free trial during their studies at the university, and once they have completed their studies they will be ready to engage in professional activities at once.

soft skills, teamwork, the Franklin Pyramid, the Eisenhower Matrix, Pareto Principle, Gantt chart

Одержано (Received) 19.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 25.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 531.7:62-2:629.7 (043.3)

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.121-129](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.121-129)

В.П. Квасніков, проф., д-р техн. наук, **М.О. Катаєва**, канд. техн. наук

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

e-mail: mariia.kataieva@npp.nau.edu.ua

Метод корекції вихідного сигналу скануючого зондового мікроскопу для дослідження наноб'єктів

В статті розглянуто методи підвищення точності вихідного сигналу скануючого зондового мікроскопу (СЗМ) із урахуванням впливу дестабілізуючих факторів. Запропоновано метод диференціації поєднаних сигналів, який передбачає перетворення піків багатокomпонентного сигналу з метою зниження рівня шуму і мінімізації інших джерел похибок від дестабілізуючих факторів. На основі запропонованого методу було розроблено алгоритм розділення поєднаних сигналів та запропоновано метод розрахунку роздільної здатності сигналу СЗМ. Перевагою розробленого методу є можливість його автоматизації та ефективна реалізація для будь-яких вимірювальних приладів з мікрозондом. Запропоновано спосіб корекції похибок, який є придатним для цифрової автоматизованої обробки сигналів та сприяє підвищенню точності та прецизійності вимірювань за допомогою СЗМ.

нанотехнології, нановимірювання, метрологія, методи та засоби вимірювання, скануючий зондовий мікроскоп, обробка сигналу

Постановка проблеми. Протягом останніх десятиліть практично у всіх розвинених країнах світу в різних галузях народного господарства спостерігається стрімкий науковий та технічний прогрес в сфері нанотехнологій. Останні досягнення в нанотехнологіях передбачають використання вимірювальних пристроїв, які можуть досліджувати фізичні властивості на атомних і молекулярних рівнях та обробляти вимірювальну інформацію високої щільності. Найбільш перспективними та поаулярними вимірювальними засобами у нанометровому діапазоні є вимірювальні пристрої, побудовані на основі скануючого зондового мікроскопу (СЗМ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [1-5] представлено системний підхід до аналізу динаміки СЗМ, де для опису нелінійних особливостей роботи СЗМ в динамічному режимі. Однак ці підходи не дозволяють виокремити основні характеристики та обмеження вимірювальних зондових пристроїв, які пов'язані із впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів, що надають нелінійності кінематичним передачам, а саме: люфти, сухе тертя, зони нечутливості тощо. Великий вплив на точність мікропереміщень мають теплові та вібраційні обурення, які при великих діапазонах переміщень, як правило, не враховуються.

Постановка завдання. Виходячи з аналізу досліджень [1-10], одна з основних проблем при роботі з нанооб'єктами та наноструктурами пов'язана з наднизькими рівнями сигналу та його спотворення під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів. У зв'язку з цим, актуальною стає задача удосконалення існуючих та розробки нових методів обробки вимірювального сигналу СЗМ з підвищеними показниками точності та швидкодії.

Виклад основного матеріалу. Метою мікроскопічного дослідження твердих тіл методами скануючої зондової мікроскопії, є отримання збільшеного зображення поверхні. Для отримання СЗМ зображення проводиться растрове сканування нанооб'єкту, при якому зонд за допомогою сканера рухається над зразком невеликими кроками під дією пилкоподібних напруг, які формуються цифро-аналоговими перетворювачами, а величина сигналу на виконавчому елементі записується в пам'ять комп'ютера. Записаний сигнал зворотного зв'язку обробляється комп'ютером, а потім СЗМ зображення рельєфу поверхні нанооб'єкту $Z = f(x, y)$ будується за допомогою засобів комп'ютерної графіки. Для підтримки заданої відстані між зондом і зразком в СЗМ найчастіше використовують пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор - пристрій, який формує керуючий сигнал, що є сумою трьох доданків

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt},$$

де (P) – параметр, який характеризує взаємодію зонда з поверхнею та є пропорційний сигналу неузгодженості $e(t) = FBInput(t) - SetPoint$, $FBInput(t)$ – значення вхідного сигналу, $SetPoint$ – задане значення вхідного сигналу;

I – інтеграл сигналу неузгодження за часом;

D – похідна сигналу неузгодження за часом;

K_p , K_I , K_D – коефіцієнти посилення пропорційної, інтегральної та диференціальної складових регулятора[1].

При використанні тільки пропорційної складової керуючий сигнал зменшується при наближенні до заданої величини, причому регульована величина ніколи не стабілізується на заданому значенні. Виникає так звана статична похибка E , що дорівнює відхиленню регульованої величини вихідного сигналу, що стабілізує регульовану величину саме на цьому значенні[2]. Чим більший коефіцієнт пропорційності між вихідним і вхідним сигналами, тим менша статична помилка, але при занадто великому коефіцієнті посилення і за наявності затримок у системі можуть початися автоколивання, а при подальшому збільшенні коефіцієнта посилення система СЗМ може втратити стійкість. Вихідний сигнал СЗМ $y(t)$ в більшості випадків можна розглядати як адитивну суміш корисного квазідетермінованого N -компонентного сигналу $g(t)$ і високочастотного відхилення $n(t)$.

$$y(t) = g(t) + n(t), \quad g(t) = \sum_{k=1}^N p_k f(t - \mu_k, \beta_k),$$

де t – розгортаючий параметр (поточний час);

f – відома функція, визначена видом досліджуваних вимірювальних процесів;

$f p_k$ – інтегральна інтенсивність;

μ_k – положення;

β_k – ширина компоненту (піку вимірювального сигналу).

При обробці вимірювальної інформації СЗМ однією з найважчих операцій являється розділення поєднаних піків вимірювального сигналу. Тобто, завдання полягає у знаходженні коефіцієнтів a_2 , a_1 , a_0 для складання рівняння виду $y = a_2 x^2 + a_1 x + a_0$. Зазвичай це завдання вирішується методом підбору коефіцієнтів регресії k і b для лінійної функції $y = kx + b$, таким чином, щоб сума квадратів похибок була як найменшою

$$S = \delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2 = \sum_{i=1}^n \delta_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - (kx_i + b))^2,$$

де x_i та y_i – задані параметри рельєфу нанооб'єкту;

k і b – невідомі коефіцієнти;

S – функція двох змінних k та b : $S = S(k, b)$.

$$\frac{\partial S}{\partial k} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - (kx_i + b))(-x_i) = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - (kx_i + b))x_i,$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - (kx_i + b))(-1) = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - (kx_i + b)).$$

Отримуємо лінійну систему двох рівнянь із двома змінними k та b :

$$\begin{cases} -2 \sum_{i=1}^n (y_i - (kx_i + b))x_i = 0, \\ -2 \sum_{i=1}^n (y_i - (kx_i + b)) = 0. \end{cases}$$

Перетворимо рівняння системи $-\sum_{i=1}^n y_i x_i + k \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = 0$, $-\sum_{i=1}^n y_i + k \sum_{i=1}^n x_i + bn = 0$.

Звідки отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} k \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i x_i, \\ k \sum_{i=1}^n x_i + bn = \sum_{i=1}^n y_i. \end{cases}$$

Функція $S = S(k, b)$ у знайдений точці (k, b) має саме мінімум, що встановлюється за допомогою приватних похідних другого порядку.

$$\frac{\partial^2 S}{\partial k^2} = -2 \sum_{i=1}^n (-x_i)x_i = 2 \sum_{i=1}^n (x_i)^2, \quad \frac{\partial^2 S}{\partial b^2} = -2 \cdot \sum_{i=1}^n (-1) = 2n, \quad \frac{\partial^2 S}{\partial k \partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (-x_i) = 2 \sum_{i=1}^n x_i.$$

Розрахуємо відхилення $\Delta = \frac{\partial^2 S}{\partial k^2} \cdot \frac{\partial^2 S}{\partial b^2} - \left(\frac{\partial^2 S}{\partial k \partial b} \right)^2$, $\Delta = 4n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \left(2 \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 = 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_i - x_j)^2$.

Оскільки $\Delta > 0$, то знайдений точці (k, b) функція має екстремум, а зважаючи на те, що $\frac{\partial^2 S}{\partial k^2} > 0$, у точці (k, b) функція має мінімум [3-4]. Отже, залежність між експериментально отриманими величинами може бути близькою до квадратичної. Тоді

$$\begin{cases} n a_0 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i, \\ a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \\ a_0 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i. \end{cases}$$

Але представлений алгоритм обробки вимірювальної інформації СЗМ не враховує вплив дестабілізуючих параметрів, що надають нелінійності кінематичним передачам, а саме: люфти, сухе тертя, зони нечутливості, теплові та вібраційні обурення тощо.

Запропоновано метод диференціації поєднаних сигналів, який передбачає загострювальні перетворення піків багатокомпонентного сигналу з метою зниження рівня шуму і мінімізації інших джерел похибок від впливу дестабілізуючих параметрів. Перевагою розробленого методу є можливість його автоматизації та ефективна реалізація для будь-яких вимірювальних приладів з мікрозондом. Метод передбачає перетворення Фур'є $F[f(t, \cdot)] = f(\omega, \cdot)$ функції $y = f(x)$, для якої визначено, що $f(\omega, 0) = 1$, а параметру розподілу γ лежить в діапазоні $(0 < \gamma < \min_{1 \leq k \leq N} \beta_k)$.

$$\frac{f(\omega, \beta_k)}{f(\omega, \gamma)} = F[f(t, \beta_k - \gamma)].$$

В основі методу диференціації поєднаних сигналів лежить побудова допоміжної функції $v(t, \gamma)$, яка відповідає вихідному сигналу $y(t)$:

$$v(t)_\gamma = \sum_{k=1}^N p_k s_a(t - \mu_k, \beta_k - \gamma),$$

де $s_a(t, \beta_k - \gamma) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t - x, \beta_k - \gamma) \varphi(x, \alpha) dx$, $\varphi(x, \alpha)$ – стабілізуюча множина;

α – параметр регуляризації, дозволяючий отримувати згладжені значення $v(t)_\gamma$.

Зобразимо [3] розподіл Фур'є функцією $K(t, \gamma, \alpha)$. Оскільки

$$\frac{f(\omega, \beta_k)}{f(\omega, \gamma)} \varphi(\omega, \alpha) = F[s_a(t, \beta_k - \gamma)],$$

то отримуємо

$$v(\omega, \gamma) = \frac{\varphi(\omega, \alpha)}{f(\omega, \gamma)} g(\omega). \quad (1)$$

На основі цього рівняння, можна стверджувати, що

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\varphi(\omega, \alpha) / f(\omega, \gamma)| d\omega < \infty,$$

Тоді можна описати розподіл Фур'є як

$$K(\omega, \gamma, \alpha) \stackrel{\text{def}}{=} \varphi(\omega, \alpha) / f(\omega, \gamma), \quad (2)$$

Отже, рівняння (1) буде мати вигляд

$$v(t)_\gamma = \int_{-\infty}^{\infty} K(x, \gamma, \alpha) g(t - x) dx, \quad (3)$$

що зводить метод розділення поєднаних сигналів до перетворення типу згортання сигналу $g(t)$ з вагою $K(t, \gamma, \alpha)$.

Розрахуємо інтеграл (3) на основі функції $g(t - x)$, яка представлена інтерполяційним багаточленом Лагранжа [4] з вузлами інтерполяції $x = -mh, -(m-1)h, \dots, -h, 0, h, \dots, (m-1)h, mh$

$$g(t - x) = \sum_{j=-m}^m \frac{(-1)^{m-j} g(t - jh)}{h^{2m} (m+j)! (m-j)!} \frac{\prod_{r=-m}^m (x - rh)}{x - jh} + R_m(t, x), \quad (4)$$

де залишковий член $R_m(t, x)$ буде дорівнювати

$$R_m(t, x) = - \prod_{r=-m}^m \frac{(x - rh) g^{(2m+1)}(\xi)}{(2m+1)!},$$

де $t - mh < \xi < t + mh$;

h – крок зонду СЗМ.

Підставляючи (4) в (3), знаходимо

$$v(t)_\gamma = \sum_{j=-m}^m a_{j,h}^{(m)}(\gamma, \alpha) g(t - jh) + \int_{-\infty}^{\infty} R_m(t, x) K(x, \gamma, \alpha) dx,$$

де $K(x, \gamma, \alpha)$ – парна функція по x .

$$a_{j,h}^{(m)}(\gamma, \alpha) = \frac{(-1)^{m-j}}{h^{2m(m+j)}(m-j)!} \times \int_{-\infty}^{\infty} \frac{K(x, \gamma, \alpha)}{x-jh} \prod_{r=-m}^m (x - rh) dx, \quad (5)$$

Зважаючи на те, що $x=hl$, рівняння (5) можна переписати наступним чином

$$\alpha_{j,h}^{(m)}(\gamma, \alpha) = \frac{(-1)^{m-j}h}{(m+j)!(m-j)!} \int_{-\infty}^{\infty} K(hl, \gamma, \alpha) \frac{l^2(l^2-1) \dots (l^2-m^2)}{l^2-j^2} dl.$$

Оскільки

$$\frac{(-1)^{m-j}}{(m+j)!(m-j)!} \frac{l^2(l^2-1) \dots (l^2-m^2)}{l^2-j^2} \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{k=1}^m B_{j,k}^{(m)} l^{2k},$$

де $B_{j,k}^{(m)}$ – коефіцієнти визначені через j і k , то

$$\alpha_{j,h}^{(m)}(\gamma, \alpha) = \sum_{k=1}^m B_{j,k}^{(m)} m_{2k}(\gamma, \alpha) h^{-2k}, \quad (6)$$

де $m_{2k}(\gamma, \alpha)$ – моменти порядку $2k$ функції $K(x, \gamma, \alpha)$. Вони можуть бути знайдені на основі відношення

$$m_{2k}(\gamma, \alpha) = (-1)^k \frac{d^{2k}}{d\omega^{2k}} K(\omega, \gamma, \alpha) \Big|_{\omega=0}. \quad (7)$$

Таким чином, рівняння (3) для $\tilde{v}(t)_\gamma$ може бути представлено у вигляді

$$\tilde{v}(t)_\gamma = \sum_{j=-m}^m \alpha_{j,h}^{(m)}(\gamma, \alpha) g(t - jh). \quad (8)$$

На основі запропонованого методу диференціації поєднаних сигналів було розроблено алгоритм розділення поєднаних сигналів:

1. Для системи СЗМ з N -компонентним сигналом $g(t)$ і високочастотного відхилення $n(t)$ сигнали від $(n-1)$ таких детекторів поділяються на сигнал з n -го детектора. В результаті одержуємо $(n-1)$ відносин як функцій часу.

2. Отримані відносини диференціюються за допомогою обчислення похідних.

3. Беруться відносини похідних відносно однієї з них. В результаті отримуємо $(n-2)$ кривих як функції часу.

4. Подібні операції повторюються доти, доки залишиться одна крива.

Побудуємо допоміжну функцію $v(t, \gamma)$, яка відповідає вихідному сигналу $y(t)$ та проведемо оцінку точності числового вирішення рівняння за допомогою розподілу Фур'є [3, 5]. Якщо перешкода $n(t)$ задовільняє умови $Mn(t) = 0, Mn(t)n(s) = \alpha^2 \delta(t-s), t, s \in [0, T]$, то при умові відсутності перешкоди на вихідному сигналі, виконується рівняння

$$\tilde{v}(t)_\gamma = \sum_{j=-m}^m \alpha_{j,h}^{(m)}(\gamma, \alpha) g(t - jh).$$

Якщо точні значення $g(t)$ недоступні обчислюємо співвідношення

$$\hat{v}(t)_\gamma = \sum_{j=-m}^m \alpha_{j,h}^{(m)}(\gamma, \alpha) y(t - jh). \quad (9)$$

При практичній реалізації співвідношення (9) використання кінцевого значення m може призводити до явища Гіббса [6], в вирішенні осциляцій виду $\sin x/x$. Якщо розриви в вагових коефіцієнтах попередньо згладжені, то осциляції будуть зменшені.

Це згладжування розривів досягається з допомогою множення вагових коефіцієнтів (6) на деяке вікно $\omega_1(-m \leq j \leq m)$ в часовій області:

$$\widetilde{a_{j,h}^{(m)}} = a_{j,h}^{(m)} w_j. \quad (10)$$

Для цієї цілі можна використати вікна які застосовуються для обчислення щільності спектру потужності, такі як Хеммінга (11), Блекмена (12), Блекмена-Харріса (13) та ін [7-9]:

$$w_j^{(1)} = 0.54 = 0.46 \cos \left(\frac{2\pi j}{2m+1} \right), \quad (11)$$

$$w_j^{(2)} = 0.42 + 0.50 \cos \left(\frac{2\pi j}{2m+1} \right) + 0.08 \cos \left(\frac{4\pi j}{2m+1} \right), \quad (12)$$

$$w_j^{(3)} = 0.4233 + 0.49755 \cos \left(\frac{2\pi j}{2m+1} \right) + 0.07922 \cos \left(\frac{4\pi j}{2m+1} \right). \quad (13)$$

На основі отриманого співвідношення (9) обчислюємо похибки від впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів $E = |v(t)_\gamma - \hat{v}(t)_\gamma| \leq E_1 + E_2$,

де

$$E_1 = \left| \sum_{j=-m}^m \alpha_{j,h}^{(m)} (\gamma, a) n(t-jh) \right|, \quad E_2 = |v(t)_\gamma - \tilde{v}(t)_\gamma|. \quad (14, 15)$$

Похибка E_2 виникає через чисельне вирішення рівняння (3), вона не залежить від t та прагне до 0 при $m \rightarrow \infty$. Дисперсія оцінки E_1 подається у вигляді

$$ME_1^2 = \sigma^2 \sum_{j=-m}^m [\alpha_{j,h}^{(m)} (\gamma, a)]^2. \quad (16)$$

Далі обчислюємо інтегральну інтенсивність піків сигналу

$$\hat{P}_{n,m} = h \sum_{k=m}^{n-m} \hat{v}(t_{nk})_\gamma. \quad (17)$$

де $t_{nk} = kh$, $hn = T$.

Оскільки через вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів сигнал СЗМ може мати випадкову складову, опишемо інтегральну інтенсивність піків сигналу у вигляді невинуваткової та випадкової частин: $\hat{P}_{n,m} = P_1(n, m) + P_2(n, m)$.

Невинуваткова частина сигналу допускає подачу

$$P_1(n, m) = \sum_{k=m}^{n-m} h (\tilde{v}(t_{nk})_\gamma - v(t_{nk})_\gamma) + \sum_{k=m}^{n-m} h v(t_{nk})_\gamma - \int_0^T v(t)_\gamma dt + \int_0^T v(t)_\gamma dt = v_\gamma^{(1)}(n, m) + v_\gamma^{(2)}(n, m) + v_\gamma^{(3)}.$$

Оскільки визначено, що, $E_2 = |v(t)_\gamma - \tilde{v}(t)_\gamma|$, то можна визначити наступні нерівності (18) – (20), за якими можна оцінити відхилення $p_1(n, m)$ від дійсного значення параметру p .

$$|v_\gamma^{(1)}(n, m)| \leq \sup_{j \in [0, T]} E_2 \sum_{k=m}^{n-m} h = \sup_{j \in [0, T]} E_2 T (1 - 2^{n/m}). \quad (18)$$

Оцінимо $v_\gamma^{(2)}(n, m)$:

$$\begin{aligned} & \left| v_\gamma^{(2)}(n, m) \right| \left| \sum_{k=m}^{n-m} h v(t_{n,m})_\gamma - \sum_{k=1}^n \int_{(k-1)h}^{kh} v(t)_\gamma dt \right| \leq \\ & \leq \left(\int_0^{mk} + \int_{(n-m)h}^\gamma \right) v(t)_\gamma dt - \left| \sum_{k=m}^{n-m} h (v(t_{n,k})_\gamma - v(\tilde{t}_{nk})_\gamma) \right| \leq \\ & \leq \left(\frac{2 \max_{v \in [\sigma, \frac{m}{n}]} v(t)_\gamma}{\sigma} \right) \frac{m}{n} T - \left(\frac{\max_{j \in [0, \gamma]} v^1(t)_\gamma}{h} \right) h T (1 - 2^{m/n}), \end{aligned} \quad (19)$$

де $\tilde{t}_{nk} \in ((k-1)h, kh)$

$$v_\gamma^{(3)} = \int_0^T v(t)_\gamma dt = p - \int_{-\infty}^0 v(t)_\gamma dt - \int_T^\infty v(t)_\gamma dt. \quad (20)$$

Оскільки $M\hat{p}_{n,m} = \rho_1(n, m)$, співвідношення (18) – (20) дають оцінку для величини зміщення $\hat{p}_{n,m}$. Якщо $n \rightarrow \infty$ таким чином, що $m/n \rightarrow 0$, то $M\hat{p}_{n,m} \rightarrow v_\gamma^{(3)}$. Запишемо дисперсію оцінки $\hat{p}_{n,m}$: $D\hat{p}_{n,m} = M\rho_2^2(n, m)$. З нерівності Коші-Буняковського [10] слідує

$$D_{\hat{p}_{n,m}} = M \left[\sum_{k=m}^{n-m} h \sum_{j=-m}^m n (t_{nk} - j h) a_{j,h}^{(m)}(\gamma, \alpha) \right]^2 \leq \\ \leq h^2 (n - 2m)^2 \sum_{j=-m}^m a^2 [a_{j,h}^{(m)}(\gamma, \alpha)]^2 = T^2 (1 - 2 m/n) a^2 \sum_{j=-m}^m [a_{j,h}^{(m)}(\gamma, \alpha)]^2.$$

Нехай тепер m фіксоване. Розглянемо величину

$$P_\gamma(n, m) = \hat{P}_{n,m} - P_1(n, m) = \hat{P}_{n,m} - M\hat{P}_{n,m} = T \sum_{j=-m}^m a_{j,h}^{(m)}(\gamma, \alpha) \frac{1}{n} \sum_{k=m}^{n-m} n (t_{nk} - j h).$$

Величини $n(t_{nk} - j h)$, j фіксовано, $k=m, \dots, n-m$, являються незалежними однаково розподіленими випадковими величинами, тому

$$\frac{1}{n} \sum_{k=m}^{n-m} n (t_{nk} - j h) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0,$$

з імовірністю 1,

$$\frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{k=m}^{n-m} n (t_{nk} - j h) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} N(0, a^2),$$

де $N(0, a^2)$, - щільність нормального закону. Отже, $\hat{p}_{n,m} - M\hat{p}_{n,m} \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0$ з імовірністю 1

$$\sqrt{n} (\hat{p}_{n,m} - M\hat{p}_{n,m}) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} N(0, \theta^2),$$

де

$$\theta^2 = T^2 a^2 \left[\sum_{j=-m}^m a_{j,h}^{(m)}(\gamma, \alpha) \right]^2.$$

Експериментальна перевірка методу розподілу відтворена на модельних і реальних СЗМ сигналах представлена на рис. 1, де синьою лінією показана функція СЗМ сигналу, отримана при вимірюванні нанооб'єкта зі складним рельєфом.

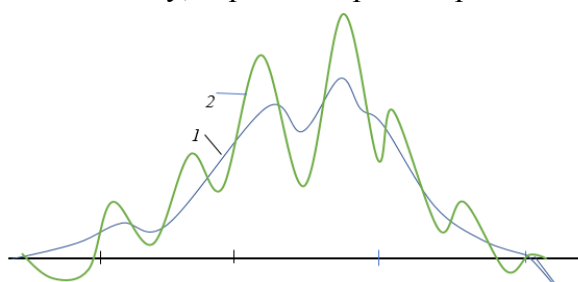


Рисунок 1– Аналіз розділення поєднаних сигналів: 1-вихідний СЗМ сигнал, 2 – перетворений СЗМ сигнал

Джерело: розроблено автором

Як видно з рис. 1, побудова функції $\hat{v}(t)_\gamma$ дає можливість чітко виявити приховані компоненти, що ілюструє ефективність використання розробленого методу. Оцінки достовірності даного методу залежить від того, наскільки аналізований СЗМ сигнал задовольняє встановленим вимогам точності та прецизійності.

Роздільна здатність сигналу СЗМ розраховується в наступному порядку:

1. Для значень параметрів γ і α розраховують моменти $m_{2k}(\gamma, \alpha)$ для гаусової функції.
2. Для заданого h і обраних m і γ по формулі (15) розраховують коефіцієнти $a_{j,h}^{(m)}(\gamma, \alpha)$.

3. Якщо необхідно, по формулі (10) розраховують модифіковані коефіцієнти $\tilde{\alpha}_{j,h}^{(m)}(\gamma, \alpha)$.
4. По формулі (9) отримують перетворену функцію СЗМ сигналу.

Таким чином, описаний алгоритм дозволяє ефективно коригувати апаратну функцію СЗМ підвищуючи надійність розпізнавання суміщених піків сигналів з одночасним визначенням їх інтенсивностей.

Висновки. Розроблено метод диференціації поєднаних сигналів, передбачає перетворення піків багатокомпонентного сигналу з метою зниження рівня шуму і мінімізації впливу інших джерел похибок, спричинених впливом дестабілізуючих факторів. Перевагою розробленого методу є можливість його автоматизації та ефективна реалізація для будь-яких вимірювальних приладів з мікрозондом. За допомогою алгоритму розділення поєднаних сигналів, розробленого на основі запропонованого методу, підвищується надійність розпізнавання суміщених піків сигналів з одночасним визначенням їх інтенсивностей та зменшується навантаження на роботу апаратної функції СЗМ. Запропонований спосіб корекції похибок, який передбачає метод диференціації поєднаних сигналів також значно сприяє підвищенню точності та прецизійності вимірювань за допомогою СЗМ, корегуючи спотворення сигналу від впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Список літератури

1. Галкин В.Я. Итерационный алгоритм восстановления сигналов при наличии ограничений / Прямые и обратные задачи математической физики. М.: МГУ, 1991. С. 45-48.
2. Тихонов А.Н., Уфимцев М.В. Статистическая обработка результатов экспериментов. М.: МГУ, 1998. 174 с.
3. R. E. Kaiser & Rackstraw A. J. Computer chromatography, Vol. 1 : By Hüthig, Heidelberg, Basel, New York, 1983. 171 pp.
4. Воронов А.А. Основы теории автоматического управления. Ч. 1. Линейные системы регулирования одной величины. М: Энергия, 1965. 396 с.
5. Ланге П.К. Коррекция динамической погрешности измерительных преобразователей на основе сплайн-аппроксимации сигнала . *Известия Самарского научного центра РАН*. 2003. Т.5. №2. С. 162 – 168.
6. Ирвин Дж., Харль Д. Передача данных в сетях: инженерный подход. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 448 с.
7. P. M. Williams. Blind reconstruction of scanning probe image data / P. M. Williams, K. M. Shakesheff, M. C. Davies, D. E. Jackson, C. J. Roberts, S. J. B. Tendler . *Journal of Vacuum Science and Technology*. 2012. В 14 (2).
8. Durig, U., Pohl D.W., Rohrer F. Near-field optical-scanning microscopy . *Journal of Applied Physics*. 986. Vol.59 (10). P.3318-3327.
9. Хелстром К. Статистическая теория обнаружения сигналов. К. : Изд-во иностранной литературы, 2003. 432 с.
10. Танкевич Є.М., Варський Г.М., Яковлева І.В. Вплив компонентів вимірювального каналу на похибки вимірювання векторів напруги . *Техн. Електродинаміка* . 2011. №6. С. 41–47.

References

1. Galkin, V.Ya. & Sayfullin, R.T. (1991). Iteratsionnyy algoritm vosstanovleniya signalov pri nalichii ogranicheniy [Iterative Signal Recovery Algorithm in the Presence of Constraints]. *Pryamyie i obratnyie zadachi matematicheskoy fiziki – Direct and inverse problems of mathematical physics*, 45-48 [in Russian].
2. Tikhonov, A.N. & Ufimtsev, M.V. (1998). *Statisticheskaya obrabotka rezul'tatov eksperimentov – [Statistical processing of experimental results]*. Moskow: MGU[in Russian].
3. Kaiser, R.E. & Rackstraw, A J. (1983). Computer chromatography. Vol. 1 .Heidelberg e.a. Alfred Huthig [in English].

4. Voronov, A.A. (1965). Osnovy teorii avtomaticheskogo upravleniya. CH. 1. Lineynyye sistemy regulirovaniya odnoy velichiny. [Fundamentals of the theory of automatic control. Part 1. Linear control systems of one value.] . Moskow: Energiya [in Russian].
5. Lange, P.K. (2003). Korrektsiya dinamicheskoy pogreshnosti izmeritel'nykh preobrazovateley na osnove splayn-approksimatsii signala [Correction of dynamic error of measuring transducers based on signal spline approximation]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN - Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2, 162–168 [in Russian].
6. Irwin, J. & Harl, D. (2003). *Peredacha dannykh v setyakh: inzhenernyy podkhod [Data transmission in networks: an engineering approach]*. St. Petersburg: BHV-Petersburg [in Russian].
7. Williams ,P.M., Shakesheff, K.M., Davies, M.C., Jackson, D.E., Roberts, C.J. & S. Tendler, J.B. (2012). Blind reconstruction of scanning probe image data. *Journal of Vacuum Science and Technology*. 2-14 [in English].
8. U.Durig, D.W.Pohl & F.Rohrer (1986). Near-field optical-scanning microscopy. *Journal of Applied Physic*. 3318-3327 [in English].
9. Khelstrom, K. (2003). *Statisticheskaya teoriya obnaruzheniya signalov [Statistical theory of signal detection]*. Izd-vo inostrannoy literatury [in Russian].
10. Tankevych, Ye.M., Vars'kyy, H.M. & Yakovlyeva, I.V. (2011). Vplyv komponentiv vymiryuval'noho kanalu na pokhybky vymiryuvannya vektoriv napruhy [Influence of measuring channel components on voltage vectors measurement errors]. *Tekhn. Elektrodynamika – Tech. Electrodynamics, Vol. 6*, 41–47 [in Ukrainian]

Volodymyr Kvasnikov, Prof., DSc., **Mariia Kataeva**, PhD tech. sci.

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

A Method of Correcting the Output Signal of a Scanning Probe Microscope for the Study of Nanoobjects

Recent advances in nanotechnology include the use of measuring devices that can study physical properties at the atomic and molecular levels and store high-density measurement information. It is proved that the most promising measuring instruments in the nanometer range are measuring devices based on scanning probe microscopes (SPM). Based on the analysis of studies, one of the main problems in working with nanoobjects and nanostructures is associated with ultra-low signal levels and the influence of external destabilizing factors. In this regard, the problem of improving existing and developing new methods of processing the measurement signal of SPM with increased accuracy and speed.

The article considers the methods of increasing the accuracy of the output signal of the SPM considering the influence of destabilizing factors. A method of differentiation of combined signals has been developed, which involves the conversion of peaks of a multicomponent signal to reduce noise and minimize the impact of other sources of error from destabilizing factors. The advantage of the developed method is the possibility of its automation and efficient implementation for any measuring devices with a microprobe.

Based on the proposed method, an algorithm for separating the combined signals was developed and a method for calculating the resolution of the SPM signal was proposed. An error correction method is proposed that is suitable for digital automated signal processing and helps to increase the accuracy and precision of measurements using SPM. Thus, the developed method of differentiation of combined signals allows to effectively adjust the hardware function of SPM to increase the reliability of recognition of combined peaks of signals while determining their intensities.

nanotechnologies, nano-measurements, metrology, methods and means of measurement, scanning probe microscope, signal processing

Одержано (Received) 27.04.2022

Прорецензовано (Reviewed) 07.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 004.65+681.518

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.130-136](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.130-136)

В.В. Міхав, асп., **Є.В. Мелешко**, проф., д-р техн. наук, **М.С. Якименко**, доц., канд. физ.-мат. наук, **Я.П. Шуліка**, асп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: mihaw.wolodymyr@gmail.com, elismeleshko@gmail.com, m.yakymenko@gmail.com, yar.shulika@gmail.com

Розробка системи управління базою даних рекомендаційної системи для комп'ютерних та комп'ютерно-інтегрованих систем

Метою даної роботи є розробка системи управління базою даних рекомендаційної системи для комп'ютерних та комп'ютерно-інтегрованих систем, та порівняння якості її роботи з існуючими системами. На сьогоднішній день рекомендаційні системи мають широке застосування у комп'ютерних мережах, зокрема, в соціальних мережах, системах Інтернет-торгівлі, поширенні медіа-контенту, реклами тощо, а також у комп'ютерно-інтегрованих системах, зокрема, в Інтернеті речей та розумних будинках. Ефективний спосіб представлення даних, необхідних для роботи рекомендаційної системи, може зменшити кількість потрібних ресурсів та полегшити розробку і використання більш складних алгоритмів для формування списків рекомендацій. У цій роботі було проведено дослідження можливості та ефективності використання відкритих лінійних списків для збереження даних рекомендаційної системи. Розроблена система значно випереджає розглянуті існуючі інструменти як за швидкістю роботи, так і за ефективністю використання пам'яті.

бази даних, системи управління базами даних, рекомендаційні системи, комп'ютерні системи, комп'ютерно-інтегровані системи, лінійні списки

Постановка проблеми. На сьогоднішній день рекомендаційні системи мають широке застосування у комп'ютерних мережах [1-5], зокрема, в соціальних мережах, системах Інтернет-торгівлі, поширенні медіа-контенту, реклами тощо, а також у комп'ютерно-інтегрованих системах [6-8], зокрема, в Інтернеті речей IoT та розумних будинках. Ефективний спосіб представлення даних, необхідних для роботи рекомендаційної системи, може зменшити кількість потрібних ресурсів та полегшити розробку і використання більш складних алгоритмів для формування списків рекомендацій. У цій роботі було проведено дослідження можливості та ефективності використання відкритих лінійних списків для збереження даних рекомендаційної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Бази даних надають можливість зберігати і обробляти інформацію у зручному для програміста та користувачів форматі. Існують різні моделі збереження інформації у системах управління базами даних [9-13]:

1. *Прості моделі даних.* Дані зберігаються у звичайних файлах. Наприклад, у електронних таблицях – у файлах формату .csv або інших. Підходять для зберігання даних з простою структурою.

2. *Ієрархічні моделі даних.* Можуть бути представлені файловою системою, за допомогою якої можна здійснити деревовидне структурування даних шляхом розміщення їх у каталогах та файлах. Кожен запис може мати не більше одного батьківського запису і не можливо реалізувати відношення «багатьох-до-багатьох». Прикладом таких баз даних можуть бути різні файлові системи.

3. *Реляційні моделі даних*. Найпопулярніші моделі загального призначення. Дані представлені у вигляді таблиць. Окремий запис представлений у вигляді рядка таблиці. Для доступу до даних використовується структурована мова запитів SQL. Ці моделі мають ряд недоліків, що призводять до надмірності даних, які можуть приводити до різних аномалій та порушень цілісності даних. Для усунення цих недоліків структури використовується нормалізація. Приклади – MySQL, SQLite, Visual FoxPro, Access, Oracle.

4. *Модель даних «ключ-значення»*. Належать до NoSQL типу. Для зберігання даних використовуються хеш-таблиці, які зберігають колекцію записів, що містять множину різних полів даних. Записи зберігаються та вилучаються з використанням ключа. Немає жорсткої схеми відношень між даними. Хеш-таблиці забезпечують швидкий доступ до даних, але ресурсомісткі. Найпопулярнішим прикладом є БД Redis.

5. *Документні моделі даних*. Належать до NoSQL типу. В основі лежать документні сховища, що мають структуру дерева. Дані зберігаються в структурованих форматах JSON, BSON або XML. Кожен документ може мати свою внутрішню структуру. Запити до бази даних дозволяють знайти документ або частину документу. Документні моделі даних застосовуються в системах управління змістом, видавничій справі, документальному пошуку. Приклади – CouchDB, MongoDB, RethinkDB, eXist.

6. *Графові моделі даних*. Належать до NoSQL типу. Дані зберігаються у вигляді вершин та ребер графів. Вершини та ребра можуть мати будь-яку кількість пов'язаних з ними властивостей. Часто застосовують для моделювання соціальних графів, семантичної павутини тощо. Можуть бути високопродуктивними, є більш наглядними та простими для внесення змін. Приклади – Neo4j, JanusGraph, JanusGraph, ArangoDB.

7. *Комбіновані моделі даних*. Об'єднують переваги SQL та NoSQL підходів у побудові баз даних. Мають можливість горизонтального масштабування, велику продуктивність, гнучкість, але велику ресурсомісткість і необхідність спеціалізованих знань для роботи з ними. Приклади – MemSQL, VoltDB, Calvin, Calvin.

Вибір моделі збереження даних залежить від властивостей даних, що потребують обробки (зокрема, складності їх структури), сфери застосування і апаратних можливостей.

Все частіше для зберігання даних рекомендаційних систем та інших додатків починають використовувати графові моделі [14, 15]. І це відбувається через ряд переваг графових моделей, зокрема, зручності представлення даних для програміста та можливості легкого масштабування і створення мережових баз даних. Яскравим прикладом такого підходу являється побудова рекомендаційних систем з застосуванням графової СУБД Neo4j [13]. Графові моделі СУБД надають не лише зручний формат зберігання даних, а й зручний формат запитів. В документації до Neo4j є приклади реалізації алгоритмів формування рекомендацій запитом до цієї СУБД, що ілюструє її придатність для використання в рекомендаційних системах.

Наявність великої кількості різних методів реалізації баз даних та способів представлення інформації, що можна використати при побудові рекомендаційних систем, викликає необхідність порівняльного аналізу та вибору оптимального методу і структури даних для зберігання інформації у таких системах.

При зберіганні даних рекомендаційної системи одними з важливих параметрів бази даних є швидкість операцій читання/запису інформації, а також необхідний об'єм пам'яті для збереження даних у тому чи іншому форматі. Тому для рекомендаційних систем часто доцільно використовувати прості моделі даних. У роботі [16] було досліджено можливості та ефективність застосування різних структур даних для збереження інформації рекомендаційної системи. Зокрема, таких як зв'язний список, розгорнутий зв'язний список, хеш-таблиця, В-дерево, В+-дерево та бінарні діаграми рішень. Найкращі результати за використаною пам'яттю та швидкістю виконання

операцій показали зв'язні лінійні списки.

Постановка завдання. Таким чином, метою даної роботи є розробка системи управління базою даних рекомендаційної системи з використанням лінійних списків для комп'ютерних та комп'ютерно-інтегрованих систем та порівняння якості її роботи з існуючими системами.

Виклад основного матеріалу. У цій роботі було розроблено систему управління базою даних для рекомендаційної системи та проведено дослідження ефективності використання відкритих лінійних списків для збереження інформації рекомендаційної системи.

Лінійні списки бувають різних видів і класифікуються за способами реалізації.

Зв'язний список – це структура даних, у якій кожен елемент має вказівник на наступний елемент. Основна перевага цієї структури полягає у сталому часі додавання нового елементу. Проте для кожного елементу потрібно виділяти новий блок пам'яті, через що менеджер пам'яті спричиняє значні затримки та накладні витрати пам'яті.

Розгорнутий зв'язний список – це зв'язний список, кожен елемент якого містить масив логічних елементів. Це дозволяє об'єднати переваги масивів та зв'язних списків у випадку додавання елементів у кінець списку. Об'єднання блоків логічних елементів у список дозволяє додавати нові елементи без зміни розміру блоку пам'яті, економити пам'ять на вказівниках та ефективніше використовувати кеш процесора завдяки послідовному розташуванню елементів. При послідовному заповненні гарантується, що незаповненим лишиться не більше одного блоку елементів.

V-список – це розгорнутий зв'язний список, у якому розмір блоків задається геометричною прогресією. Це дозволяє зменшити зважений час додавання елементу і зменшити накладні витрати у списку малої розмірності, але збільшує максимальні накладні витрати у списку великої розмірності.

Ми пропонуємо зберігати у розгорнутому списку рекомендації користувачам для кожної сесії роботи рекомендаційної системи. У варіанті із інвертованим списком ми також зберігаємо дані про вподобання користувачів для кожного об'єкту.

Завдяки інвертованому списку ми можемо використати наступну схему вибірки даних: 1) для кожного вподобання користувача у сесії вибрати з інвертованого списку усі сесії, пов'язані з об'єктом вподобання; 2) вибрати вподобання користувачів усіх відібраних сесій.

Таким чином це дозволяє переглядати лише частину даних. Завдяки цьому вибірка для формування рекомендації виконується швидше, але додавання нових вподобань вимагає більше обчислень та пам'яті.

У проведених експериментах, розгорнутий список показав найкращі показники швидкодії та використання пам'яті. Профілювання показало, що 75% часу роботи тесту для варіанту з розгорнутим списком зайняло генерування випадкових даних для тесту, тож саме сховище даних має високі показники ефективності. Профілювання варіанту із інвертованим списком показало, що доступ до випадкових блоків займає більше часу через неможливість закешувати їх, тож за умов реального навантаження час вставки нових даних буде більшим, а відносна ефективність застосування інвертованого списку зросте. Для найбільш ефективного використання пам'яті розмір блоку зв'язного списку має бути адаптований таким чином, щоб блоки були максимально заповнені. Блоки малого розміру зменшують втрати пам'яті, але збільшують час обходу усіх елементів списку та збільшують накладні витрати пам'яті.

Для перевірки ефективності запропонованого методу представлення даних було проведено експерименти з таким програмним забезпеченням:

- реляційна система керування базами даних PostgreSQL;
- резидентне сховище пар «ключ-значення» Redis;

- графова база даних Neo4j.

Кожен метод представлення даних було перевірено за наступними показниками:

- час заповнення сховища тестовими даними;
- об'єм пам'яті, зайнятий сховищем після заповнення;
- час генерації рекомендації.

В якості тестових даних використано набір даних MovieLens. Об'єм даних у форматі .csv складає 724 Мб. Результати проведених експериментів наведені у табл. 1.

Час завантаження даних до програми, розробленої на основі нашого методу, склав 1.3 секунди, при цьому програма використала 616 Мб пам'яті. Генерація рекомендації для користувача зайняла 0.15 секунди.

У PostgreSQL було створено таблицю для представлення вподобань, яка складалася з полів для ідентифікаторів користувача та об'єкту. Було перевірено роботу без використання індексів та з використанням індексів для кожного поля. Додавання даних відбувалося за допомогою SQL-інструкцій, при цьому було відзначено, що час додавання зменшувався при збільшенні кількості даних на один запит. Запис даних блоками по 100000 рядків склав 44 секунди у таблицю без індексів та 113 секунд у таблицю з індексами, тоді як запис блоками по 10000 – 58 та 125 секунд відповідно. Об'єм пам'яті, зайнятої таблицею, склав 786 Мб, індекси зайняли 331 Мб. Для побудови рекомендації було використано два варіанти SQL-запиту. У першому варіанті запиту було поєднано вирази IN та JOIN, час його виконання склав 13.9 секунд для таблиці без індексів та 16.3 секунд для таблиці з індексами. У другому варіанті запиту було використано лише JOIN, час виконання склав 14.5 секунд для таблиці без індексів та 6.7 секунд для таблиці з індексами.

У Redis для збереження даних було застосовано вбудований тип Set (множина). Для кожного користувача було створено множину з його вподобаннями, а для кожного об'єкту – множину з користувачами, які його вподобали. Redis здійснює запис даних асинхронно, і створення великої кількості одночасних запитів може вичерпати доступні ресурси. Тому великі об'єми даних потрібно завантажувати блоками, додаючи затримку після кожного блоку. Заповнення зайняло 89 секунд, для представлення даних Redis використав 1.4 Гб. Вибірка даних для генерації рекомендації зайняла 27 секунд.

Для завантаження даних до Neo4j було використано вбудовану функцію імпорту з .csv файлу. Завантаження вподобань зайняло 335 секунд, база даних зайняла 1.7 Гб. Для підвищення швидкодії було створено індекси по зв'язках між сутностями. Генерація рекомендацій зайняла 155 секунд.

Таблиця 1 – Порівняння якості роботи запропонованої та існуючих систем управління базами даних

Інструмент	Час заповнення, с	Об'єм пам'яті, Гб	Час генерації рекомендації, с
PostgreSQL	113	1.09	6.7
Redis	89	1.4	27
Neo4j	335	1.7	155
Розроблена система на основі лінійних списків	1.3	0.6	0.15

Джерело: розроблено авторами

Висновки. У даній роботі розроблено систему управління базою даних рекомендаційної системи на основі лінійних списків, яку можна використати для

комп'ютерних мереж та комп'ютерно-інтегрованих систем.

Для перевірки ефективності запропонованого методу представлення даних у рекомендаційній системі було проведено порівняльні експерименти з таким програмним забезпеченням як: реляційна СУБД PostgreSQL, резидентна СУБД Redis та графова СУБД Neo4j. Кожен метод представлення даних було перевірено за наступними показниками: час заповнення сховища тестовими даними; об'єм пам'яті, зайнятий сховищем після заповнення; час генерації рекомендації. Розроблена система значно випереджає розглянуті існуючі інструменти як за швидкістю роботи, так і за ефективністю використання пам'яті. Варто зауважити, що вона не передбачає витіснення даних на диск чи мережевий доступ до сховища, тому необхідно мати додаткове постійне сховище для збереження даних про вподобання.

Список літератури

1. "Recommender Systems Handbook" (2010), Editors F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, P. B. Kantor, New York, NY, Springer-Verlag New York, Inc., USA. 842 p.
2. Anitha J., Kalaiarasu M. (2022), "Retraction Note to: Optimized machine learning based collaborative filtering (OMLCF) recommendation system in e-commerce", J Ambient Intell Human Comput, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-022-04093-4>
3. Priya A.S.B. (2022), "Bhuvaneswaran, R.S. Retraction Note to: Cloud service recommendation system based on clustering trust measures in multi-cloud environment", J Ambient Intell Human Comput, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-022-04056-9>
4. Paul, D., Kundu, S. (2020), "A Survey of Music Recommendation Systems with a Proposed Music Recommendation System", In: Mandal, J., Bhattacharya, D. (eds) Emerging Technology in Modelling and Graphics, Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 937, Springer, Singapore, DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-7403-6_26
5. Valois B.Jr.C., Oliveira M.A. (2011), "Recommender systems in social networks", JISTEM J.Inf.Syst. Technol. Manag., Vol. 8, No. 3, P. 681-716, URL: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-17752011000300009
6. Felfernig A., Polat-Erdeniz S., Uran C. et al. (2019), "An overview of recommender systems in the internet of things", J Intell Inf Syst 52, P. 285-309, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10844-018-0530-7>
7. Nawara D., Kashaf R. (2020), "IoT-based Recommendation Systems – An Overview", 2020 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS), pp. 1-7, DOI: <https://doi.org/10.1109/IEMTRONICS51293.2020.9216391>
8. Bouazza H., Said B., Laallam F.Z. (2022), "A hybrid IoT services recommender system using social IoT", Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.02.003>, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157822000362>
9. Hills T. (2016), "NoSQL and SQL Data Modeling. Bringing Together Data, Semantics, and Software", Technics Publications, 260 p.
10. Meier A., Kaufmann M. (2019), "SQL & NoSQL Databases", Springer Vieweg, Wiesbaden, P. 201-218, URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.468.7089&rep=rep1&type=pdf>
11. Cure O., Blin G. (2014), "RDF Database Systems: Triples Storage and SPARQL Query Processing", Elsevier Science, 256 p.
12. Robinson I., Webber J., Eifrem E. (2016), "Graph Databases: New Opportunities for Connected Data", O'Reilly Media, 238 p.
13. "Neo4j Documentation" (2021), Official website of the graph database Neo4j, URL: <https://neo4j.com/docs/>
14. Yi N., Li C., Feng X., Shi M. (2017), "Design and implementation of movie recommender system based on graph database", 14th Web Information Systems and Applications Conference, IEEE, P. 132-135.
15. Angles R. (2012), "A comparison of current graph database models", IEEE 28th International Conference on Data Engineering Workshops, IEEE, P. 171-177.
16. Міхав В.В., Мелешко Є.В., Якименко М.С., Башенко Д.В. (2021), "Методи зберігання даних рекомендаційної системи на основі зв'язних списків", Системи управління, навігації та зв'язку, Т. 4(66), Полтава, С. 59-62. – DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.4.059>

Referencis

1. "Recommender Systems Handbook" (2010), Editors F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, P. B. Kantor, New York, NY, Springer-Verlag New York, Inc., USA. 842 p.
2. Anitha, J. & Kalaivasu, M. (2022), "Retraction Note to: Optimized machine learning based collaborative filtering (OMLCF) recommendation system in e-commerce", J Ambient Intell Human Comput, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-022-04093-4>
3. Priya A.S.B. (2022), "Bhuvaneswaran, R.S. Retraction Note to: Cloud service recommendation system based on clustering trust measures in multi-cloud environment", J Ambient Intell Human Comput, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-022-04056-9>
4. Paul, D. & Kundu, S. (2020). "A Survey of Music Recommendation Systems with a Proposed Music Recommendation System", In: Mandal, J., Bhattacharya, D. (eds) Emerging Technology in Modelling and Graphics, Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 937, Springer, Singapore, DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-7403-6_26
5. Valois B.Jr.C. & Oliveira M.A. (2011). "Recommender systems in social networks", JISTEM J.Inf.Syst. Technol. Manag., Vol. 8, No. 3, P. 681-716, Retrieved from https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-17752011000300009
6. Felfernig, A., Polat-Erdeniz, S., Uran, C. et al. (2019). "An overview of recommender systems in the internet of things", J Intell Inf Syst 52, P. 285-309, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10844-018-0530-7>
7. Nawara, D. & Kashef, R. (2020). "IoT-based Recommendation Systems – An Overview", 2020 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS), pp. 1-7, DOI: <https://doi.org/10.1109/IEMTRONICS51293.2020.9216391>
8. Bouazza, H., Said, B. & Laallam, F.Z. (2022). "A hybrid IoT services recommender system using social IoT", Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.02.003>, Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157822000362>
9. Hills T. (2016). "NoSQL and SQL Data Modeling. Bringing Together Data, Semantics, and Software", Technics Publications, 260 p.
10. Meier A., Kaufmann M. (2019). "SQL & NoSQL Databases", Springer Vieweg, Wiesbaden, P. 201-218, URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.468.7089&rep=rep1&type=pdf>
11. Cure, O. & Blin, G. (2014). "RDF Database Systems: Triples Storage and SPARQL Query Processing", Elsevier Science, 256 p.
12. Robinson I., Webber J., Eifrem E. (2016), "Graph Databases: New Opportunities for Connected Data", O'Reilly Media, 238 p.
13. "Neo4j Documentation" (2021), Official website of the graph database Neo4j, Retrieved from <https://neo4j.com/docs/>
14. Yi N., Li C., Feng X., Shi M. (2017). "Design and implementation of movie recommender system based on graph database", 14th Web Information Systems and Applications Conference, IEEE, P. 132-135.
15. Angles R. (2012), "A comparison of current graph database models", IEEE 28th International Conference on Data Engineering Workshops, IEEE, P. 171-177.
16. Mikhav, V.V., Meleshko, Ye.V., Yakymenko, M.S. & Bashchenko, D.V. (2021). "The methods of data storing of a recommendation system based on linked lists", Control, navigation and communication systems, Vol. 4(66), 59-62. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.4.059> [in Ukrainian]

Volodymyr Mikhav, post-graduate, **Yelyzaveta Meleshko**, Prof., DSc., **Mykola Yakymenko**, Assos. Prof., PhD phys.&math. sci., **Yaroslav Shulika**, post-graduate
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Development of a Database Management System of Recommendation Systems for Computer Networks and Computer-integrated Systems

The goal of this work is to develop a database management system of the recommendation system for computer networks and computer-integrated systems, as well as to compare the quality of its work with existing systems.

Today, recommendation systems are widely used in computer networks, in particular, in social networks, Internet commerce systems, media content distribution, advertising, etc., as well as in computer-integrated systems, in particular, in the Internet of Things and smart houses. An effective way to present the data required for the recommendation system can reduce the number of resources required and facilitate the development and use of more sophisticated algorithms for compiling lists of recommendations. When storing data from the recommendation system, one of the important parameters of the database is the speed of reading/writing

information, as well as the amount of memory required to store data in one format or another. Therefore, it is advisable to use simple data models. This paper investigated the feasibility and effectiveness of using open linear lists to store recommendation system data in computer networks and computer-integrated systems. To test the effectiveness of the proposed method of presenting data in the recommendation system, comparative experiments were conducted with such software as: relational database management system Postgresql, resident repository key-value pairs Redis and graph database Neo4j. Each method of presenting data was tested on the following indicators: time of filling the repository with test data; the amount of memory occupied by the repository after filling; recommendation generation time. The MovieLens data set was used as test data.

The developed database management system based on linear lists is significantly ahead of the existing tools in terms of both speed and efficiency of memory use.

databases, database management systems, recommendation systems, computer systems, computer-integrated systems, linear lists

Одержано (Received) 22.04.2022

Прорецензовано (Reviewed) 30.04.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРЯ

УДК 692.23:699.86

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.137-145](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.137-145)

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

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

Імовірнісний аналіз теплової надійності вузлів цегляних стін житлових будівель

Обчислені імовірні тривалості стану теплової відмови за критерієм утворення конденсату в характерних вузлах цегляних стін житлових будівель другої половини XX століття. Вузли цегляних стін товщиною 51 см мають недостатній рівень теплової надійності. Рівномірне фасадне утеплення зменшує тривалості теплових відмов трьох вузлів з шести розглянутих до 10 хв/рік і менше. У вузлах примикання бічної та верхньої грані вікна, а також примикання балконної плити тривалість теплових відмов залишається надто великою навіть при виконанні додаткового локального утеплення цих зон.

стіни житлових будівель, теплопровідні включення, конденсат, тривалість теплової відмови

Постановка проблеми. Більшість вузлів огорожувальних конструкцій будівель (кутові з'єднання стін, примикання покрівель і перекриттів, світлопрозорих конструкцій та інші) мають зони підвищеної теплопередачі. При сильному падінні температури атмосферного повітря температура внутрішніх поверхонь огорожень також може опускатися нижче температури точки роси та викликати конденсацію вологи з внутрішнього повітря. Таке явище є тепловою відмовою з досить серйозними наслідками у вигляді пошкоджень внутрішнього оздоблення конструкцій, накопичення вологи в поверхневому шарі огорожень та розвитку грибкових уражень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Норми проектування України [1] передбачають перевірку можливості утворення конденсату на внутрішніх поверхнях огорожувальних конструкцій. Для цього температура внутрішньої поверхні огороження в зоні підвищеної теплопередачі, визначена при дії встановленого нормами [1] розрахункового значення температури зовнішнього повітря, порівнюється з температурою точки роси. Точка роси визначається за нормативними значеннями температури й вологості внутрішнього повітря в приміщенні, які також встановлені в нормах [1]. Така методика розрахунку реалізована в роботах [2, 3, 4], де аналізувалися вузли примикання віконних блоків при різних положеннях вікон у товщі стіни, а також інші типові вузли стін житлових будівель.

Методика норм [1] є досить умовною, оскільки вона не враховує стохастичний характер температури зовнішнього та внутрішнього повітря, а також опір теплопередачі огорожувальної конструкції. Зовсім невелика відмінність температури внутрішньої поверхні стіни у двох практично однакових вузлах, отримана шляхом детермінованого розрахунку за [1], може призвести до прямо протилежних висновків щодо їх експлуатаційної придатності. Більш достовірні результати дає розроблена в [5] методика імовірнісного оцінювання рівня теплової надійності огорожувальних конструкцій, яка врахує випадкову мінливість температур зовнішнього та внутрішнього повітря, температури точки роси, розмірів конструкції та теплових характеристик матеріалів. Ця методика дозволяє оцінити імовірну тривалість дії теплової відмови за

критерієм утворення конденсату як на плоских ділянках огорожень, так і в зонах теплопровідних включень. Отримана тривалість дії теплової відмови дозволяє зробити більш зважені висновки щодо рівня теплової надійності огорожувальної конструкції.

Постановка завдання. Оцінити та порівняти імовірнісні показники теплової надійності характерних вузлів цегляних стін житлових будівель, зведених у другій половині 20-го століття, в проектному стані та після термомодернізації шляхом улаштування додаткового фасадного утеплення.

Конструкції та теплові характеристики вузлів. Для аналізу рівня теплової надійності обрані шість характерних вузлів цегляних стін житлових будівель, які масово зводилися у другій половині 20-го століття:

- вузол 1 – кутове сполучення зовнішніх стін;
- вузол 2 – сполучення зовнішньої та внутрішньої стін;
- вузол 3 – сполучення плити перекриття з зовнішньою стіною;
- вузол 4 – сполучення бічної грані вікна з цегляною стіною;
- вузол 5 – сполучення верхньої грані вікна з цегляною стіною;
- вузол 6 – сполучення залізобетонної балконної плити з стіною.

Схеми розглянутих вузлів у проектному стані наведені на рисунку 1. Згідно з конструкцією типових житлових будинків, розглянуті стіни товщиною 510 мм з повнотілої керамічної цегли із внутрішньою штукатуркою з вапняно-піщаного розчину товщиною 20 мм. Перекриття виконані із збірних залізобетонних плит з круглими пустотами, балконна плита і надвіконні перемички – збірні залізобетонні, віконні блоки – дерев'яні. Теплофізичні характеристики використаних матеріалів прийняті за стандартом [6] для нормального режиму експлуатації. Плоска частина стіни має опір теплопередачі $0,82 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, тобто в три рази менший від сучасних вимог норм [1].

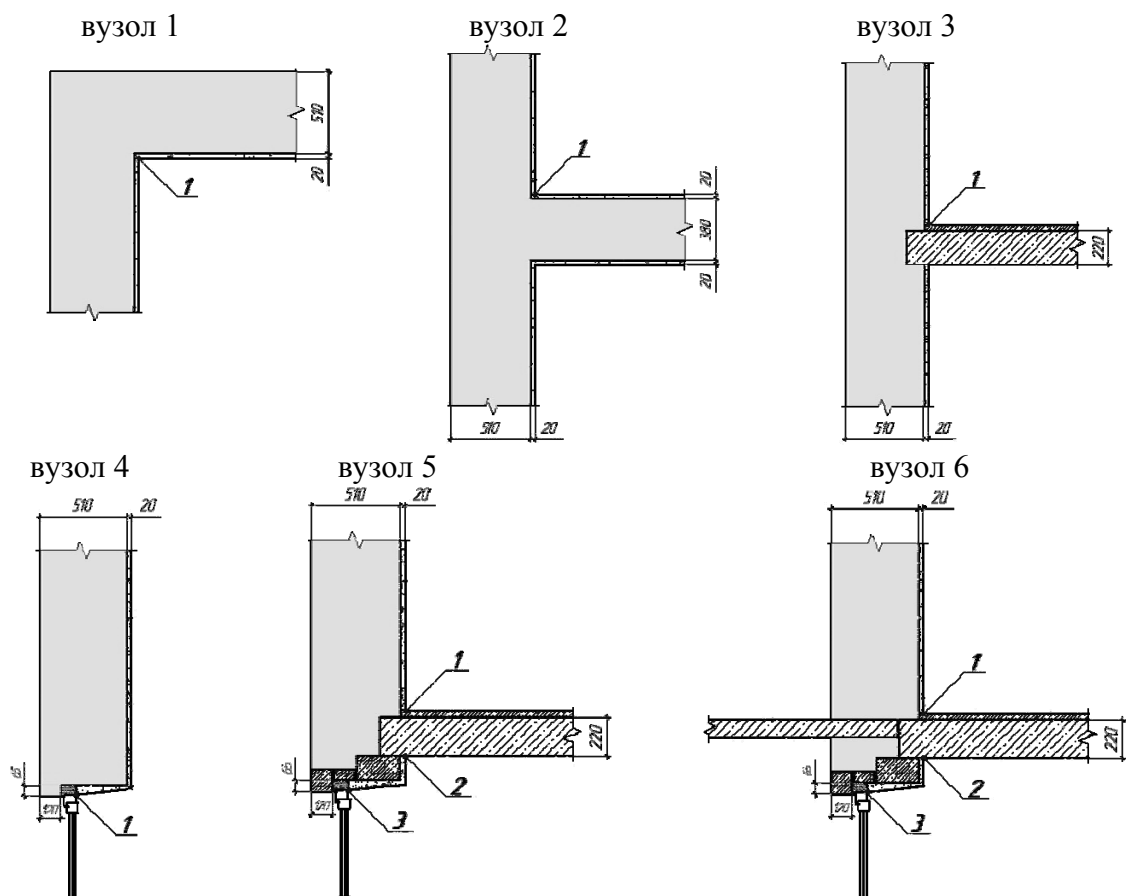


Рисунок 1 – Конструкції вузлів у проектному стані

Джерело: розроблено авторами

Окрім зображених на рисунку 1 вузлів у проектному стані, проаналізовані ті самі вузли стін з рівномірним по поверхні стіни фасадним утепленням, яке складається з 70 мм пінополістирольної або мінераловатної плити та 10 мм зовнішньої штукатурки. Такі вузли нижче позначені індексом "У". Утеплені стіни мають опір теплопередачі $2,70 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, що відповідає вимогам [1] до житлових і громадських будівель з урахуванням допустимого зниження при термомодернізації.

Вузли стін з додатковим локальним утепленням, позначені індексом "Д", зображені на рисунку 2. Вони відрізняються більшою товщиною теплоізоляції в зонах підвищеної теплопередачі, а також додатковим утепленням відкосів і балконних плит.

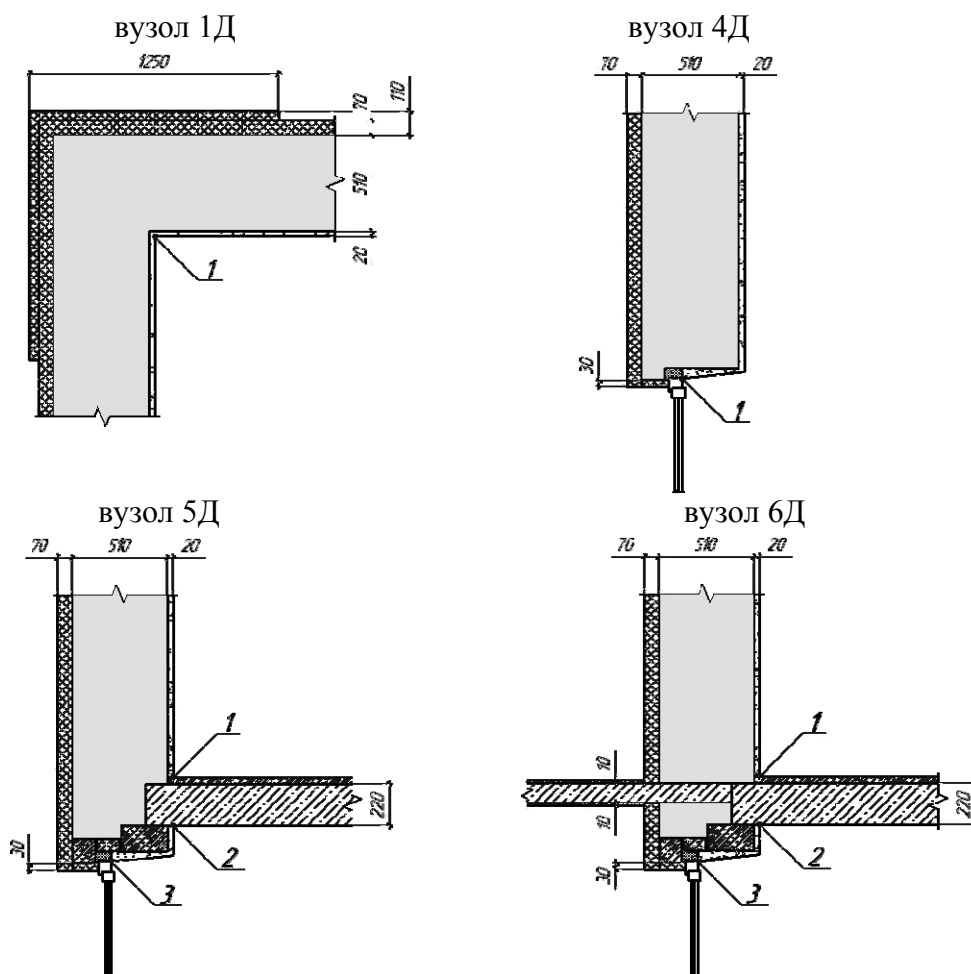


Рисунок 2 – Конструкції вузлів з додатковим локальним утепленням

Джерело: розроблено авторами

Для кожного з 16 описаних вузлів у середовищі програмного комплексу THERM [7] в роботі [3] побудовані двовірні температурні поля, за якими визначені температури в критичних зонах вузлів. Критичними вважаються зони з найнижчими температурами внутрішніх поверхонь вузлів, які позначені цифрами на рисунках 1 і 2. Моделювання процесів теплопередачі в [3] здійснювалося для встановлених за ДБН [1] температури внутрішнього повітря $+20^\circ\text{C}$ і температури зовнішнього повітря -26°C . Це розрахункове значення температури дорівнює температурі найхолоднішої доби із забезпеченістю 0,92 в м. Кропивницький за стандартом [8]. Отримані в результаті моделювання температури в критичних зонах усіх вузлів наведені в таблицях 1, 2 і 3.

Методика визначення показників теплової надійності. Теплова відмова за критерієм утворення конденсату реалізується при пониженні температури внутрішньої

поверхні огорожувальної конструкції нижче точки роси. У якості показників теплової надійності використовуються річна та відносна тривалість стану теплової відмови. Річна тривалість стану теплової відмови виражається в хвилинах на рік. Відносна тривалість дорівнює частці строку експлуатації, протягом якої огорожувальна конструкція перебуває в стані теплової відмови. Цей показник визначається діленням річної тривалості на тривалість року в хвилинах і наближено може вважатися імовірністю виникнення теплової відмови протягом одного року.

Імовірнісна методика визначення тривалості стану теплової відмови за критерієм утворення конденсату розроблена в статті [5]. Для оцінювання показників теплової надійності необхідні такі початкові дані:

- математичне сподівання M_{out} і стандарт S_{out} температури зовнішнього повітря для кожного місяця року;
- математичне сподівання M_{in} і стандарт S_{in} температури внутрішнього повітря, які для житлових приміщень за [5] можна прийняти рівними $M_{in} = +20^{\circ}\text{C}$, $S_{in} = 0,6^{\circ}\text{C}$;
- математичне сподівання M_d й стандарт S_d температури точки роси, які для житлових приміщень прийняті рівними за [5] $M_d = +10,6^{\circ}\text{C}$, $S_d = 1,7^{\circ}\text{C}$;
- математичне сподівання M_R і стандарт S_R опору теплопередачі огороження.

Статистичні характеристики опору теплопередачі плоскої ділянки стіни можна визначити за формулами з [5] з урахуванням випадкових величин коефіцієнтів теплопровідності та товщини шарів стіни. При оцінюванні тривалості теплових відмов у зонах теплопровідних включень враховується умовний опір теплопередачі, розрахункове значення якого для певної критичної зони вузла дорівнює

$$R_{ef} = \frac{\tau_{in} - \tau_{out}}{\alpha_{in}(\tau_{in} - \tau_w)}, \quad (1)$$

де τ_{in} і τ_{out} – розрахункові значення температури внутрішнього та зовнішнього повітря, з урахуванням яких моделювалося температурне поле вузла;

τ_w – отримана при моделюванні температура в критичній зоні вузла;

$\alpha_{in} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни.

Аналіз даних з числових прикладів у роботі [5] показав, що математичне сподівання й стандарт опору теплопередачі цегляних стін з фасадним утепленням можна наближено визначити за формулами:

$$M_R = 1,05 \cdot R_{ef}, \quad S_R = 0,06 \cdot M_R, \quad (2)$$

де R_{ef} – умовний опір теплопередачі для обраної критичної зони вузла.

Сумарна річна та відносна тривалість теплової відмови вузла за критерієм утворення конденсату обчислюється за формулами [5] з підстановкою до них статистичних характеристик (2) умовного опору теплопередачі для обраної критичної зони вузла, статистичних характеристик температури зовнішнього повітря, а також наведених вище інших початкових даних.

Аналіз рівня теплової надійності вузлів. Обчислення за формулами [5] виконані з урахуванням розрахункових значень умовного опору теплопередачі (1) та його статистичних характеристик (2). Статистичні характеристики температури атмосферного повітря у м. Кропивницький прийняті за даними [8, 9]. При оцінюванні тривалості теплових відмов враховані місяці з жовтня по квітень, що відповідає тривалості опалювального періоду. Результати обчислень наведені в таблицях 1, 2 і 3. Таблиці містять такі дані: номер вузла за рисунками 1 чи 2, розрахункове значення температури критичної зони вузла τ_w , умовний опір теплопередачі R_{ef} , річна тривалість теплової відмови Q_{year} у хвилинах та відносна тривалість теплової відмови Q_{rel} . Для

конструктивно складних вузлів № 5 і № 6 розглянуто по три критичні зони, позначені на рисунках 1 і 2.

Таблиця 1 – Показники теплової надійності вузлів у проектному стані

Номер вузла	Критична зона	τ_w	R_{ef}	Тривалість стану відмови	
				річна Q_{year}	відносна Q_{rel}
1	1	7,5	0,423	13167,2	2,51E-02
2	1	12,5	0,705	349,7	6,65E-04
3	1	13,5	0,813	120,2	2,29E-04
4	1	6,5	0,392	20468,7	3,89E-02
5	1	13,8	0,853	85,3	1,62E-04
	2	12,4	0,696	386,6	7,36E-04
	3	3,4	0,319	54133,9	1,03E-01
6	1	12,5	0,705	349,7	6,65E-04
	2	11,8	0,645	687,7	1,31E-03
	3	3,2	0,315	56719,9	1,08E-01

Джерело: розроблено авторами

З таблиці 1 видно, що імовірна тривалість теплової відмови різних вузлів змінюється від 1,4 години на рік до 39,4 доби на рік. Такий діапазон відображає як вкрай нерівномірний рівень теплової надійності різних вузлів, так і явну можливість утворення конденсату на внутрішніх поверхнях стін. Не дивлячись на відсутність встановлених нормами проектування вимог щодо допустимої тривалості теплових відмов огорожувальних конструкцій, отриманий рівень теплової надійності вузлів стін цегляних будівель, зведених за нормами минулого століття, слід вважати явно недостатнім для забезпечення їх експлуатаційної придатності.

Рівномірне утеплення фасаду, як видно з таблиці 2, зменшує імовірну тривалість теплових відмов для більшості критичних зон до 0,3...25,4 хв/рік. Отримана в результаті розрахунку сумарна річна тривалість теплової відмови у 25 хвилин найімовірніше реалізується не одноразово, а буде розділена на декілька випадків пониження температури атмосферного повітря на протязі опалювального періоду. Пониження температури внутрішньої поверхні стіни протягом декількох хвилин навряд чи призведе до реального утворення конденсату, а тому рівень теплової надійності у більшості критичних зон розглянутих вузлів можна вважати цілком прийнятним. Виняток складають чотири зони вузлів 4У, 5У та 6У, для яких тривалість теплових може сягати 9 діб/рік, тобто залишається надто великою.

З метою підвищення рівня теплової надійності проаналізовано вплив додаткового локального утеплення вузлів 1Д, 4Д, 5Д і 6Д згідно зі схемами, наведеними на рисунку 2. У вузлі 1Д (кутове сполучення зовнішніх стін) на ширині 1250 мм від зовнішнього кута стіни товщина утеплювача локально збільшена з 70 мм до 110 мм. Варіантні розрахунки показали, що оптимальна ширина додаткового утеплення кута становить 2...2,5 товщини стіни. У вузлах 4Д і 5Д (сполучення верхньої та бічної грані вікна з цегляною стіною) додатково утеплено зовнішні відкоси вікна пінополістиролом товщиною 30 мм. Ця товщина обмежується шириною виступаючої частини віконної коробки. У вузлі 6Д (сполучення залізобетонної балконної плити зі стіною) додатково до рівномірного утеплення усієї стіни товщиною 70 мм передбачене утеплення зовнішнього відкосу вікна товщиною 30 мм. а також утеплення верхньої та нижньої площини балконної плити товщиною 10 мм. Таке рішення зменшує тепловіддачу через велику поверхню залізобетонної балконної плити, яка має високу теплопровідність. При улаштуванні підлоги з керамічних плиток екструдований

пінополістирол, використаний для утеплення верхньої площини балконної плити, має достатню міцність для сприйняття навантажень від людей і меблів на балконі.

Таблиця 2 – Показники теплової надійності вузлів з рівномірним фасадним утепленням

Номер вузла	Критична зона	τ_w	R_{ef}	Тривалість стану відмови	
				річна Q_{year}	відносна Q_{rel}
1У	1	14,8	1,017	25,4	4,82E-05
2У	1	17,7	2,299	0,5	9,80E-07
3У	1	18,1	2,783	0,3	5,71E-07
4У	1	11,0	0,587	1386,0	2,64E-03
5У	1	17,1	1,823	1,2	2,23E-06
	2	15,6	1,202	9,0	1,71E-05
	3	8,5	0,460	7816,3	1,49E-02
6У	1	15,3	1,125	13,3	2,54E-05
	2	14,3	0,928	47,1	8,96E-05
	3	7,5	0,423	13167,2	2,51E-02

Джерело: розроблено авторами

Дані таблиці 3 вказують на зменшення імовірної тривалості дії теплових відмов для переважної більшості критичних зон до зовсім незначних величин в межах 0,3...5,3 хв/рік. Проблемними залишаються вузли 4Д примикання бічної та 5Д верхньої грані вікна, а також вузол 6Д сполучення залізобетонної балконної плити з цегляною стіною. Імовірні тривалості теплових відмов для критичних зон цих вузлів становлять 2...8 години/рік, що може призвести до випадків утворення конденсату на внутрішніх поверхнях стін. Збільшити товщину утеплення зовнішнього віконного відкосу понад 30 мм, як вказано на рисунку 2, неможливо унаслідок обмеженої ширини віконної коробки. Підвищити рівень теплової надійності вузлів 4Д, 5Д і 6Д можна за рахунок заміни віконних блоків на сучасні металопластикові конструкції або шляхом утеплення внутрішнього віконного відкосу. Виконані розрахунки показали, що заміна наявної штукатурки внутрішнього віконного відкосу на екструдований пінополістирол може істотно поліпшити теплові характеристики вузлів примикання віконних блоків до стін. Це можна виконати у формі спеціального виробу з трапецієвидною формою перерізу, ширина якого дорівнює ширині віконного відкосу.

Таблиця 3 – Показники теплової надійності вузлів з додатковим локальним утепленням

Номер вузла	Критична зона	τ_w	R_{ef}	Тривалість стану відмови	
				річна Q_{year}	відносна Q_{rel}
1Д	1	16,0	1,322	5,3	1,00E-05
4Д	1	13,6	0,826	107,3	2,04E-04
5Д	1	18,0	2,644	0,3	6,53E-07
	2	17,3	1,958	0,9	1,69E-06
	3	13,5	0,813	120,2	2,29E-04
6Д	1	16,5	1,511	2,7	5,08E-06
	2	16,2	1,391	4,0	7,65E-06
	3	12,2	0,678	470,7	8,96E-04

Джерело: розроблено авторами

Наочне відображення впливу фасадного утеплення на рівень теплової надійності вузлів стін наведено на рисунку 3, побудованому за даними таблиць 1, 2 і 3. Діаграма

вказує на систематичне зменшення тривалості теплових відмов у результаті виконання фасадного утеплення. Рівномірне фасадне утеплення вузлів 2, 3, а також зон № 1 і № 2 у вузлі 5 доводить тривалість теплових відмов до цілком прийнятних значень, які не перевищують 10 хв/рік. Разом з тим, у деяких зонах вузлів 4, 5 і 6 навіть додаткове утеплення за схемами з рисунка 2 не забезпечує достатнього рівня теплової надійності. Для забезпечення достатнього рівня теплової надійності цих вузлів необхідно утеплювати внутрішні віконні відкоси або замінювати вікна на сучасні металопластикові віконні блоки, як це вказано вище.

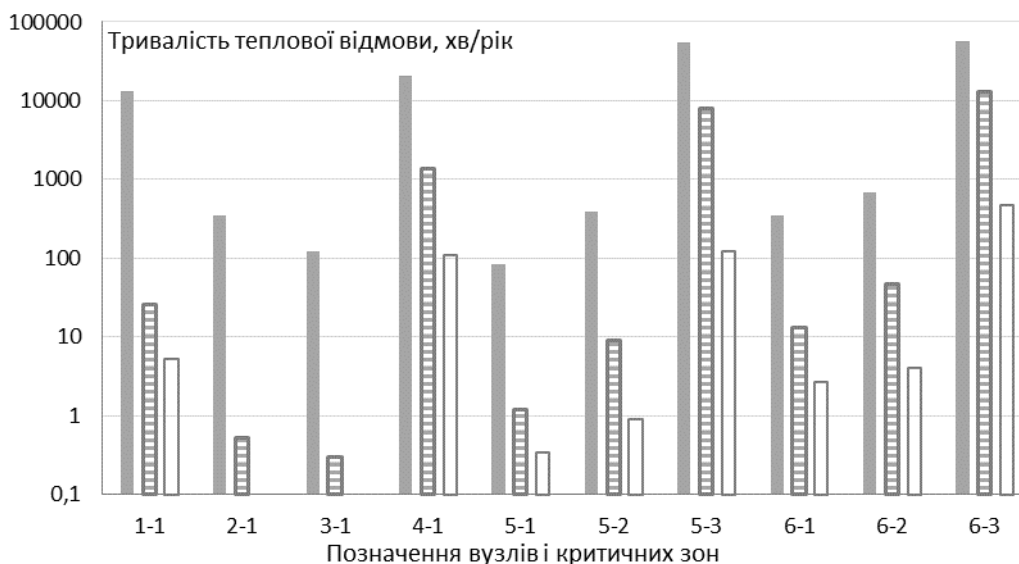


Рисунок 3 – Імовірні тривалості стану теплової відмови в критичних зонах вузлів

Джерело: розроблено авторами

Наведені в останніх стовпцях таблиць 1, 2 і 3 відносні тривалості теплових відмов наближено можна вважати імовірностями виникнення відмови протягом одного року (опалювального сезону). Залежно від класу відповідальності будівлі, норми [10] рекомендують для граничних станів другої групи (за експлуатаційною придатністю) значення імовірності відмови в межах $5 \times 10^{-4} \dots 5 \times 10^{-5}$. З таблиці 1 видно, що майже всі вузли в проектному стані мають значно більші імовірності відмови. При рівномірному фасадному утепленні (табл. 2) лише три зони проаналізованих вузлів не вписуються у вказаний діапазон рекомендованих імовірностей відмови. Додаткове утеплення виявлених критичних зон (табл. 3) приводить усі вузли, окрім 6Д, до рівня рекомендацій норм [10].

Висновки:

1. Раніше розроблена авторами імовірнісна методика оцінювання тривалості теплових відмов огорожувальних конструкцій за критерієм утворення конденсату в зонах підвищеної теплопровідності дозволила адекватно порівняти рівні теплової надійності вузлів цегляних стін житлових будівель у проектному стані та після виконання фасадного утеплення.

2. Вузли цегляних стін товщиною 51 см з опором теплопередачі близько $0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ мають недостатній рівень теплової надійності. Великі тривалості стану теплової відмови можуть призвести до утворення конденсату на внутрішній поверхні стін у зонах підвищеної теплопровідності.

3. Рівномірне фасадне утеплення до опору теплопередачі $2,7 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ дозволяє зменшити тривалості теплових відмов трьох вузлів з шести розглянутих до цілком

прийнятних значень, які не перевищують 10 хвилин протягом року. В окремих зонах трьох інших вузлів (примикання бічної та верхньої грані вікна, примикання залізобетонної балконної плити) тривалість теплових відмов залишається недопустимо великою навіть при виконанні додаткового локального утеплення цих зон.

4. Перспективним рішенням, яке може істотно підвищити рівень теплової надійності стін у зонах примикання віконних та дверних блоків є утеплення внутрішніх відкосів спеціальними виробами з екструдованого пінополістиролу.

5. Результати виконаного аналізу вказують на необхідність обґрунтування та встановлення чітких нормативних вимог до показників теплової надійності за різними критеріями та видами теплових відмов.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-31:2016: Теплова ізоляція будівель . [Чинний від 01-04-2017]. К.: Міністерство будівництва України, 2016. 31 с.
2. Пашинський В.А., Джирма С.О., Пашинський М.В. Теплові характеристики вузлів примикання вікон до цегляних та залізобетонних стін цивільних будівель на території Кіровоградської області . *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. 3(34). 2020. С. 200-209. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).200-209](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).200-209)
3. Пашинський В.А., Настоящий В.А., Плотников О.А. Підвищення енергоефективності існуючих житлових будівель шляхом додаткового фасадного утеплення . *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць*. 2014. Вип. 29. С. 461-467.
4. A Stolarska, J Strzałkowski, Halina Garbalińska. Using CFD software for the evaluation of hygrothermal conditions at wall-window perimeters . *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 415. DOI:10.1088/1757-899X/415/1/012046
5. Kariuk A., Pashynskiy V., Pashynskiy M., Mammadova F. (2022) Methods of Probabilistic Assessment of Building Enclosing Structures Thermal Reliability. In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) *Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 181. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_18
6. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2014-01-01]. К.: Мінрегіон України, 2014. 51 с.
7. THERM 2.0 Program Description. Berkeley CA 94720 USA, 1998. URL: <https://windows.lbl.gov/sites/default/files/Downloads/therm2.pdf> (дата звернення: 03.05.2022)
8. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Київ, Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. 123 с.
9. Пашинський В.А., Пушкар Н.В., Карюк А.М. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель. Одеса : ОДАБА, 2012. 180 с.
10. ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. К.: Мінрегіонбуд України, 2018. 30 с.

References

1. Teplova izolyatsiya budivel' [Thermal insulation of buildings]. (2016). *DBN V.2.6-31:2016*. Effective from 01-04-2017. Kyiv: Ministry of Construction of Ukraine [in Ukrainian].
2. Pashynskiy, V.A., Dzhyrma, S.O. & Pashynskiy, M.V. (2020). Teplovi kharakterystyky vuzliv prymykannya vikon do tsehlyanykh ta zalizobetonnykh stin tsyvil'nykh budivel' na terytoriyi Kirovohrads'koyi oblasti [Thermal characteristics of window junctions to brick and reinforced concrete walls of civil buildings in the Kirovohrad region]. *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical sciences. Issue. 3 (34)*, 200-209. DOI: 10.32515/2664-262X.2020.3(34).200-209 [in Ukrainian].
3. Pashynskiy, V.A., Nastoyashchyi, V.A. & Plotnikov, O.A. (2014). Pidvyshchennya enerhoefektyvnosti isnuuyuchykh zhytlovykh budivel' shlyakhom dodatkovoho fasadnoho uteplennya [Improving the energy efficiency of existing residential buildings through additional facade insulation]. *Pidvyshchennya enerhoefektyvnosti isnuuyuchykh zhytlovykh budivel' shliakhom dodatkovoho fasadnoho uteplennya –*

- Resource-saving materials, structures, buildings and structures: Collection of scientific papers, Issue 29*, 461-467. [in Ukrainian].
4. Stolarska, A., Strzałkowski, J. & Garbalińska Halina. (2018). Using CFD software for the evaluation of hygrothermal conditions at wall-window perimeters. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 415* [in English].
 5. Kariuk, A., Pashynskyi, V., Pashynskyi, M. & Mammadov, a F. (2022) Methods of Probabilistic Assessment of Building Enclosing Structures Thermal Reliability. *Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 181. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_18
 6. Methods of choosing of insulation material for insulation [Methods of choosing heat-insulating material for building insulation]. (2013). *DSTU B V.2.6-189:2013*. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine [in Ukrainian].
 7. THERM 2.0 Program Description. Berkeley CA 94720 USA, (1998). *windows.lbl.gov*. Retrieved from <https://windows.lbl.gov/sites/default/files/Downloads/therm2.pdf>
 8. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezh. Budivelna klimatolohiia [Protection from dangerous geological processes, harmful operational influences, fire. Construction Climatology.]. (2010). *DSTU-N B V.1.1-27:2010*. Kyiv: Minrehiion Ukrainy [in Ukrainian].
 9. Pashynskyi, V.A., Pushkar, N.V. & Karyuk, A.M. (2012). *Temperaturni vplyvy na ohorodzhuvalni konstruktsiyi budivel [Temperature effects on the enclosing structures of buildings]*. Odesa: ODABA [in Ukrainian].
 10. Systema zabezpechennya nadiynosti ta bezpeky budivel'nykh ob'yektiv. Zahal'ni pryntsypy zabezpechennya nadiynosti ta konstruktyvnoyi bezpeky budivel' i sporud [System for ensuring the reliability and safety of construction objects. General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures]. (2018). *DBN V.1.2-14-2018*. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine [in Ukrainian].

Victor Pashynskyi, Prof., DSc., **Mykola Pashynskyi**, PhD tech. sci., **Stanislav Dzhyrma**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Probabilistic Analysis of Thermal Reliability of Brick Wall Units of Residential Buildings

When the temperature of the inner surface of the enclosing structures falls below the dew point, moisture from the indoor air may condense on it. Thermal characteristics of building materials, outdoor and indoor air temperatures and dew points are random variables or processes. This necessitates a probabilistic assessment of the possibility of thermal failures by the criterion of condensate formation in areas of increased heat transfer of enclosing structures. This work is performed in order to analyze the probabilistic thermal reliability of the characteristic units of brick walls of residential buildings erected in the second half of the 20th century, in the design condition and after thermal modernization by installing additional facade insulation.

To analyze the level of thermal reliability, six characteristic units of brick walls were selected. The nodes were analyzed in the initial state, taking into account the uniform facade insulation, as well as with additional local insulation of areas of increased heat transfer. The calculations were performed according to the previously developed author's method, which is based on estimating the probability of falling of the random temperature of the inner surface of the wall below the random temperature of the dew point. The initial data take into account the statistical characteristics of the following random variables: conditional heat transfer resistance of the wall in the zone of heat conduction, dew point temperature, indoor air temperature, outside air temperature for each month of the heating period. The result of the calculation is the probable annual duration of the state of thermal failure according to the criterion of condensate formation on the inner surface of the walls in the critical areas of the nodes.

It is established that the units of brick walls with a thickness of 51 cm in the design condition have an insufficient level of thermal reliability. Uniform facade insulation allows to reduce the duration of thermal failures of three nodes from the six considered to values not exceeding 10 minutes during the year. In some areas of the other three nodes (adjacency of the side and top faces of the window, adjacency of reinforced concrete balcony slab) the duration of thermal failures remains unacceptably long even when performing additional local insulation of these areas.

walls of residential buildings, heat-conducting inclusions, condensate, thermal failure duration

Одержано (Received) 10.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 19.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

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

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

Несуча здатність сонячних панелей, встановлених на похилих дахах будівель на території України

Виконані розрахунки несучої здатності сонячних панелей, розташованих на дахах малоповерхових будинків у різних регіонах України. З урахуванням кліматичних навантажень для кожної з адміністративних областей встановлені допустимі значення прольоту панелей при різних кутах нахилу до горизонту. В усіх випадках вирішальним виявився розрахунок за вимогами другого граничного стану. Результати дослідження дозволяють враховувати несучу здатність при виборі сонячних панелей для різних областей України.

енергоефективність будівель, сонячні панелі, кліматичні навантаження, несуча здатність

Постановка проблеми. Наростаючий дефіцит енергетичних ресурсів спонукає до більш активного впровадження енергоефективних технологій у будівництві. Досить перспективним рішенням є встановлення сонячних панелей на дахах малоповерхових будинків для повного або часткового забезпечення їх електроенергією. У цьому випадку орієнтація сонячних панелей за сторонами світу та кути їх нахилу до горизонту повністю визначаються конструкцією покрівлі. Для широкого впровадження сонячних панелей необхідно проаналізувати їх несучу здатність при дії кліматичних навантажень в різних географічних районах України при різних кутах нахилу панелей до горизонту та розробити рекомендації щодо гранично допустимих розмірів таких панелей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сонячні панелі для міні-електростанцій складаються з двох шарів загартованого скла, між якими розміщуються фотоелектричні комірки [1, 2, 3]. Номенклатура наявних на українському ринку сонячних панелей широко представлена на сайтах постачальників у мережі Internet. Вибірковий аналіз таких сайтів [2, 3] показав, що ширина більшості сонячних панелей, які можна використати для енергопостачання малоповерхових будинків, становить 65...130 см, а довжина 99...239 см. Обшивки виконуються із загартованого скла товщиною 3 мм або 4 мм, а сумарна товщина панелі становить 30...40 мм.

Сонячні панелі встановлюються на металевий каркас паралельно скату покрівлі та з конструктивної точки зору представляють собою плити, які шарнірно оберті по контуру та працюють на згин. На панель діють навантаження від власної ваги, які можна визначити за даними виробників, наведеними в [2, 3] та на інших інтернет-сторінках, а також кліматичні навантаження від снігу, вітрового тиску та ожеледі.

Кліматичні навантаження на будівлі та споруди на території України встановлені в ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи" [4]. Характеристичні значення навантажень визначаються за картами територіального районування. Незручність територіального районування [4] полягає в тому, що межі територіальних районів за характеристичними значеннями кліматичних навантажень не співпадають між собою. Тому в різних географічних точках території реалізуються різні комбінації снігового, вітрового та ожеледного навантаження. Це викликає необхідність

виконувати статичні розрахунки сонячних панелей для кожного населеного пункту окремо і не дозволяє узагальнити отримані результати.

Більш зручний підхід до нормування кліматичних навантажень реалізований в роботі [5], де виконане адміністративно-територіальне районування характеристичних значень ваги снігового покриву, максимального тиску вітру, ваги і товщини стінки ожеледі, а також вітрового тиску під час ожеледі. За даними наявних метеостанцій для кожної адміністративної області України в [5] встановлені обласні характеристичні значення вказаних навантажень, які з імовірністю 0,95 гарантують запас надійності для усієї території області. Такий підхід до територіального районування кліматичних навантажень дозволить встановити гранично допустимі прольоти сонячних панелей для кожної з областей України та використовувати ці значення в межах усієї території області. Для конкретної географічної точки кліматичні навантаження можна уточнити за методикою, викладеною в [6].

Інженерна методика розрахунків сонячних панелей розроблена та апробована в [7]. Вона базується на загальних правилах опору матеріалів та розрахунку пластин [8]. У статті [7] наведені формули для визначення граничних та експлуатаційних розрахункових значень навантажень від дії власної ваги панелі, ваги снігу та ожеледі, а також вітрового тиску. Для розрахунку панелі на згин визначаються складові навантажень, що діють перпендикулярно до поверхні панелі. Виходячи з відомих формул та коефіцієнтів для визначення згинальних моментів і прогинів прямокутних пластин, шарнірно обпертих по контуру [8], у статті [7] отримані вирази для визначення гранично допустимих значень прольоту (меншого розміру) сонячної панелі за критеріями міцності та жорсткості. Результатом досліджень стали таблиці та графіки залежності допустимих прольотів сонячних панелей від відношення їх сторін та кута нахилу до горизонту в кліматичних умовах м. Кропивницький. Встановлено, що допустимий проліт (менший розмір) сонячної панелі зростає при збільшенні кута нахилу до горизонту та при наближенні відношення розмірів сторін панелі до одиниці. Для панелей з обшивками із загартованого скла товщиною 3 мм проліт становить 0,68...1,36 м. В усіх проаналізованих випадках вирішальною є умова жорсткості.

Розроблена методика дозволяє визначити гранично допустимий проліт сонячної панелі відомої конструкції при заданому відношенні довжини до прольоту та при відомих значеннях кліматичних навантажень. В роботі [7] це зроблено лише для умов м. Кропивницький, але конкретні рекомендації щодо допустимого прольоту сонячних панелей в інших регіонах України не розроблені. Подібні рекомендації відсутні також і в інших літературних джерелах та на інтернет-сайтах постачальників сонячних панелей та організацій, що монтують сонячні міні-електростанції.

Постановка завдання. Метою даної роботи є встановлення гранично допустимих прольотів сонячних панелей з урахуванням кліматичних навантажень у різних регіонах України та заданого кута нахилу панелі до горизонту.

Виклад основного матеріалу.

Передумови та початкові дані. Як і при апробації методики розрахунку в [6], розглядаються сонячні панелі, встановлені під кутами нахилу до горизонту в досить широких межах $15^\circ \dots 75^\circ$. Значення розрахункового опору $R = 35$ МПа та модуля пружності загартованого скла $E = 70$ ГПа прийняті за даними [9]. Згідно з рекомендацією [7], аналізуються описані в [2, 3] панелі з відношенням довжини до прольоту 2,0. Це обумовить деяке заниження гранично допустимого прольоту для панелей, ближчих до квадратної форми, і тим самим створить запас надійності при використанні наданих рекомендацій.

При оцінюванні допустимого прольоту враховуються навантаження від власної ваги панелі, снігу, ожеледі та вітрового тиску. В роботі [7] за даними [2, 3] з

урахуванням незначного розкиду для різних панелей встановлене експлуатаційне розрахункове значення навантаження від власної ваги сонячних панелей $p_e = 120$ Па та граничне $p_m = 132$ Па.

Кліматичні навантаження визначені для умов кожної з областей України за даними роботи [5]. Наведені в [5] характеристичні значення кліматичних навантажень на території України змінюються в таких межах:

вага снігового покриву	$S_0 = 1110 \dots 2320$ Па;
максимальний тиск вітру	$W_0 = 360 \dots 670$ Па;
тиск вітру при ожеледі	$W_B = 150 \dots 510$ Па;
товщина стінки ожеледі	$b = 11 \dots 35$ мм.

Ці значення є дещо вищими від даних карт районування ДБН [4], що забезпечує необхідні запаси надійності при використанні розроблених рекомендацій у межах усієї території тієї чи іншої адміністративної області. Експлуатаційні та граничні розрахункові значення складової рівномірно розподіленого навантаження, що діє перпендикулярно до площини панелі, обчислені згідно з вимогами ДБН [4] за робочими формулами, отриманими в [6]. Розглядаються два сполучення навантажень:

- 1 – власна вага панелі, сніг і максимальний тиск вітру;
- 2 – власна вага панелі, ожеледь з відповідним вітровим тиском.

При визначенні навантажень врахована характерна для малоповерхових будинків висота розміщення сонячної панелі 10 м від поверхні землі, строк експлуатації 100 років та усі встановлені ДБН [4] коефіцієнти, що відображають особливості взаємодії навантажень з конструкцією. При аналізі міцності та жорсткості панелі враховані граничні q_m та експлуатаційні q_e розрахункові значення нормальної до поверхні панелі складової сумарного навантаження, більші з двох вказаних вище сполучень навантажень. Як правило, при малих кутах нахилу до горизонту вирішальним є перше сполучення навантажень (вага панелі, сніг та максимальний тиск вітру), а при великих кутах нахилу більші зусилля викликає друге сполучення навантажень (вага панелі, ожеледь і тиск вітру при ожеледі).

Несуча здатність сонячних панелей. Сонячна панель складається з двох шарів загартованого скла, між якими розміщені фотоелементи. Розроблена в [7] методика розрахунку в запас надійності не враховує зв'язок між скляними обшивками. Сонячна панель представлена у вигляді двох плит, які працюють на згин незалежно одна від одної. Кожна з обшивок сприймає половину діючого навантаження. В статті [7] наведені формули для визначення гранично допустимих значень прольоту панелі за критеріями міцності L_m та жорсткості L_f .

$$L_m = h \cdot \sqrt{\frac{R}{3 \cdot k_m q_m}}, \quad L_f = h \cdot \sqrt[3]{\frac{2 \cdot E}{k_f q_e [L/f]}}. \quad (1)$$

де h – товщина скла обшивок, мм;

E, R – модуль пружності та розрахунковий опір скла при згині, Па;

q_m, q_e – граничне та експлуатаційне розрахункові значення рівномірно розподіленого навантаження, прикладені нормально до площини панелі, Па;

k_m і k_f – коефіцієнти з таблиць [6], що залежать від відношення B/L ;

B, L – більший та менший розміри панелі, м;

$[L/f] = 125$ – допустиме відношення прольоту панелі до прогину за ДСТУ Б В.1.2-3.

Обрахунки за формулами (1) виконані для усіх адміністративних областей України. Граничне та експлуатаційне розрахункові значення навантажень q_m та q_e обчислені за формулами з роботи [7] і прийняті більшими з двох вказаних вище

сполучень навантажень. В усіх випадках вирішальними виявилися умови жорсткості. Розрахунок за міцністю дає допустимі значення прольоту на 2...79% більші, ніж з умови прогину, причому запас міцності зростає при збільшенні кута нахилу панелі. Максимально допустимі значення прольоту сонячних панелей описаної вище конструкції для умов усіх областей України наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Допустимі прольоти сонячних панелей на території України

№	Області України	Допустимий проліт панелі при кутах нахилу до горизонту													
		15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	
1	АР Крим	750	760	774	821	876	920	901	885	871	858	872	887	904	
2	Вінницька	640	650	664	710	768	839	924	921	915	909	928	950	975	
3	Волинська	694	704	718	766	824	894	972	976	971	968	990	1015	1044	
4	Дніпропетровська	651	660	674	721	778	849	907	896	887	879	896	915	937	
5	Донецька	634	643	656	702	758	828	833	820	809	800	814	829	847	
6	Житомирська	640	650	664	710	768	840	924	930	924	919	939	962	987	
7	Закарпатська	623	633	646	693	752	826	916	1028	1024	1021	1045	1072	1103	
8	Запорізька	717	726	740	787	843	854	837	822	809	797	810	824	840	
9	Івано-Франківська	714	725	739	788	847	918	936	941	948	956	986	1020	1062	
10	Київська	653	664	678	726	785	859	947	940	934	930	950	973	1000	
11	Кіровоградська	704	714	728	776	834	902	894	887	882	878	897	919	945	
12	Луганська	689	698	712	759	808	803	786	770	757	745	757	770	784	
13	Львівська	667	677	690	736	792	860	936	937	928	921	939	960	983	
14	Миколаївська	704	714	727	774	831	895	883	873	864	857	874	893	914	
15	Одеська	710	720	734	782	841	902	894	887	882	878	897	919	945	
16	Полтавська	626	636	650	697	755	828	916	921	913	906	924	945	968	
17	Рівненська	670	680	693	740	798	867	946	950	943	937	957	979	1005	
18	Сумська	613	623	636	683	741	814	904	937	930	924	943	965	990	
19	Тернопільська	637	647	660	706	763	834	916	910	901	894	912	933	956	
20	Харківська	624	634	647	693	750	820	904	913	906	900	919	940	964	
21	Херсонська	743	753	766	813	868	907	891	878	866	855	870	887	906	
22	Хмельницька	681	691	705	752	810	881	935	928	922	917	937	960	986	
23	Черкаська	639	649	663	710	768	840	925	937	934	931	953	978	1006	
24	Чернівецька	714	724	739	787	846	917	938	927	918	910	928	948	971	
25	Чернігівська	626	635	649	694	751	822	905	948	938	929	947	966	989	
	Найменший	613	623	636	683	741	803	786	770	757	745	757	770	784	
	Найбільший	750	760	774	821	876	920	972	1028	1024	1021	1045	1072	1103	

Аналіз та узагальнення результатів. За даними таблиці 1 на рисунку 1 побудовані графіки залежності допустимого прольоту від кута нахилу панелі для п'яти областей, які представляють різні географічні райони України: 1 – АР Крим, 7 – Закарпатська, 11 – Кіровоградська, 12 – Луганська, 18 – Сумська. Позначені на графіках номери областей відповідають таблиці 1. Дані рисунка 1 практично повністю охоплюють можливі межі зміни допустимих прольотів (ширини, меншого розміру) сонячних панелей в умовах України.

Усі криві, наведені на рисунку, мають подібну форму, обумовлену зміною розрахункової комбінації навантажень. До кутів нахилу 35...50° вирішальним є перше сполучення навантажень (власна вага, сніг і вітер). При зростанні кута нахилу допустимий проліт збільшується унаслідок зменшення впливу снігу. При більших кутах нахилу небезпечнішим стає друге сполучення навантажень (власна вага, ожеледь і вітер). З ростом кута нахилу допустимий проліт спочатку зменшується внаслідок

зростання вітрового тиску, а потім починає збільшуватися в результаті зменшення нормальної складової навантаження від ожеледі на більш круто поставлену панель. Точка переходу від першого сполучення навантажень до другого залежить від співвідношення ваги снігового покриву, ваги ожеледі та величини вітрового тиску і тому отримана різною для різних областей України.

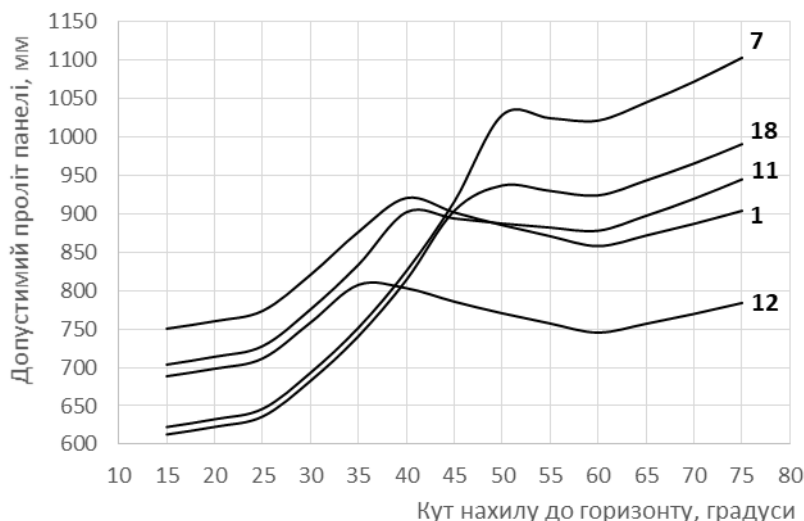


Рисунок 1 – Залежності допустимого прольоту панелей від кута нахилу до горизонту

Джерело: розроблено авторами

Розподіл найбільших і найменших допустимих прольотів сонячних панелей за регіонами відображено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Локалізація найбільших і найменших значень допустимих прольотів сонячних панелей

Допустимий проліт панелі	Території з найменшими та найбільшими допустимими прольотами сонячних панелей при кутах нахилу в градусах												
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Найбільший	№1 – АР Крим						№ 3	№7 – Закарпатська область					
Найменший	№18 – Сумська область					№12 – Луганська область							

Джерело: розроблено авторами

З таблиці 2 видно, що сонячні панелі з найбільшими прольотами можна встановлювати в південних регіонах, а найменшими є допустимі прольоти в багатосніжних областях. Аналіз таблиць 1 та 2 показав, що графіки з рисунка 1 практично повністю охоплюють увесь можливий діапазон допустимих прольотів сонячних панелей на території України. Загалом допустимі прольоти сонячних панелей, тобто їх ширина, в межах території України змінюються від 0,61 м до 1,10 м.

В даній роботі проаналізовані прямокутні панелі з відношенням довжини до прольоту (ширини) $B/L = 2,0$. Урахування такого співвідношення розмірів панелей створює запас несучої здатності по відношенню до панелей, форми яких ближчі до квадрату. При виборі сонячних панелей для території певної області при відомому куті нахилу до горизонту можна в запас надійності скористатися даними таблиці 1. Для більш точного встановлення допустимого прольоту необхідно виконати аналогічні розрахунки за методикою [7]. При цьому, за даними [7], допустимий проліт панелі,

залежно від фактичного відношення довжини до прольоту, може збільшитися орієнтовно в межах до 40%.

Представлені в таблиці 1 та на рисунку 1 результати відповідають сонячним панелям з обшивками із загартованого скла товщиною 3 мм, яке має модуль пружності $E = 70$ ГПа та розрахунковий опір $R = 35$ МПа. З формул (1) слідує, що зміна товщини скла обшивок обумовлює пропорційну зміну допустимого прольоту панелі, тобто при використанні скла товщиною 4 мм допустимі прольоти зростуть на 33%.

Описані вище розрахунки виконані за умови розміщення сонячних панелей на висоті 10 м від поверхні землі. Перерахунок на висоту розміщення 20 м, що відповідає даху п'ятиповерхового будинку, показав, що допустимий проліт панелей зменшується на 0,1...6,6%. Це вказує на можливість використання даних таблиці 1 при виборі панелей для установки на будинках висотою до п'яти поверхів.

Висновки.

1. Розрахунки несучої здатності сонячних панелей поширеної конструкції з обшивками із загартованого скла товщиною 3 мм виконані за раніше розробленою методикою з урахуванням кута нахилу до горизонту та кліматичних навантажень для даного регіону.

2. Використання адміністративно-територіального районування України за характеристичними значеннями кліматичних навантажень дозволило для кожної з адміністративних областей встановити залежності гранично допустимого прольоту (меншого розміру) сонячної панелі від її кута нахилу до горизонту. В усіх випадках вирішальною виявилася умова жорсткості. Допустимі прольоти панелей з обшивками із загартованого скла товщиною 3 мм на території України отримані рівними 0,61...1,10 м. Найбільшими є допустимі прольоти в південних регіонах, а найменшими – в багатосніжних областях України.

3. Надані за результатами розрахунків рекомендації щодо допустимих прольотів сонячних панелей передбачають їх установку на висоті до 20 м від поверхні землі, відношення довжини до прольоту панелі, рівне 2,0. Допустимий проліт панелей, форма яких ближча до квадратної, можна збільшити шляхом повторення розрахунків за викладеною методикою.

4. Розроблені рекомендації дозволяють обґрунтовано вибрати тип і розміри сонячних панелей для установки на похилих дахах будівель з урахуванням несучої здатності при дії кліматичних навантажень в кожній з областей України.

Список літератури

1. Сонячна батарея - будова і принцип роботи. URL: <https://prel.prom.ua/ua/a315870-sonyachna-batareya-budova.html> (дата звернення: 28.04.2022).
2. ECO TECH UKRAINE. Солнечная энергетика, энергоэффективные технологии. Продажа, строительство, сервис. URL: <https://eco-tech.com.ua/gl1422607-solnechnye-batarei-paneli> (дата звернення: 28.04.2022).
3. Solar-Tech. Альтернативні джерела енергії. Продаж, установка, обслуговування. URL : <https://solar-tech.com.ua/ua/solar-electricity/solar-panels/> (дата звернення: 28.04.2022).
4. ДБН В.1.2-2:2006. Система надійності та безпеки в будівництві. Навантаження і впливи. Київ: Мінбуд України, 2006. 59 с.
5. Пашинський В.А., Філімоніхін Г.Б., Пашинський М.В. Районування характеристичних значень кліматичних навантажень на території України. *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шумановського*. 2018. Вип. 19 .С. 88-100.
6. Analysis of Methods for Determining Climate Loads at a Specified Territory Point by Meteorological Data / Željko Kos*, Viktor Pashynskiy, Yevhenii Klymenko, Mykola Pashynskiy . *Tehnički glasnik (Technical Journal)*, Vol. 14, No. 2, June 2020. p. 206-211. ISSN 1846-6168 (Print), ISSN 1848-5588 (Online). <https://doi.org/10.31803/tg-20191125075805>

7. Методика розрахунку несучої здатності сонячних панелей як елемента забезпечення енергоефективності будівель / В.А. Настоящий, В.А. Пашинський, М.В. Пашинський, С.М. Якименко . *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2021. Вип. 5(36). С 161-168.
8. Таблицы для расчета пластин, шарнирно опертых по контуру. URL: <http://doctorlom.com/item374.html> (дата звернення: 03.05.2022).
9. Міцність скла. Несуча здатність. Розрахунок на міцність. Допустимі напруження при згин. URL: <https://okna.ua/ua/library/art-mitsnist-skla-nesucha-zdatnist> (дата звернення: 08.05.2022).

References

1. Sonyachna batareya - budova i pryntsyyp roboty. [Solar battery - structure and principle of operation]. *prel.prom.ua*. Retrieved from <https://prel.prom.ua/ua/a315870-sonyachna-batareya-budova.html> [in Ukrainian]
2. ECO TECH UKRAINE. Solnechnaya energetika, energoeffektivnyye tekhnologii. Prodazha, stroitel'stvo, servis. [ECO TECH UKRAINE. Solar energy, energy efficient technologies. Sale, construction, service]. *eco-tech.com.ua*. Retrieved from <https://eco-tech.com.ua/gl1422607-solnechnye-batarei-paneli> [in Russian]
3. Solar-Tech. Al'ternatyvni dzherela enerhiyi. Prodazh, ustanovka, obsluhovuvannya. [Solar-Tech. Alternative Energy Sources. Sale, installation, service]. *solar-tech.com.ua*. Retrieved from <https://solar-tech.com.ua/ua/solar-electricity/solar-panels/> [in Ukrainian].
4. Systema nadiynosti ta bezpeky v budivnytstvi. Navantazhennya i vplyvy. [Reliability and safety system in construction. Loads and effects] . (2006). *DBN V.1.2-2:2006*. Kyiv: Ministry of Construction of Ukraine [in Ukrainian]
5. Pashynskiy, V.A., Filimonikhin, G.B. & Pashynskiy, M.V. (2018). Rayonuvannya kharakterystychnykh znachen' klimatychnykh navantazhen' na terytoriyi Ukrayiny. [Zoning of characteristic values of climatic loads on the territory of Ukraine]. *Collection of scientific works of the Ukrainian Institute of Steel Structures named after V. M. Shymanovsky – Collection of scientific works of the Ukrainian Institute of Steel Structures named after V.M. Shymanovsky, Vol. 19*, 88-100 [in Ukrainian].
6. Željko Kos. Analysis of Methods for Determining Climate Loads at a Specified Territory Point by Meteorological Data / Željko Kos*, Viktor Pashynskiy, Yevhenii Klymenko, Mykola Pashynskiy . *Tekhnichi glasnik (Technical Journal)*, Vol. 14, No. 2, June 2020. p. 206-211. ISSN 1846-6168 (Print), ISSN 1848-5588 (Online). <https://doi.org/10.31803/tg-20191125075805>
7. Nastoyashchyy, V.A., Pashynskiy, V.A., Pashynskiy, M.V. & Yakymenko, S.M. (2021). Metodyka rozrakhunku nesuchoyi zdatnosti sonyachnykh paneley yak elementa zabezpechennya enerhoefektyvnosti budivel' [Method of calculating the bearing capacity of solar panels as an element of energy efficiency of buildings]. *Tsentrāl'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical sciences. Issue. 5 (36)*, 161-168 [in Ukrainian].
8. Tablitsy dlya rascheta plastin, sharnirno opertykh po konturu. [Tables for calculating plates hinged along the contour]. *doctorlom.com*. Retrieved from <http://doctorlom.com/item374.html> [in Russian]
9. Mitsnist' skla. Nesucha zdatnist'. Rozrakhunok na mitsnist'. Dopustymi napruzheniya pry z-hyn. [Strength of glass. Load-bearing capacity. Calculation of strength. Permissible bending stresses]. *okna.ua*. Retrieved from <https://okna.ua/ua/library/art-mitsnist-skla-nesucha-zdatnist> [in Ukrainian]

Mykola Pashynskiy, PhD tech. sci., **Vladyslav Nastoyashchyy**, Prof., PhD tech. sci., **Viktor Pashynskiy**, Prof., DSc.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Load-bearing Capacity of Solar Panels Installed on the Hip Roofs in Ukraine

The growing shortage of energy resources encourages the more active usage of energy-efficient technologies, in particular the use of solar panels to power low-rise buildings. The aim of the work is to establish the maximum allowable spans of solar panels taking into account climatic loads in different regions of Ukraine.

According to the previously developed method, the bearing capacity of solar panels made of tempered glass with a thickness of 3 mm at a ratio of length to span of the panel equal to 2.0 was performed. The panels are installed at a height of up to 20 m from the ground level at angles of inclination to the horizon due to the design of the roofs. Characteristic values of snow cover weight, ice weight and wind pressure were adopted based on the results of the administrative-territorial zoning of Ukraine previously performed by the authors. Each administrative region corresponds to the characteristic values of the loads set in the safety margin with a security level of 0.95. This approach allowed to obtain the dependences of the maximum allowable span (smaller size) of the solar panel from its angle of inclination to the horizon for all 25 regions. In all cases, the condition of rigidity was decisive, and

the allowable spans of panels in Ukraine were obtained equal to 0.61... 1.10 m. The largest allowable spans are in the southern regions, and the smallest span - in the snowy regions of Ukraine. Changing the thickness of the panel leads to a proportional change in its allowable span.

The developed recommendations allow to choose the type and dimensions of solar panels for installation on the hip roofs of buildings in each of the administrative regions of Ukraine. The allowable span of panels, the shape of which is closer to square, can be increased by repeating the calculations according to the aforementioned method.

energy efficiency of buildings, solar panels, climatic loads, bearing capacity

Одержано (Received) 16.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 24.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 624.016:624.073.4:624.046.2

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.153-161](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.153-161)

О.В. Семко, проф., д-р техн. наук, **А.В. Гасенко**, доц., канд. техн. наук, докторант,

О.Г. Фенко, доц., канд. техн. наук

Навчально-науковий інститут Архітектури, будівництва та землеустрою

Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,

м. Полтава, Україна

e-mail: gasentk@gmail.com

В.В. Дарієнко, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: vvdarienko@gmail.com

Раціональне використання несучої здатності сталевих профільованих листів незнімної опалубки сталезалізобетонних перекриттів

Ефективне проектування будівельних конструкцій повинно забезпечити рівномірність всіх несучих елементів будівлі. На основі проведеного теоретичного аналізу законструйовано, виготовлено та випробувано по нерозрізній трьох пролітній схемі 6 плит довжиною 6 м шириною 1,06 м і 0,53 м із сталевих профільованих настилу марки К35-0,5, як незнімної опалубки монолітних сталезалізобетонних перекриттів. Проведено аналіз впливу змінного кроку встановлення опор, як одного з методів врівноваження рівня використання несучої здатності таких перекриттів.

сталезалізобетонне перекриття, незнімна опалубка, профільований настил, регулювання зусиль

Постановка проблеми. Сталезалізобетонні конструкції виготовляють як при новому будівництві, так і під час реконструкції будівель чи споруд шляхом вдалого поєднання сталевих переважно стержневих елементів та монолітного бетону [1]. Багатопрогінні згинані сталезалізобетонні конструкції із застосуванням монолітної залізобетонної плити у якості стиснутої площинної частини перерізу та сталевих профільованих частин у якості розтягнутої стержневої добре зарекомендували себе за рахунок високої технологічності влаштування та значної експлуатаційної несучої здатності як в цивільному, так і в промисловому будівництві [2; 3]. Окрім цього, монолітна залізобетонна плита створює жорсткий диск перекриття та дозволяє розділити внутрішній простір будівлі на декілька поверхів [4]. Досить часто для підвищення технологічності влаштування такого перекриття та зменшення термінів

будівництва, монолітну залізобетонну плиту влаштовують по незнімній опалубці із профільованого настилу (див. рис. 1). При забезпеченні спільної роботи монолітної залізобетонної плити із сталевим профільованим настилом незнімної опалубки за допомогою рифленої поверхні профнастилу, такі перекриття за витратами матеріалів близькі до залізобетонних, так як профільований лист використовується не тільки як опалубка, а й зовнішнє армування плити [5]. Широке застосування даного конструктивного рішення в практиці стримується відсутністю на ринку будівельних матеріалів профнастилу із рифленою поверхнею через складнішу технологію його прокатки, а також низьку вогне- і корозостійкість відкритої нижньої частини сталевого профільованого настилу.

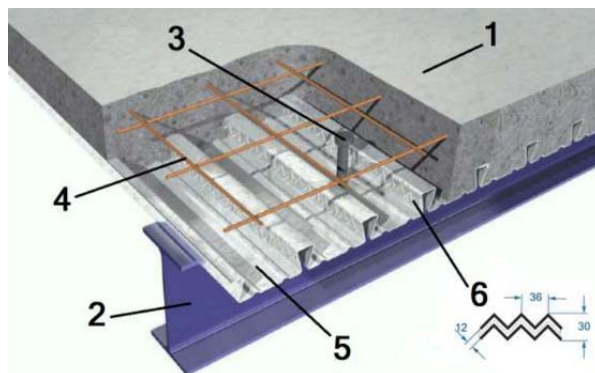


Рисунок 1 – Конструкція ефективної монолітної залізобетонної плити перекриття з «замковим» профільованим настилом у якості незнімної опалубки та зовнішнього армування:

- 1 – бетонна монолітна плита; 2 – сталеві балки; 3 – анкерні болти; 4 – арматурна сітка;
5 – «замковий» конструкційний профільований настил; 6 – рифлена поверхня профнастилу для підвищення анкерних властивостей

Джерело: використано авторами за даними [5]

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ідея застосовувати сталеві листи профільованого настилу у якості незнімної опалубки монолітних плит сталезалізобетонних перекриттів зародилася вже більше ніж 50 років тому. В Україні фундатором наукової школи по дослідженню сталезалізобетонних конструкцій є д.т.н., проф. Стороженко Л.І. [6]. Одним із дослідників залізобетонних плит по профільованому настилу є д.т.н., проф. Лапенко О.І. (див. [6]).

Роботу сталевих профільованих настилів, який можуть використовувати у якості незнімної опалубки під час виготовлення монолітних залізобетонних плит сталезалізобетонних перекриттів, слід поділити на два етапи. Перший етап – монтажний – робота виключно сталевих профільованих настилів на зовнішнє навантаження від свіжовкладеної бетонної суміші монолітної залізобетонної плити. Другий етап – експлуатаційний – робота сталевих профільованих настилів в якості зовнішнього армування сумісно із монолітною залізобетонною плитою перекриття.

Про перший етап роботи профільованого настилу, як окремої конструкції, на корисне зовнішнє навантаження відомо із експериментально-теоретичних досліджень роботи сталевих профільованих настилів за одно-, дво- та трипролітними схемами завантаження, розташованих у положеннях широкими чи вузькими полицками догори та із різними шляхами забезпечення нерозрізності багатопролітних зразків, проведених на під керівництвом д.т.н., с.н.с. Семка В.О. [7]. Проте у експериментально досліджених зразках (див. [7]) довжини прольотів були однакові, що приводило до вичерпування несучої здатності профільованого настилу у крайніх прольотах при однаковому рівні навантаження на всі прольоти.

Знаходження резервів несучої здатності монолітної залізобетонної плити при врахуванні сталевих профільованих настилу, як зовнішнього армування, у сумісній роботі плити під час другого експлуатаційного етапу роботи конструкції, а також визначення впливу товщини профлиста на загальну несучу здатність плити, досліджено та висвітлено в роботах під керівництвом д.т.н., проф. Ватулі Г.Л. [8]. В цих роботах розглядалися однопролітні статично-визначені згинані за двома напрямками сталобетонні плити з різними умовами обпирання при силових впливах з урахуванням нелінійності деформування і тріщиноутворення бетону в умовах плоского напруженого стану, пластичних деформацій сталевих листів за межею пружності, податливості з'єднання листа з бетоном.

Ефективність сумісної роботи сталевих тонкостінних профілів із важким та легким пінополістиролом бетоном доведена в результаті численних експериментальних досліджень, зокрема в [9].

Застосування інженерних методів розрахунку статично невизначених стержневих систем каркасів будівель для розрахунку залізобетонних конструкцій із врахуванням нелінійного опору бетону висвітлено в [10].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Сталевий профільований настил під час влаштування по ньому монолітної залізобетонної плити перекриття, а також сама монолітна залізобетонна плита під час експлуатації, що влаштовані по сталевих балках розміщених з однаковим кроком, є нерівнонапруженими за рахунок різних значень опорних та прольотних моментів крайніх і середніх прольотів. При однаковому армуванні крайніх і середніх прольотів матимемо різний рівень напружень та деформативності елементів конструкції.

Завданнями проведених авторами досліджень є законструювати, виготовити і провести експериментальні дослідження нерозрізних трипролітних зразків із листів профільованого настилу, які слугують незнімною опалубкою та зовнішнім армуванням монолітних сталезалізобетонних перекриттів, на предмет впливу змінного кроку встановлення опор на регулювання внутрішніх зусиль у середніх та крайніх прольотах.

Виклад основного матеріалу. Обґрунтування викладене в аналізі останніх досліджень і публікацій мети проведених досліджень щодо аналізу вичерпання несучої здатності листів профільованого настилу в різних прольотах є цілком очевидним. Результати дослідження дозволять перевірити запропонований метод врівноваження рівня використання несучої здатності монолітної плити в середніх та крайніх прольотах, а саме визначити вплив змінного кроку встановлення опор (тобто вплив різних прольотів плити) на листах сталевих профільованих настилу.

Експериментальні дослідження були проведені на листах профільованого настилу марки К35-0,5 товщиною 0,5 мм із висотою хвилі 35 мм довжиною 6000 мм шириною 1060 мм (шість хвиль) і 530 мм (три хвилі) (див. табл. 1). Статична схема випробувань – по трипролітній нерозрізній схемі з шарнірними опорами. Випробувано в пружній стадії по три зразки кожного типорозміру (шириною 1060 мм і 530 мм), що відрізнялися довжинами прольотів крайніх та середнього прольотів. Таким чином загальна кількість випробуваних зразків профнастилу склала 6 штук (табл. 1).

Таблиця 1 – Маркування випробуваних зразків профільованого настилу

Довжини прольотів, м	Ширина листа профільованого настилу	
	1060 мм	530 мм
1,9 – 1,9 – 1,9	1,9-1,9-1,9 (1,06) K35-0,5	1,9-1,9-1,9 (0,53) K35-0,5
1,8 – 2,1 – 1,8	1,8-2,1-1,8 (1,06) K35-0,5	1,8-2,1-1,8 (0,53) K35-0,5
1,75 – 2,2 – 1,75	1,75-2,2-1,75 (1,06) K35-0,5	1,75-2,2-1,75 (0,53) K35-0,5

Джерело: розроблено авторами

Метою експериментальних досліджень даної групи зразків було:

1. визначення величини прогинів листів профільованого настилу посередині середнього та крайніх прольотів. Порівняння величини прогинів середньої та крайньої хвилі профільованого настилу в контрольних перерізах – схему розташування індикаторів ИЧ-10 для вимірювання прогинів див. рис. 3;

2. визначення просідань (зменшення висоти гофр) профнастилу на опорах – схему розташування індикаторів ИЧ-10 для вимірювання прогинів див. рис. 3;

3. визначення величини відносних деформацій профільованого настилу в найбільш напружених перерізах (посередині прольотів та на середніх опорах на нижній та верхній полиці профнастилу) – схему розташування електротензорезисторів для фіксування відносних деформацій див. рис. 5;

4. отримання інформації про вплив різних значень довжин прольотів листа профільованого настилу (збільшення середнього прольоту і відповідно зменшення крайніх прольотів при постійній загальній довжині зразка) на його несучу здатність – розміри прольотів див. таблицю 1;

5. визначення впливу кількості хвиль листів профільованого настилу (вплив можливої втрати стійкості крайніх нерозкріплених хвиль) на загальну його несучу здатність – ширину дослідних зразків див. таблицю 1.

Навантаження зразків профільованого настилу виконувалося штучними дрібно розмірними вантажами – керамічною пустотілою цеглою. Для визначення ваги цегли виконане вибіркове її зважування: по 5 цеглин із кожних застосованих 50 цеглин (тобто зважено приблизно 1/10 від всієї кількості використаних для навантаження цеглин).

З метою рівномірного розподілу зовнішнього навантаження по ширині листа на всі гофри поперечного перерізу було вкладено на верхні полиці настилу дерев'яні прокладки товщиною 20 мм та шириною, що дорівнює 1,4 висоти настилу. Крок дерев'яних прокладок приймався рівним розміру вантажу (цеглини) плюс зазору близько 30 мм між цегляними стовпчиками. Тестові випробування зразків, навантажених двома різними способами прикладання навантаження – без дерев'яних прокладок і з прокладками, показали однакову деформативність зразків профільованих настилів. На рисунку 2 показані фото зразків профільованого настилу шириною 1060 мм і 530 мм при рівномірному кроці встановлення опор (1900–1900–1900 мм). Пунктирними лініями та стрілками на цих фотографіях показано місця розташування опор.



Рисунок 2 – Загальний вигляд завантажених зразків профільованого настилу:
а) марки 1,9-1,9-1,9 (1,06) K35-0,5; б) марки 1,9-1,9-1,9 (0,53) K35-0,5

Джерело: розроблено авторами

Згідно розроблених схем встановлення вимірювальних приладів в ході експерименту можливо було отримати інформацію як про прогини плити (жорсткість), так і про повздовжні деформації в крайніх її фібрах, за значеннями яких можливо перейти до напружень (міцність). Для вимірювання вертикальних прогинів під час навантаження зразків використовувалися індикатори годинникового типу ІЧ-10 із ціною поділки 0,01 мм. На рисунку 3 показано схему розташування індикаторів по довжині та ширині зразків. На рисунку 4 показані графіки зміни прогинів по довжині зразків профільованого настилу K35-0,5 під час навантаження.

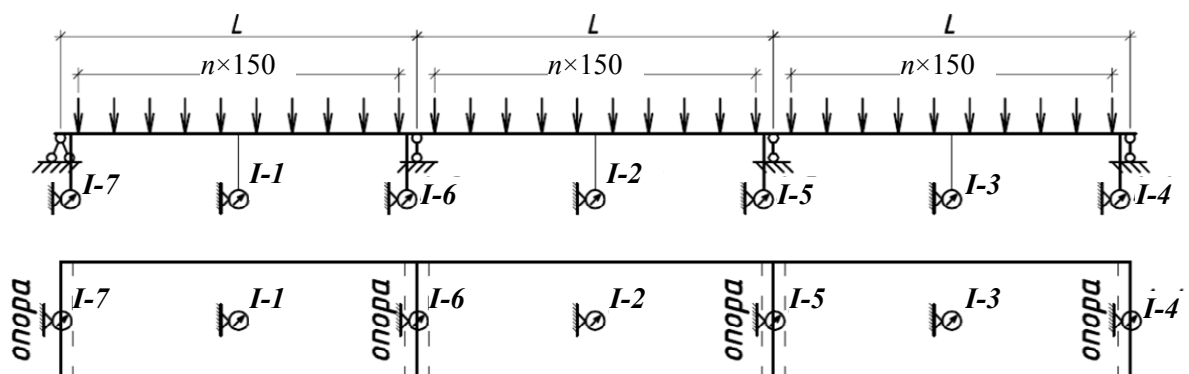
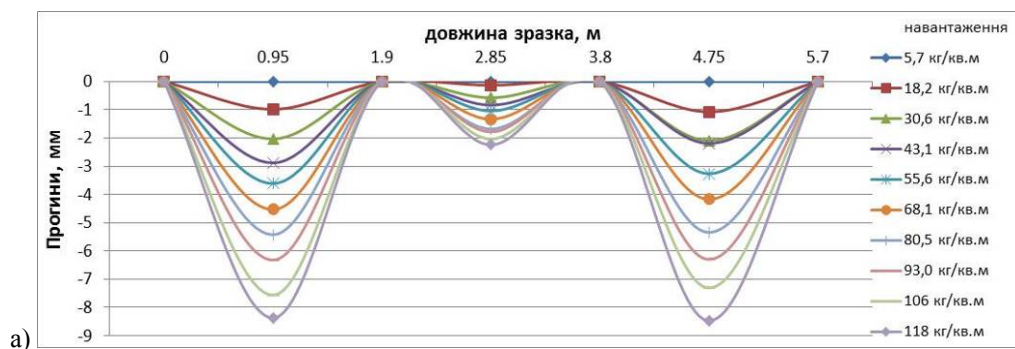


Рисунок 3 – Схема встановлення індикаторів годинникового типу ІЧ-10

Джерело: розроблено авторами



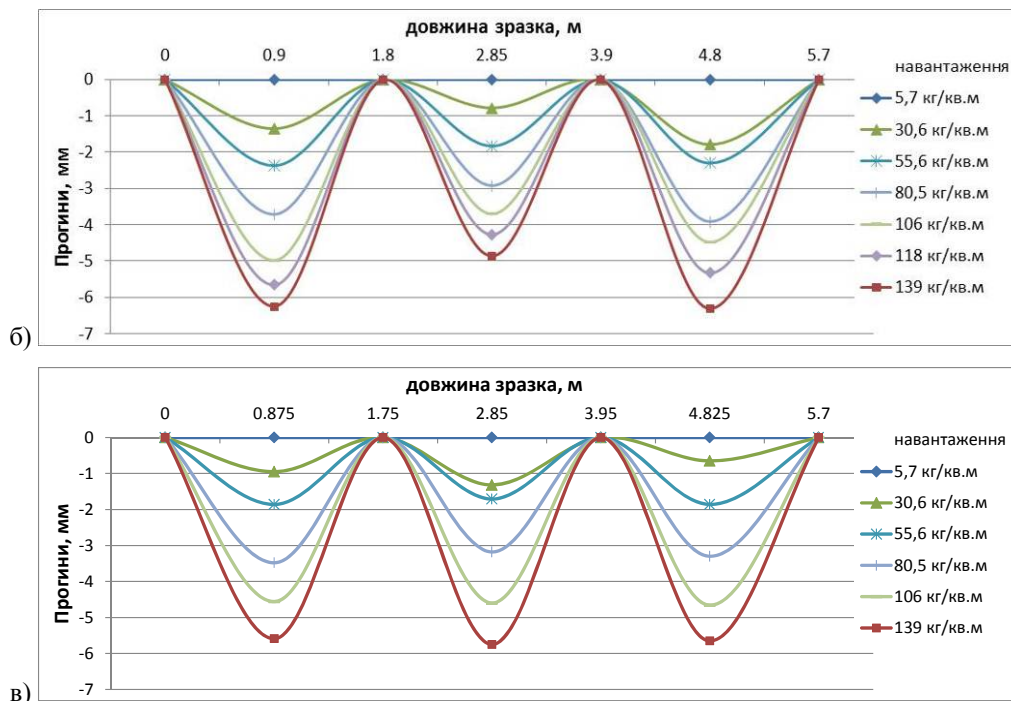


Рисунок 4 – Зміна прогинів по довжині профнастилу К35-0,5: а) зразок 1,9-1,9-1,9 (1,06) К35-0,5; б) зразок 1,8-2,1-1,8 (1,06) К35-0,5; в) зразок 1,75-2,2-1,75 (1,06) К35-0,5

Джерело: розроблено авторами

Для вимірювання відносних деформацій профнастилу в найбільш напружених місцях були використані електротензорезистори 2ПКБ-20-200ХБ з базою 20 мм. Тензорезистори були наклеєні на зачищену до металу та оброблену розчинником ділянку випробувальної конструкції за допомогою клею БФ-2, що забезпечило після прикладення навантаження їх деформування разом з нею. За рахунок деформування, опір тензорезистора змінюється, що фіксувалося за допомогою приладу автоматичного вимірювання деформацій. На рисунку 5 показана схема розташування електротензорезисторів на профнастилу. На рисунку 6 показано розподіли напружень, порашований по значеннях відносних деформацій, у характерних перерізах профільованого настилу К35-0,5 під час навантаження.

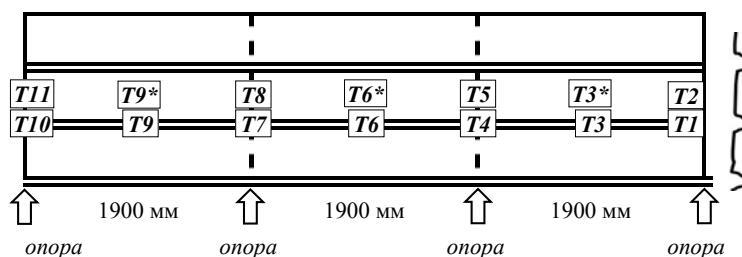


Рисунок 5 – Схема розташування електротензорезисторів на нижній стороні профільованого настилу
Джерело: розроблено авторами

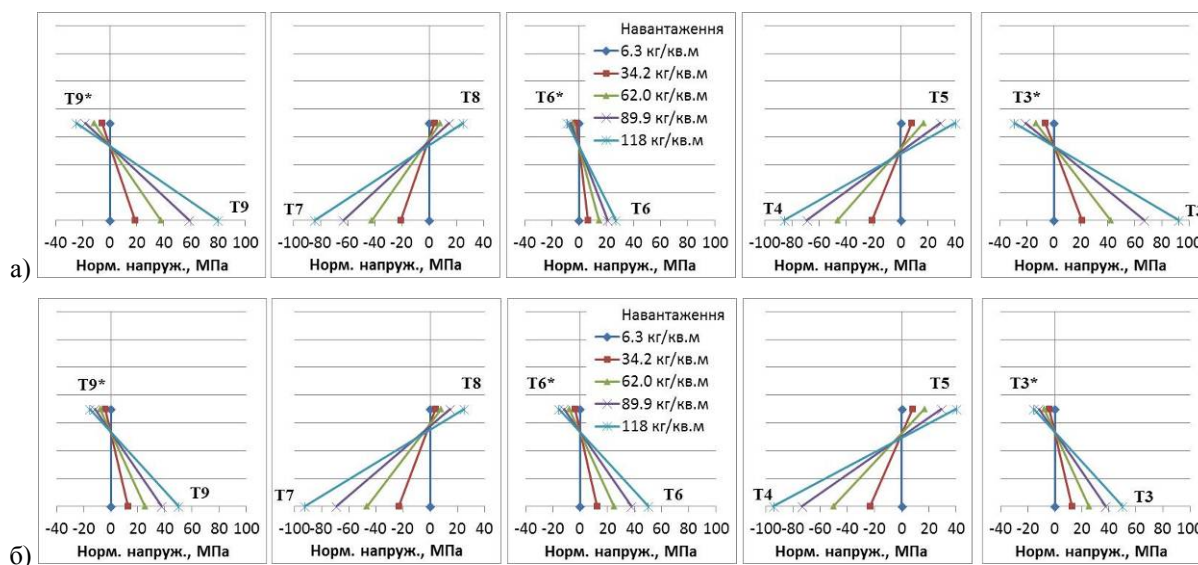


Рисунок 6 – Розподіл напружень у характерних перерізах (див. рис. 5) профнастилу К35-0,5:

а) зразок 1,9-1,9-1,9 (1,06) К35-0,5; б) зразок 1,75-2,2-1,75 (1,06) К35-0,5

Джерело: розроблено авторами

Висновки з проведених експериментальних досліджень. При рівномірному кроці опор 1900–1900–1900 мм прогини профлиста в крайніх прольотах більші за прогини в середньому прольоті приблизно у 3,5 рази (див. рис. 4, а), а нормальні напруження в крайніх точках вказаних перерізів – в 3 рази (див. рис. 6, а). При цьому напруження в крайніх точках перерізу середнього прольоту менші за опорні майже в 4 рази. Отримані експериментальним шляхом значення оптимізованих довжин прольотів практично співпадають із теоретичними [11] (рис. 7). Під «оптимізацією» мається на увазі вирівнювання значень прольотних M_{np} чи опорних M_{on} згинаючих моментів (при цьому опорні орієнтовно вдвічі більші за прольотні) та прогинів f_{np} .

Перспективою подальших досліджень є дослідження впливу змінного кроку встановлення опор на регулювання зусиль в перерізах сталевих профільованих листів незмінної опалубки сталезалізобетонних перекриттів, влаштованих по нерозрізній схемі з консолями.

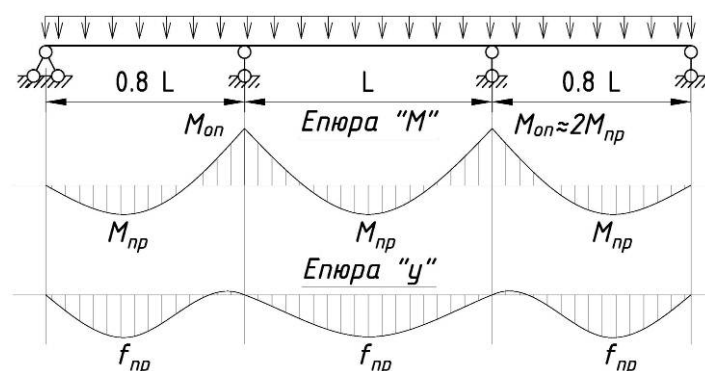


Рисунок 7 – Оптимізована трьох пролітна схема профлистів незмінної опалубки СЗБ перекриттів

Джерело: розроблено авторами

Список літератури

1. Семко О.В., Гасенко А.В. Надійність стиснутих сталевих елементів з швелерів при корозійному зносі. *Металеві конструкції*. 2006. Т. 11, № 3. С. 197–202.

2. Storozhenko L., Yermolenko D., Gasii G. Investigation of the Deformation State of a Composite Cable Space Frame Structures with a Photogrammetric Method. *Intern. Journal of Engineering & Technology*. 2018. 7(3.2). P. 442–446. DOI: <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14568>
3. Ватуля Г.Л., Орел Е.Ф. Вплив параметрів перерізу на несучу здатність сталобетонних конструкцій. *Зб. наук. пр.: Галузеве машинобудування, будівництво*. Вип. 3(33). Полтава, 2012. С. 30-34.
4. Гасенко А.В., Новицький О.П., Пенц В.Ф. Реконструкція багатоповерхових промислових будівель під доступне житло із використанням ресурсозбежувальних конструктивних рішень. *Зб. наук. пр. Вісник НУБГП, серія Технічні науки*. 2021. Вип. № 2(94). С. 27–40. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt220214>
5. Бобало Т.В. Порівняння результатів експериментального дослідження сталобетонних балок із комбінованим армуванням з результатами розрахунку за діючими національними нормами. *Архітектура і сільськогосподарське будівництво: Вісник НАУ*. 2012. №13. С.34-43.
6. Стороженко Л.І., Лапенко О.І. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці: монографія. Полтава: АСМІ, 2008. 312 с.
7. Семко В.О., Прохоренко Д.А. Експериментальні дослідження міцності та деформативності хвилястих сталевих профільованих настилів. *Зб. наук. пр. Серія: галузеве машинобудування, будівництво*. 2014. Вип. 3(42). С. 161-165.
8. Ватуля Г.Л., Орел Е.Ф., Матяшук О.В., Довганик О.Я. Оцінка впливу товщини металевго листа на несучу здатність конструкцій із зовнішнім армуванням. *Зб. наук. праць*. 2012. Вип. 133. С. 290-295.
9. Semko O.V., Hasenko A.V., Mahas N.N., Sirobaba V.O. Bearing Capacity and Deformability of Three-Component Steel Reinforced Concrete Constructions Made of Lightweight Concrete. *International Journal of Engineering & Technology*. Vol 7, No 4.8. Special Issue 8. Science Publishing Corporation, RAK Free Trade Zone, 2018. P. 53-57. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27213>
10. Кочкар'ов Д.В. Інженерні методи розрахунку залізобетонних статично невизначених стержневих систем. *Зб. наук. пр. УкрДУЗТ*. 2017. Вип. 170. С. 98-104.
11. Семко О.В., Гасенко А.В. Оптимізація кроку опор нерозрізних балок сталезалізобетонного самонапруженого перекриття. *Актуальні проблеми інженерної механіки: тези доповідей IX Міжн. конф.*(Одеса 17-20 травня 2022 р.). Одеса: ОДАБА, 2022. С. 153-154.

References

1. Semko, O. V. & Hasenko, A. V. (2006). Nadiynist' stysnutykh stalevykh elementiv z shveleriv pry koroziynomu znosi [Reliability of compressed steel elements from channels at corrosion wear]. *Metalevi konstruktsiyi – Steel structures. Issue 11, Vol. 3*, 197-202 [in Ukrainian].
2. Storozhenko, L., Yermolenko, D. & Gasii, G. (2018). Investigation of the Deformation State of a Composite Cable Space Frame Structures with a Photogrammetric Method. *Intern. Journal of Engineering & Technology*, 7(3.2), 442-446 [in English]. DOI: <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14568>
3. Vatulya, G. L. & Orel, E. F. (2012). Vplyv parametriv pererizu na nesuchu zdattist' stalebetonnykh konstruktsiy [Influence of section parameters on the bearing capacity of reinforced concrete structures]. *Zb. nauk. pr. – Coll. Sc. w. NUPP: Industrial engineering, construction, Vol. 3(33)*, 30-34 [in Ukrainian].
4. Hasenko, A. V., Novitsky, O. P. & Pentz, V. F. (2021). Rekonstruktsiya bahatopoverkhovykh promyslovykh budivel' pid dostupne zhytlo iz vykorystanniam resursozberezhuvail'nykh konstruktyvnykh rishen' [Reconstruction of multi-storey industrial buildings for affordable housing with the use of resource-saving design solutions]. *Zb. nauk. prats'. Visnyk NUVHP: Tekhnichni nauky – Coll. Sc. work. Bulletin NUVGP: Technical Sciences, V.2(94)*. 27-40 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31713/vt220214>
5. Bobalo, T. V. (2012) Porivnyannya rezul'tativ eksperymental'noho doslidzhennya stalebetonnykh balok iz kombinovanyim armuvannyam z rezul'tatamy rozrakhunku za diyuchymy natsional'nyimi normamy [Comparison of the results of experimental research of reinforced concrete beams with combined reinforcement with the results of calculation according to current national standards]. *Arkhitektura i sil'skohospodars'ke budivnytstvo: Visnyk Natsional'noho ahrarnoho universytetu – Architecture and Agricultural Construction: Bulletin of the National Agrarian University, Vol. 13*, 34-43 [in Ukrainian].
6. Storozhenko, L. I. & Lapenko, O. I. (2008). Zalizobetonni konstruktsiyi v neznimniy opalubtsi [Reinforced concrete structures in non-removable formwork] [in Ukrainian].
7. Semko, V. O. & Prokhorenko, D. A. (2014). Eksperymental'ni doslidzhennya mitsnosti ta deformatyvnosti khvylyastykh stalevykh profil'ovanykh nastyliv [Experimental studies of strength and deformability of corrugated steel profiled decking]. *Zb. nauk. prats' NUPP: Haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo – Coll. Science. works NUPP: Industrial engineering, construction. Vol. 3(42)*, 161-165 [in Ukrainian].

8. Vatulya, G. L., Orel, E. F., Matyashchuk, O. V. & Dovganik, O. Ya. (2012). Otsinka vplyvu tovshchyny metalevoho lysta na nesuchu zdattnist' konstruktiv iz zovnishnim armuvannyam [Evaluation of the effect of metal sheet thickness on the bearing capacity of structures with external reinforcement]. *Zb. nauk. prats' UkrDUZT – Coll. Science. works UkrDUZT, Vol. 133*, 290-295 [in Ukrainian].
9. Semko, O.V., Hasenko, A.V., Mahas, N.N. & Sirobaba, V.O. (2018). Bearing Capacity and Deformability of Three-Component Steel Reinforced Concrete Constructions Made of Lightweight Concrete. *International Journal of Engineering & Technology. Vol 7, No 4.8. Special Issue 8. Science Publishing Corporation, RAK Free Trade Zone.* 53-57 [in English]. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27213>
10. Kochkarev, D.V. (2017). Inzhenerni metody rozrakhunku zalizobetonnykh statychno nevyznachnykh sterzhnevyykh system [Engineering methods for calculating reinforced concrete statically indeterminate rod systems]. *Zb. nauk. prats' UkrDUZT – Coll. Sc. works UkrDUZT, Vol. 170*, 98-104 [in Ukrainian].
11. Semko, O.V. & Hasenko, A.V. (2022). Optymizatsiya kroku opor nerozriznykh balok stalezalizobetonnoho samonapruzhenoho perekryttya [Optimization of the supports pitch of steel-reinforced concrete self-stressed floor continuous beams]. *Tezy dopovidey – Thesis of reports ODABA.* 153-154 [in Ukrainian].

Alexander Semko, Prof., Dr. tech. sci., **Anton Hasenko**, Assoc. Prof., Ph.D. tech. sci., doctoral student, **Oleksiy Fenko**, Assoc. Prof., Ph.D. tech. sci.

Educational and Scientific Institute of Architecture, Construction and Land Management, National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, Ukraine

Viktor Dariienko, Assoc. Prof., Ph.D. tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Profiled Steel Sheets of Steel-reinforced Concrete Floors Fixed Formwork Load-bearing Capacity Rational Use

Building structures effective design should ensure uniform strength of all building load-bearing elements. Steel-reinforced concrete structures are made both during new construction and during the reconstruction of buildings or structures by a successful combination of steel, mainly rod elements, and monolithic concrete. Quite often, in order to increase the manufacturability of such floors installing and reduce the construction time, a monolithic reinforced concrete slab is arranged on a fixed formwork made of profiled flooring. To include a profiled sheet in compatible work with a monolithic slab, anchoring means are provided: protrusions on the sheets surface, rod reinforcement, etc. However, due to the usually equal pitch of the profiled sheets (steel beams) supports, they are unevenly stressed.

On the basis of the conducted theoretical analysis, 6 slabs 6 m long, 1.06 m wide and 0.53 m made of K35-0.5 steel profiled flooring were designed, manufactured and tested according to a continuous three-span scheme, as a fixed formwork for monolithic steel-reinforced concrete floors. The samples were loaded with bricks. To measure deflections during sample loading, watch-type indicators with a division value of 0.01 mm were used. To measure strain electro tensile resistors were used. An analysis of supports installation variable step influence, as one of the methods of these floors load-bearing capacity use level balancing was carried out.

It has been experimentally confirmed that when equalizing the values of the span or support bending moments (at the same time, the support moments are twice as large as the span), as well as deflections, the lengths of the extreme spans should be 25% less than the central spans.

steel-reinforced concrete floor, fixed formwork, profiled flooring, force adjustment

Одержано (Received) 04.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 13.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

АГРОІНЖЕНЕРЯ

УДК 631.333:631:172

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.162-169](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.162-169)**А.С. Лімонт**, доц., канд. техн. наук*Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, Україна,**e-mail: andrespartak@ukr.net***З.А. Лімонт**, студ.*Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна*

Вантажопідйомність і масово-розмірні параметри кузовних машин для внесення твердих органічних добрив

Мета дослідження полягала у пізнанні вантажопідйомності і маси кузовних машин для внесення твердих органічних добрив, їх габаритних довжини, ширини і висоти. На підставі такого пізнання передбачено з'ясувати кількісний зв'язок між вантажопідйомністю машин як результативною ознакою і їх масою та габаритними довжиною, шириною і висотою, які в дослідженні розглядали як факторіальні ознаки.

Між вантажопідйомністю машин з одного боку і їхніми масово-розмірними параметрами з іншого відмічений додатний кореляційний зв'язок з коефіцієнтами кореляції в межах 0,718–0,958 за кореляційних відношень результативної ознаки на факторіальні від 0,840 до 0,925. Додатні коефіцієнти кореляції свідчили про підвищення вантажопідйомності машин в міру збільшення інших їхніх досліджуваних параметрів. З'ясовано, що вантажопідйомність машин із збільшенням їхніх габаритних довжини і ширини зростає за відповідними експонентами, а залежно від габаритної висоти і маси машин зростає за прямими з додатними кутовими коефіцієнтами.

тверді органічні добрива, механізація внесення, кузовні розкидачі, параметри, кореляційний зв'язок

Постановка проблеми. Серед факторів родючості ґрунтів значна роль належить твердим органічним добривам (ТОД), внесення яких в технологічних процесах вирощування сільськогосподарських культур сприяє підвищенню їх урожайності та поліпшенню якості продукції рослинництва. Особливо тут показовим є виробництво картоплі [1]. Без внесення ТОД урожайність картоплі становила 110 ц/га, а із внесенням цих добрив 30 т/га, 50, 60, 80, 90, 100 і 150 т/га урожайність сягала 240 ц/га і вище. Зміна урожайності картоплі залежно від дози внесення ТОД в досліджуваних і вказаних межах описується рівнянням випуклої параболи другого порядку за максимальної врожайності, яку забезпечує доза внесення ТОД, що становить 120 т/га. Крім інших засобів механізації на внесенні ТОД використовують і кузовні машини, за технічною характеристикою деяких з них з урахуванням відповідних регулювань і техніко-технологічного налагодження може бути забезпечена доза внесення ТОД, що становить 60 т/га. Забезпечення таких значних доз внесення ТОД може бути реалізовано за рахунок організації високоефективного використання відповідних кузовних машин, що мають визначену вантажопідйомність.

Вантажопідйомність кузовних машин для внесення ТОД є однією із споживчих властивостей цих машин, що необхідна при розрахунках продуктивності машинно-тракторних агрегатів (МТА) у складі з розкидачами добрив, визначенні тривалості технологічного циклу внесення ТОД, обчисленні тягового опору МТА у складі з

кузовними машинами для внесення ТОД та пошуку споживаної потужності на тягу кузовних машин у складі відповідних МТА. Крім того, вантажопідйомність кузовних машин для внесення ТОД необхідна при визначенні тривалості безпосереднього розподілу добрив по поверхні удобрюваного поля та розрахунках тривалості навантажування добрив у кузов розкидача із сформованих бортів гною на поворотних смугах заїнок чи інших місцях зберігання ТОД. Нарешті з використанням інформації про вантажопідйомність кузовних машин можна здійснити розрахунки з визначення затрат праці на внесення ТОД та погектарної витрати палива при роботі МТА для внесення органічних добрив.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Деякі з кузовних машин для внесення ТОД створені на базі відповідних тракторних причепів, а деякі з цих машин за незначного переобладнання можуть бути використані як тракторні причепа. Акад. М.Є. Мацепуро [2] з'ясував зміну маси тракторного причепа залежно від його вантажопідйомності. Для тракторних причепів сучасного покоління аналогічна зміна з'ясована і в праці [3]. Проф. А.Д. Семкович [4] при визначенні оптимальної вантажопідйомності транспортних засобів в технологічному процесі внесення рідких добрив досліджував зміну їх маси залежно від місткості відповідних резервуарів. З'ясована в дослідженні залежність використана для визначення потужності на тягу причепа та швидкості руху тракторного-транспортного агрегату.

В публікаціях авторів [5, 6] висвітлено вплив вантажопідйомності кузовних машин для внесення ТОД на споживану потужність цих машин та відносну потужність на привод робочих органів аналізованих машин від вала відбору потужності трактора.

З урахуванням досліджень [2–4] відповідна залежність вантажопідйомності q_n (т) кузовної машини для внесення ТОД від її маси повинна існувати і стосовно розкидачів органічних добрив. Слід вважати, що варто вести пошук зміни вантажопідйомності кузовних машин не тільки від їх маси $m_{од}$ (т), але і габаритних довжини $l_{од}$ (мм), ширини $b_{од}$ (мм) і висоти $h_{од}$ (мм).

В публікаціях з проектування, конструювання, виробництва та використання кузовних машин для внесення ТОД, наприклад в [7–9], відсутня інформація щодо зв'язку вантажопідйомності машин з їхніми масою та габаритними розмірами. Таке на нашу думку ускладнює вибір відповідних проектних рішень при опрацюванні та розробленні нових моделей і зразків машин для внесення добрив.

Постановка завдання. Метою роботи є з'ясування впливу маси кузовних машин для внесення ТОД та габаритних довжини, ширини і висоти машин на їх вантажопідйомність. Завдання дослідження: 1) сформувати двомірні варіаційні ряди вантажопідйомність – маса машин, вантажопідйомність – габаритна довжина машин та вантажопідйомність – габаритна ширина машин і вантажопідйомність машин – їх габаритна висота; 2) опрацювати варіаційні ряди вантажопідйомності машин, їхніх маси і габаритних розмірів та розрахувати основні статистичні показники сформованих емпіричних розподілів; 3) визначити показники кореляційного зв'язку між досліджуваними параметрами кузовних машин, що є складовими опрацьованих двомірних варіаційних рядів; 4) з'ясувати характер і форму кількісного зв'язку між вантажопідйомністю машин та іншими досліджуваними масово-розмірними параметрами розкидачів добрив; 5) проаналізувати знайдені кореляційно-регресійні рівняння зміни вантажопідйомності кузовних машин залежно від їхніх інших масово-розмірних параметрів; 6) визначити модельні рівняння прямої та кривої регресії вантажопідйомності машин на прийняті в дослідженні факторіальні ознаки і побудувати відповідні модельні лінії регресії вантажопідйомності машин на досліджувані факторіальні ознаки та зробити відповідні висновки.

Об'єкт і методика дослідження. Об'єктом дослідження були кузовні машини для внесення ТОД виробництва підприємствами на території колишнього Радянського Союзу та підприємствами сучасної України. Досліджували вантажопідйомність і масу машин та їхні габаритні довжину, ширину і висоту. Результативною ознакою в дослідженні прийнято вантажопідйомність машин, а в якості факторіальних – їхні масу та габаритні довжину, ширину і висоту. Вихідні дані про вказані параметри кузовних машин вибирали з технічних характеристик розкидачів органічних добрив. Досліджували чотири статистичні вибірки, на підставі яких були сформовані відповідні двомірні варіаційні ряди, включали 21 марку однакових кузовних машин. На підставі сформованих двомірних варіаційних рядів здійснювали кореляційно-регресійний аналіз [10] досліджуваних парних зв'язків відповідних результативна – факторіальна ознаки.

Для з'ясування характеру і форми відповідного парного зв'язку здійснювали вирівнювання експериментальних значень результативної ознаки рівняннями прямих з додатними кутовими коефіцієнтами та низкою зростаючих криволінійних залежностей – гіперболами та степеневими, логарифмічними і експоненціальними функціями. Вирівнювання здійснено з використанням стандартних комп'ютерних програм та супроводжувалося розрахунком R^2 -коефіцієнта, що характеризував вірогідність апроксимації експериментальних значень результативної ознаки відповідним рівнянням регресії. Крім визначення коефіцієнта кореляції r між результативною і факторіальними ознаками та кореляційного відношення η результативної ознаки на відповідні факторіальні та R^2 -коефіцієнтів вели розрахунок помилок S_y рівнянь регресії та коефіцієнтів детермінації k_d , що оцінювали силу впливу відповідної факторіальної ознаки на зміну результативної.

Виклад основного матеріалу. Вантажопідйомність досліджуваних машин як результативна ознака в цьому дослідженні коливалася в межах від 2 до 24 т за середньою арифметичного значення і середнього квадратичного відхилення відповідно 7,64 і 5,39 т та досить великого значення коефіцієнта варіації, що дорівнював 70,5%.

Результати визначення коефіцієнта кореляції між вантажопідйомністю машин як результативною ознакою і масою машин та їх габаритними розмірами як факторіальними ознаками, кореляційного відношення вантажопідйомності машин на їх факторіальні ознаки наведені в табл. 1.

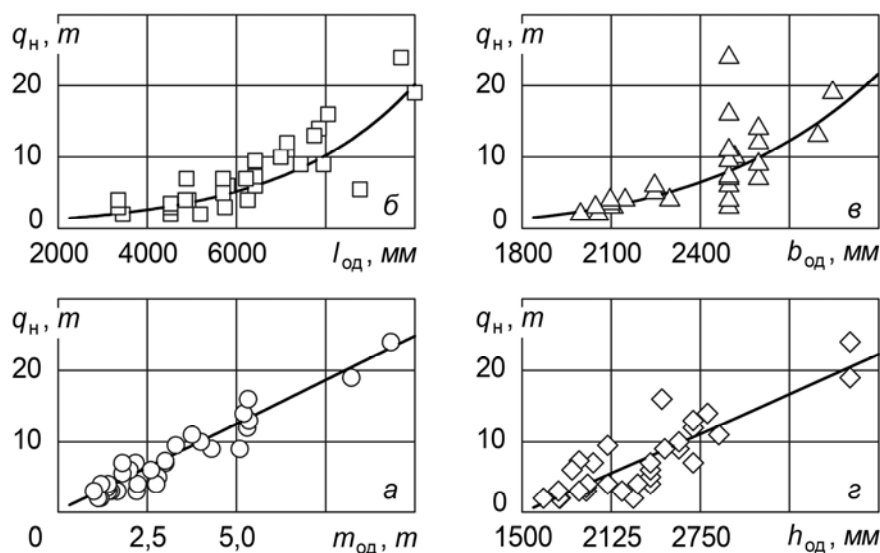
Оскільки між досліджуваними ознаками виявлений додатний кореляційний зв'язок, то із збільшенням факторіальних ознак вантажопідйомність машин має зростати. Щодо форми зв'язку, то її першопочатково наближено можна з'ясувати порівнянням значень коефіцієнтів кореляції і кореляційних відношень. На підставі такого порівняння можна стверджувати, що зміна q_n залежно від $m_{од}$ і $h_{од}$ має відбуватися за лінійними залежностями, а від $l_{од}$ і $b_{од}$ – за криволінійними. Для остаточного з'ясування характеру зв'язку між вантажопідйомністю машин і досліджуваними факторіальними ознаками здійснено вирівнювання експериментальних значень вантажопідйомності машин залежно від факторіальних ознак низкою апроксимуючих залежностей (табл. 1), з визначенням для кожної з них R^2 -коефіцієнта. За максимальним значенням цього коефіцієнта, що був властивий відповідній апроксимуючій залежності, останню і приймали за таку, що найбільш вдало описували зміну q_n залежно від досліджуваної факторіальної ознаки.

Таблиця 1 – Оцінювання кореляційного зв'язку між вантажопідйомністю q_n (результативна ознака) кузовних машин для внесення твердих органічних добрив і їх масою $m_{од}$, габаритними довжиною $l_{од}$, шириною $b_{од}$ та висотою $h_{од}$ і з'ясування характеру зв'язку між досліджуваними ознаками

Факторіальна ознака	Коефіцієнт кореляції	Кореляційне відношення	R^2 -коефіцієнт за вирівнювання рівнянням				
			прямі	гіперболи	функції		
					степеневі	логарифмічні	експоненціальні
Маса машини $m_{од}$	0,958	0,925	0,918	0,619	0,856	0,815	0,786
Довжина $l_{од}$	0,845	0,844	0,714	0,538	0,689	0,639	0,713
Ширина $b_{од}$	0,718	0,847	0,516	0,493	0,717	0,586	0,717
Висота $h_{од}$	0,864	0,840	0,746	0,645	0,654	0,706	0,634

Джерело: розроблено авторами

На рис. 1 наведені кореляційні поля вантажопідйомності кузовних машин для внесення ТОД і досліджуваних маси машин $m_{од}$, їхніх габаритних довжини $l_{од}$, ширини $b_{од}$ і висоти $h_{од}$.



q_n – вантажопідйомність кузовних машин (КМ) для внесення твердих органічних добрив (ТОД);
 $m_{од}$ – маса КМ для внесення ТОД; $l_{од}$, $b_{од}$, $h_{од}$ – відповідно габаритні довжина, ширина і висота КМ
 для внесення ТОД

Рисунок 1 – Кореляційні поля і графіки модельних ліній регресії вантажопідйомності q_n кузовних машин для внесення ТОД на: а) масу $m_{од}$ машин; б) їх габаритну довжину $l_{од}$ та габаритні в) ширину $b_{од}$ і г) висоту $h_{од}$

Джерело: розроблено авторами

З табл. 1 видно, що доцільніше всього зміну вантажопідйомності кузовних машин залежно від їх маси і габаритної висоти розкидачів подати рівняннями прямих, а залежно від габаритних довжини і ширини машин – рівняннями експоненціальних функцій. Такий характер зміни вантажопідйомності машин залежно від вказаних факторіальних ознак простежується і за аналізом відповідних кореляційних полів досліджуваних ознак, що наведені на рис. 1.

Отже, модельне рівняння прямолінійної регресії q_n (т) на $m_{од}$ (т) з додатним кутовим коефіцієнтом після відповідних розрахунків, що визначає кількісну зміну q_n залежно від $m_{од}$, має вигляд:

$$q_n = 2,462 m_{од} - 0,126 \quad (1)$$

при $r = 0,958$; $\eta = 0,925$; $R^2 = 0,918$; $S_y = 1,54$ т і $k_d = 0,918$.

Модельне рівняння криволінійної регресії вантажопідйомності q_n (т) машин на їх габаритну довжину $l_{од}$ (мм) за прискорено зростаючою експоненціальною функцією, що кількісно оцінює зміну q_n залежно від $l_{од}$, після відповідних розрахунків набуло вигляду:

$$q_n = 0,68 \exp(0,00034655 l_{од}) \quad (2)$$

при $r = 0,845$; $\eta = 0,844$; $R^2 = 0,713$; $S_y = 1,78$ т і $k_d = 0,891$.

Кількісну зміну вантажопідйомності q_n (т) кузовних машин залежно від їх габаритної ширини $b_{од}$ (мм) з вірогідністю апроксимації експериментальних значень q_n понад 0,70 описує рівняння криволінійної регресії q_n на $b_{од}$ за прискорено зростаючою експоненціальною функцією вигляду:

$$q_n = 0,0235 \exp(0,00233 b_{од}) \quad (3)$$

при $r = 0,718$; $\eta = 0,847$; $R^2 = 0,717$; $S_y = 2,87$ т і $k_d = 0,717$.

Модельне рівняння прямолінійної регресії вантажопідйомності q_n (т) машин на їхню габаритну висоту $h_{од}$ (мм) з додатним кутовим коефіцієнтом, що визначає кількісну зміну q_n залежно від $h_{од}$, після визначення відповідних сталих має вигляд:

$$q_n = 0,00894 h_{од} - 13,475 \quad (4)$$

при $r = 0,864$; $\eta = 0,840$; $R^2 = 0,746$; $S_y = 2,72$ т і $k_d = 0,746$.

Помилка рівнянь (1–4) коливалися в межах 1,54–2,87 т, що значно менше середнього арифметичного значення емпіричного розподілу q_n , яке за розрахунками становило 7,64 т.

За рівняннями (1–4) побудовані модельні лінії регресії вантажопідйомності машин на відповідні факторіальні ознаки. Лінії регресії наведені на рис. 1. З рівняння (1) та графіка зміни q_n залежно від $m_{од}$ (рис. 1, а) за значенням кутового коефіцієнта простежується, що із збільшенням маси машин на 1 т при її зміні від 1 до 9,33 т вантажопідйомність машин зростає майже на 2,5 т.

З графіка зміни q_n залежно від $l_{од}$ видно, що із підвищенням габаритної довжини

машин понад 6000 мм їх вантажопідйомність починає зростати більш інтенсивно порівняно із зміною $l_{\text{од}}$ до 6000 мм.

Аналіз графіка зміни q_n (т) залежно від $b_{\text{од}}$ (мм), що наведений на рис. 1, в, свідчить про наступне. При зміні $b_{\text{од}}$ від 1850 мм (розкидач РУ-2000) до 2250 мм (розкидачі РТД-5 і РОУ-6) і далі до 2300 мм (розкидач «Фумакс») вантажопідйомність кузовних машин зростає майже прямолінійно, а з подальшим підвищенням $b_{\text{од}}$ до 2500 і 2850 мм вантажопідйомність починає зростати більш прискорено, що характерно для експоненціальної функції. За таких умов вантажопідйомність сягає 19 і 24 т при габаритній ширині розкидача відповідно 2850 і 2500 мм (машини в тій послідовності МТТ-Ф-19 і МТТ-23).

З графіка зміни q_n (т) залежно від габаритної висоти $h_{\text{од}}$ (мм) кузовної машини (рис. 1, г) та рівняння (4) за його кутовим коефіцієнтом збільшення $h_{\text{од}}$ на 1 м за її зміни від 1650 до 3800 мм супроводжується підвищенням вантажопідйомності машин майже на 9 т.

Якщо зміну q_n залежно від габаритної довжини $l_{\text{од}}$ і габаритної ширини $b_{\text{од}}$ кузовної машини подати рівняннями прямих з додатними кутовими коефіцієнтами, то за останніми в межах зміни $l_{\text{од}}$ від 3500 до 10000 мм і $b_{\text{од}}$ від 1850 до 3500 мм збільшення габаритної довжини і габаритної ширини кузовної машини на 1 м могло б супроводжуватися підвищенням вантажопідйомності цих машин відповідно на 2,65 та 15,1 т.

Висновки. Вплив досліджуваних факторіальних ознак на вантажопідйомність кузовних машин для внесення ТОД з'ясовували шляхом розрахунку коефіцієнтів детермінації. За значеннями коефіцієнтів детермінації варіація вантажопідйомності машин на 92% причинно зумовлена впливом маси машин, на 89% впливом габаритної довжини машин та на 72% впливом габаритної ширини машин і на 75% впливом габаритної висоти машин. У вказаній послідовності решта 8%, 11% та 28 і 25% не поясненої дисперсії викликана впливом випадкових факторів, що не враховані при дослідженні вантажопідйомності розкидачів органічних добрив. Кількісна зміна вантажопідйомності кузовних машин залежно від їх маси, габаритної довжини та габаритної ширини і габаритної висоти машин описується рівняннями прямої з додатним кутовим коефіцієнтом, прискорено зростаючими експоненціальними функціями та рівняннями прямої з додатним кутовим коефіцієнтом.

Отримані результати дослідження можуть бути використані при проектуванні і розрахунках кузовних машин для внесення ТОД та організації їх використання в технологічних процесах вирощування сільськогосподарських культур.

Перспективи подальших розвідок на нашу думку мають бути спрямовані на пошук і з'ясування взаємозалежності об'єкту кузова і вантажопідйомності та маси машин для внесення твердих органічних добрив.

Список літератури

1. Вабищевич И.Ф. Влияние технических характеристик машин на производство сельскохозяйственной продукции. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Проблеми технічної експлуатації машин. Системотехніка і технології лісового комплексу*. 2010. Вип. 94. С. 45–53.
2. Мацепуро М.Е. К вопросу разработки подвижного состава сельскохозяйственного транспорта. *Вопросы земледельческой механики*. Минск: Гос. изд-во БССР (Редакция с.-х. литературы), 1959. Т. 1. С. 230–283.
3. Лімонт А.С. Вантажопідйомність і розміри кузовів тракторних причепів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*.

- Механізація сільськогосподарського виробництва*. 2012. Вип. 124. Т. 1. С. 110–120.
4. Семкович А.Д. К определению оптимальной грузоподъемности транспортных средств для снабжения удобрителей жидкими удобрениями. *Оптимальное проектирование сельскохозяйственных производственных процессов: науч. труды*; под ред. В.А. Желиговского. 1971. С. 162–178.
 5. Лімонт А.С., Лімонт З.А. Вантажопідйомність і споживана потужність кузовних машин для внесення твердих органічних добрив. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук-техн. зб.* 2020. Вип. 50. С. 41–51.
 6. Лімонт А., Лімонт З. Відносна потужність на привод робочих органів від вала відбору потужності трактора і вантажопідйомність кузовних машин для внесення твердих органічних добрив. *Матеріали XIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»*. Кропивницький, 10–12 листопада 2021 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2021. С. 9–10.
 7. Марченко Н.М., Личман Г.И., Шебалкин А.Е. Механизация внесения органических удобрений (Технологические основы проектирования процессов и рабочих органов). Москва: Агропромиздат, 1990. 207 с.
 8. Машины и оборудование для производства и внесения органических удобрений: конструирование и расчет / Линник Н.К. и др.; под ред. Л.В. Погорелого. Киев: Техника, 1992. 103 с.
 9. Павленко С.І. Експериментальні дослідження показників роботи розкидача органічних добрив ПРТ-10 із двобарабаним навісним пристроєм. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів: наук. журн. / засн.: Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка*. Харків. 2018. № 14. С. 156–164.
 10. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учеб. пособ. Москва: Изд-во Москов. ун-та, 1972. 292 с.

References

1. Vabishchevich, I.F. (2010). Vliyanie tekhnicheskikh kharakteristik mashin na proizvodstvo sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Influence of technical characteristics of machines on the production of agricultural products.]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. Petra Vasylenka. Problemy tekhnichnoi ekspluatatsii mashyn. Systemotekhnika i tekhnolohii lisovoho kompleksu – Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Peter Vasylenko. Problems of technical operation of machines. System engineering and technologies of the forest complex, Issue 94*, 45–53 [in Russian].
2. Matsepuro, M.E. (1959). K voprosu razrabotki podvizhnogo sostava sel'skokhozyaystvennogo transporta [On the issue of development of rolling stock for agricultural transport]. *Voprosy zemledel'cheskoy mekhaniki – Questions of agricultural mechanics, Vol. 1*, 230–283 [in Russian].
3. Limont, A.S. (2012). Vantazhopidiomnist i rozmyry kuzoviv traktornykh prycheviv [Carrying capacity and body dimensions of tractor trailers]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. Petra Vasylenka. Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva – Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Peter Vasylenko. Mechanization of agricultural production, Issue 124, Vol. 1*, 110–120 [in Ukrainian].
4. Semkovich, A.D. (1971). K opredeleniyu optimal'noy gruzopod"emnosti transportnykh sredstv dlya snabzheniya udobriteley zhidkimi udobreniyami [To determine the optimal carrying capacity of vehicles for supplying fertilizers with liquid fertilizers]. *Optimal'noe proektirovanie sel'skokhozyaystvennykh proizvodstvennykh protsessov: nauch. trudy – Optimal design of agricultural production processes: scientific works.*; V.A. Zheligovskogo (Ed.), 162–178 [in Russian].
5. Limont, A.S. & Limont, Z.A. (2020). Vantazhopidiomnist i spozhyvana potuzhnist kuzovnykh mashyn dlia vnesennia tverdykh orhanichnykh dobyrv [The Load-carrying Capacity and Power Consumption of Body Machines for Applying Solid Organic Fertilizers *Konstruiuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia sil'skohospodars'kykh mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Vol.* 50, 41–51 [in Ukrainian].
6. Limont, A. & Limont, Z. (2021). Vidnosna potuzhnist na pryvod robochykh orhaniv vid vala vidboru potuzhnosti traktora i vantazhopidiomnist kuzovnykh mashyn dlia vnesennia tverdykh orhanichnykh dobyrv. *Problemy konstruiuvannya, vyrobnytstva ta ekspluatatsii silskohospodarskoi tekhniki: Materialy KhIII Mizhnar. nauk.-prakt. konf.. Kropyvnytskyi (10–12 lystopada 2021 r.)*. Kropyvnytskyi: TsNTU, p. 9–10 [in Ukrainian].
7. Marchenko, N.M., Lichman, G.I. & Shebalkin, A.E. (1990). Mekhanizatsiya vneseniya organicheskikh udobreniy (Tekhnologicheskie osnovy proektirovaniya protsessov i rabochikh organov) [Mechanization

- of the application of organic fertilizers (Technological bases for the design of processes and working bodies)]. Moskva: Agropromizdat [in Russian].
8. Linnik, N.K. et al. (1992). *Mashiny i oborudovanie dlya proizvodstva i vneseniya organicheskikh udobreniy: konstruirovaniye i raschet* [Machinery and equipment for the production and application of organic fertilizers: design and calculation]. L.V. Pogorelogo (Ed.). Kiev: Tekhnika [in Russian].
 9. Pavlenko, S.I. (2018). Eksperymentalni doslidzhennia pokaznykiv roboty rozkydacha orhanichnykh dobryv PRT-10 iz dvobarabannym navisnym prystroiem [Experimental studies of performance indicators of the spreader of organic fertilizers PRT-10 with a two-drum attachment device]. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv: nauk. zhurn – Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes: science. journal*, 14, 156–164 [in Russian].
 11. Dmitriev, E.A. (1972). *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii* [Mathematical statistics in soil science]. Moskva: Izd-vo Moskov. un-ta [in Ukrainian].

Anatoliy Limont, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Zhytomyr Agrotechnical Colledge, Zhytomyr, Ukraine.

Zlata Limont, student

Dnipro National University named after Oles Honchar, the city of Dnipro, Ukraine.

The Load-carrying Capacity and Mass and Mass and Dimensional Parameters of Body Machines for Applying Solid Organic Fertilizers

The aim of the study was to know the load capacity and weight of body machines for solid organic fertilizers, their overall length, width and height. Based on this knowledge, it is planned to determine the quantitative relationship between the load capacity of machines as a resultant feature and their weight and overall length, width and height, which in the study were considered as factorial features. The initial data on the load capacity and weight of machines and their overall dimensions were selected from the Catalogs of agricultural machinery produced by enterprises in the former Soviet Union. Relevant relationships were clarified using correlation-regression analysis and standard computer programs.

Between the load capacity of machines on the one hand and their mass and size parameters on the other there is a positive correlation with correlation coefficients in the range of 0.718-0.958 with correlation ratios of the effective feature on the factorial from 0.840 to 0.925. Positive correlation coefficients indicated an increase in the load capacity of machines as their other studied parameters increased. It was found that the load capacity of machines with increasing their overall length and width increases with the corresponding exponents, and depending on the overall height and weight of the machines increases with the straight lines with positive angular coefficients.

The developed graphs of changes in load capacity of machines depending on their mass and size parameters and the corresponding model regression lines should be taken into account when designing body machines for solid organic fertilizers and organizing their use in mechanized technological processes of crop production.

solid organic fertilizers, mechanization of application, body spreaders, parameters, correlation link

Одержано (Received) 06.01.2022

Прорецензовано (Reviewed) 14.01.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 629.08

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.170-176](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.170-176)

Д.О. Макаренко, доц., канд. техн. наук, **О.Д. Деркач**, доц., канд. техн. наук,
Є.С. Муранов, асп., **М.М. Івашкович**

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

Вплив мастильних матеріалів на довговічність трибоспряжень

Викладені результати лабораторних досліджень щодо впливу мастильних матеріалів різних виробників на довговічність трибоспряжень. Дослідженнями не зафіксовано значної різниці, за середньою величиною моменту тертя, при терті в середовищі різних моторних оли. При цьому, при мащенні моторною оливою Xado зафіксовано більшу сталість моменту тертя, у порівнянні з роботою в середовищі оливи ZIC. Встановлено, що інтенсивність лінійного зносу, за умови тертя в середовищі оливи Xado на 17,7 % менша у порівнянні з мащенням оливою ZIC.

мастильні матеріали, довговічність трибоспряжень, моторна олива, інтенсивність зносу, момент тертя

Постановка проблеми. Відомо, що дві третини відмов механізмів і машин пов'язано зі зміною розмірів та форм їх трибоспряжень внаслідок зносу [1]. Тому одним із завдань при їх створенні є підвищення довговічності. До методів, що вирішують це завдання є використання змащувальних матеріалів, у тому числі спеціально оброблених [2, 3].

Сьогодні, кожен виробник моторних оли використовує певний набір присадок, які повинні забезпечувати зменшення сили тертя, захист поверхонь від корозії, відведення продуктів зносу та ін. Кожен виробник оли для двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) позиціонує свою продукцію, як еталон, що дозволяє найкраще захистити трибоспряження від інтенсивного зношування та підвищити їх довговічність. При цьому, вартість моторних оли одного класу в'язкості може суттєво відрізнятись. Тому, для визначення їх реальної ефективності необхідно виконувати дослідження за допомогою спеціального обладнання та устаткування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення довговічності механізмів і машин забезпечується: конструкторськими, технологічними та експлуатаційними методами. В деяких випадках може бути застосований симбіоз декількох методів одночасно. При цьому, кожен метод має переваги та недоліки. Розробка нових та удосконалення існуючих конструкцій трибоспряжень та систем їх захисту від зовнішнього середовища дозволяє значно підвищення довговічності [4-6]. Проте, кінцева висока вартість одержаного продукту є стримуючим фактором його широкого застосування в конструкціях механізмів та машин. Одним із шляхів підвищення довговічності трибоспряжень є нанесення зносостійких покриттів [7, 8] і зміцнення поверхневих шарів деталей гартуванням чи цементуванням [8-11]. Якість і властивості одержаних таким методом поверхонь залежать від технологічного обладнання та режимів виробництва. Крім цього, реалізація таких методів також потребує значних капіталовкладень. Крім названих методів підвищення довговічності значного розповсюдження набуло використання різноманітних змащувальних матеріалів, в тому числі спеціально оброблених [2, 12] та із уведеними в них різноманітних модифікаторів тертя [3, 13-14]. При цьому, виробники моторних оли вже зараз вводять різноманітні наповнювачі в свої продукти задля підвищення

довговічності трибоспряжень. Їх ефективність під час експлуатації ДВЗ складно оцінити. Це пов'язано з тим, що кожен індивідуальний автомобіль експлуатується за різних умов та режимів навантаження. Тому важливим та актуальним питанням залишається визначення впливу різноманітних моторних олиव на трибоспряження та їх режими роботи.

Постановка завдання. Метою досліджень є визначення впливу моторних олив на режими роботи та довговічність трибоспряжень. Для досягнення мети виконували такі завдання: визначення режимів роботи та довговічності трибоспряжень при мащенні різними оливами, обґрунтувати доцільність використання моторних олив відповідної марки.

Методики досліджень.

Дослідження трибологічних властивостей деталей трибоспряжень з при терті зі змащуванням оливою виконували на машині тертя СМТ-1 за методикою [3]. Показники потенціометра КСП-2 фіксувались на спеціальному діаграмному папері ГОСТ 7826-75. Випробування виконували за схемою «диск – колодка». Радіус зразка становив $R = 0,025$ м. Перед проведенням експериментальних досліджень виконували попереднє припрацювання поверхонь тертя трибоспряження до утворення плями контакту площею не менше 85% від площі проекції. Припрацювання виконували за таких режимів роботи: тиск – 3 МПа, лінійна швидкість ковзання – 0,785 м/с. Режими випробування: тиск 5 МПа – перші 10 хв роботи, в подальшому – 7 МПа; лінійна швидкість ковзання – 1,5 м/с.

Коефіцієнт тертя ковзання визначали за формулою:

$$f = \frac{M_{\text{кр}}}{P \cdot \Delta}, \quad (1)$$

де $M_{\text{кр}}$ – крутний момент, що виникає на диску, Н·м;

P – навантаження на зразок, Н;

Δ – крок паперу, м. Для всіх дослідів однаковий, $\Delta = 0,0025$ м.

Дослідження температури в околі тертя. Температуру трибоспряжень в околі тертя визначали за допомогою логера температури Easy Logger USB. Вказаний прилад дозволяє фіксувати температуру в безперервному автоматичному режимі до 72 годин з інтервалом 1 с. Логер налаштовувався через персональний комп'ютер, і в подальшому працював в автоматичному режимі. Після завершення фіксації температури його під'єднували знову до ПК та зчитували результати у зручному вигляді (таблиця, графік).

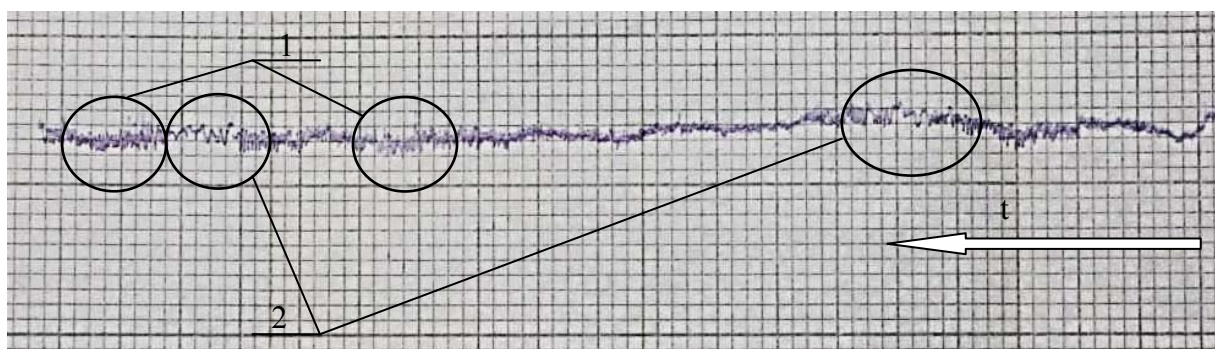
Визначення величини зносу. Величину масового зносу визначали за допомогою аналітичних терезів ВЛР-200, точність яких становила 0,0002 г. Терези обов'язково перед початком вимірювань встановлювали за рівнем горизонтально та виконували налаштування на 0 (калібрування). Визначення зносу виконували у такій послідовності: зразки протирали спиртом та зважували до випробування на тертя та знос; пари тертя після дослідження очищали від залишків мастила та повторно зважували; різницю між початковою масою (до дослідження) та кінцевою масою (після дослідження) приймали як величину зносу за масою.

Металографічні дослідження поверхонь тертя до і після тертя виконували за допомогою мікроскопу МБИ-6, обладнаного окулярною камерою, під'єднаною до персонального комп'ютера. Дослідження поверхонь виконувалось зі збільшенням $\times 400$.

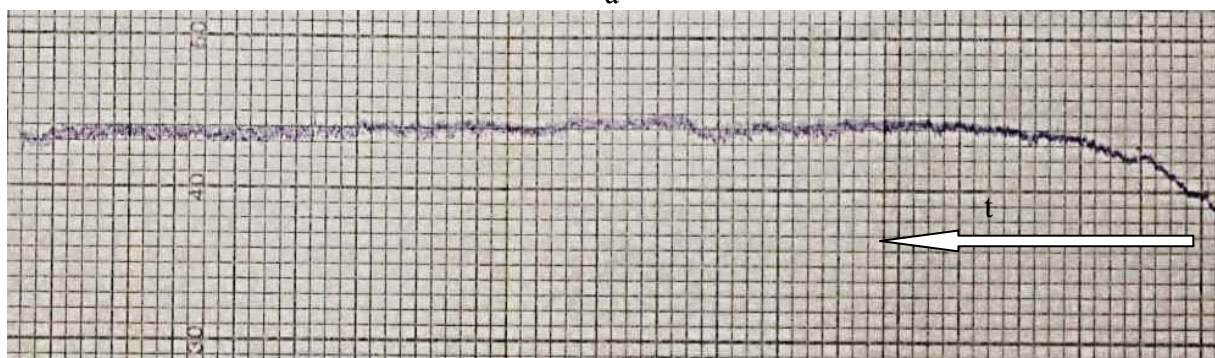
Результати лабораторних досліджень. *Дослідження трибологічних властивостей.* Зміна моменту тертя від тривалості експерименту і його характер при терті трибоспряжень в середовищі моторних олив ZIC X5 та Xado наведено на рис. 1. Характерна періодична зміна моменту тертя при змащуванні оливою ZIC X5 зони 1 та 2

рис. 1а. У зонах 1 на рис. 1а спостерігається значні протилежно направлені зміни моменту тертя. Такий режим тертя вказує на незначну здатність мастила щодо стабільності роботи при встановленому режимі тертя та може бути причиною збільшення інтенсивності зношування трибоспряження. В результаті чого можливе зменшення їх довговічності за рахунок нестабільного режиму експлуатації. У зонах 2 рис. 1а момент тертя має значну амплітуду, проте його зміна відбувається плавно. При цьому момент тертя в середній частині проведення експерименту мав більш стабільні показники, але тривалість такого режиму незначна – всього від 5 до 15 хв. Величина моменту тертя при сталому режимі становила – $1,13 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

На початку експерименту (рис. 1б) при мащенні мастилом Xado спостерігається збільшення моменту тертя, що кардинально відрізняється від результатів трибологічних досліджень мастила ZIC X5. В подальшому спостерігається поступове зменшення моменту тертя і його стабілізацію. При цьому, необхідно звернути увагу на стабільність моменту тертя без різкого та короткочасного його зменшення чи збільшення. Це дозволяє зробити висновок щодо кращого режиму тертя при використанні вказаного мастильного середовища. Середнє значення моменту тертя при сталому режимі тертя становить – $1,15 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Значної різниці за середньою величиною моменту тертя при терті з використанням різних моторних мастил не зафіксовано, проте при використанні мастила марки Xado режим тертя носив більш сталий характер.



а



б

а – мащення оливою ZIC X5, б – мащення оливою Xado

Рисунок 1 – Динаміка моменту тертя в залежності від тривалості експерименту

Джерело: розроблено автором

Дослідження температури в околі тертя. Температура в околі тертя є одним із важливих параметрів, який необхідно контролювати при роботі трибоспряжень. Під час експерименту зафіксовано декілька незначних пікових значень температури в зоні тертя при мащенні оливою ZIC X5. Зафіксована динаміка збільшення температури –

поступова, максимальне значення температури в зоні тертя – 84,5 °С. Встановлено, що максимальна температура в зоні тертя при використанні моторної оливи Xado – 90,0 °С. Динаміка зростання температури схожа із попередніми приведеними результатами – поступова.

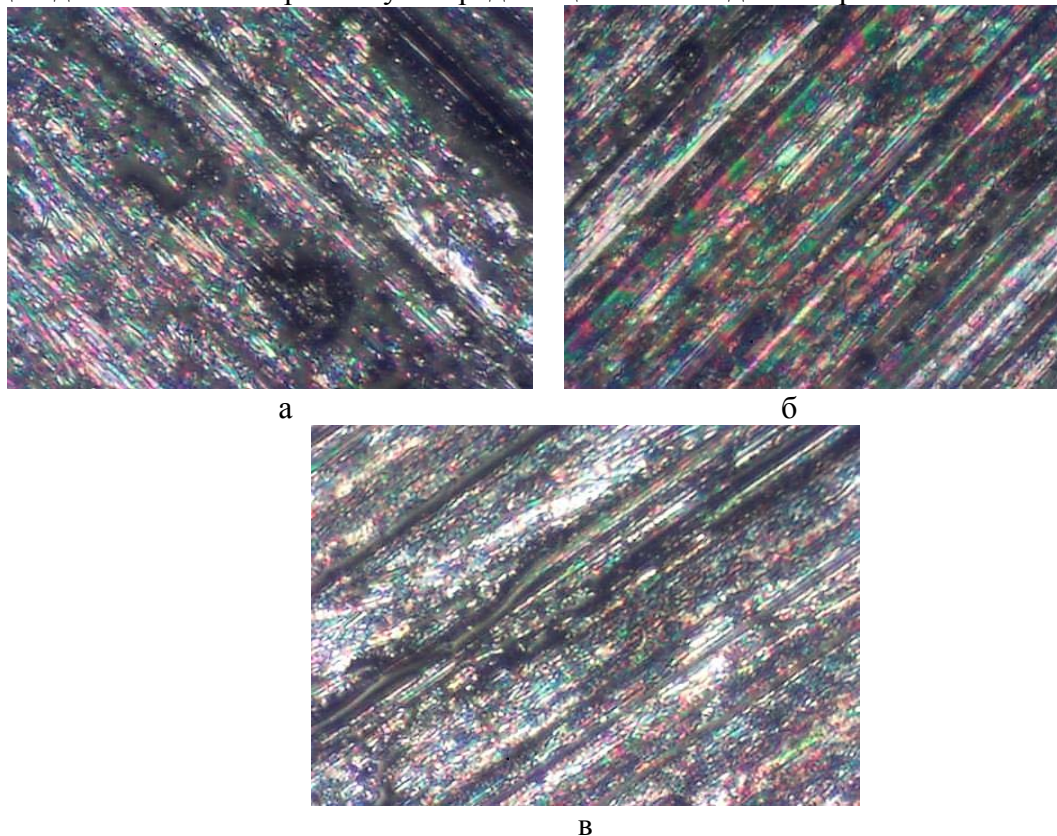
Визначення величини зносу. Встановлено, що інтенсивність лінійного зносу менша при використанні оливи Xado на 17,7 % у порівнянні з моторною оливою ZIC X5 (табл. 1). Одержані результати свідчать про можливість підвищення довговічності трибоспрямижень застосуванням моторної оливи марки Xado.

Таблиця 1 – Режими та результати дослідження величини зносу

Марка моторного мастила	Лінійна швидкість ковзання м/с	Тиск, МПа	Момент тертя (сталій режим), Н·м	Інтенсивність зносу, г/м
Zic X5(10W40)	1,5	7,0	1,13	1,97E-07
Xado (10W40)	1,5	7,0	1,15	1,62E-07

Джерело: розроблено автором

Металографічні дослідження поверхонь тертя. Мікрофото поверхонь тертя колодки до та після експерименту в середовищі олив наведено на рис. 2.



а – після притирання; б – при терті в середовищі оливи ZIC X5; в – при терті в середовищі оливи Xado
Рисунок 2 – Металографія поверхні тертя (колодка)

Джерело: розроблено автором

Аналізуючи мікрофото поверхні тертя колодки (рис. 2) до та після проведення експерименту можна зробити висновок, що кількості пошкоджень на поверхні в цілому без кардинальних змін. Однонаправлені світлі лінії є місцями безпосереднього контакту двох тіл, що труться. Темні смужки на фото – це борозни (заглиблення) на поверхні

тертя. Після проведення експерименту при мащенні моторною оливою Xado на поверхні тертя колодки зафіксовано незначні накопичення в борознах та на їх периферіях (рис 2, в). Це пояснюється присутністю у складі оливи ревіталізатору.

Висновки. Встановлено, що момент тертя при використанні обраних моторних олиг за обраних режимів тертя трибоспряження відрізняється незначно, 1,13 Н·м та 1,15 Н·м відповідно для ZIC X5 та Xado. При цьому, слід зазначити, що при мащенні моторною оливою Xado зафіксовано більшу сталість моменту тертя, у порівнянні з роботою в середовищі оливи ZIC. Інтенсивність лінійного зносу при використанні оливи Xado на 17,7 % менша у порівнянні з мащенням оливою ZIC. Встановлено, що динаміка підвищення температури – поступова, максимальні значення температури в околі тертя склали – 84,5 °C та 90,0 °C за умови мащення олиг ZIC та Xado відповідно. Таким чином, можна зробити висновок, що застосування моторної оливи Xado підвищує довговічність трибоспряжень.

Список літератури

1. Костецкий, Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. К.: Техніка, 1970. 396 с.
2. Аулін В.В., Кузик О.В., Мартиненко О.Д. Вплив модифікування композиційних моторних олиг магнітним полем на триботехнічні характеристики робочих поверхонь деталей. *Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка*. 2011. Вип. 118. С. 268-273.
3. Деркач О.Д., Харченко Б.Г., Кабат О.С., Макаренко Д.О., Міщенко Г.Я. Дослідження захисного шару, утвореного силікато-фулереновим геомодифікатором. *Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка*. 2014. Вип. 146. С. 246-250.
4. Блезнюк В.М., Гладченко В.Я., Лобанов О.П. Підвищення строку служби підшипників ковзання гичкозбиральних машин конструкторсько-технологічним методом. *Науковий вісник НУБіП України*. 2010. Вип. 144. Ч.5. С. 275-278.
5. Балицький О.І., Колесніков В.О., Еліаш Я. Дослідження руйнування ненаводнених та наводнених сплавів в умовах тертя кочення. *Проблеми тертя та зношування. наук.-техн. зб.* К.: НАУ, 2012. Вип. 58. С. 32–37. URL: <https://www.researchgate.net/publication/331516536>
6. Кусий Я.М. Науково-прикладні основи технологічного успадкування параметрів якості для забезпечення експлуатаційних характеристик виробів: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08. Нац. ун-т «Львів. Політехніка». Львів, 2021. 44 с.
7. Василенко І.Ф. Підвищення довговічності валів посівних машин композиційними покриттями. Автореферат дис. ... канд. техн. наук. Кіровоград, 2001. 16 с.
8. Аулін В.В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.04. Хмельницький, 2015. 36 с.
9. Мак-Мак Н.Е., Рябикина М.А., Чейлях А.П. Влияние цементации и закалки от различных температур на износостойкость и шероховатость изношенной поверхности конструкционных сталей. *Проблеми тертя та зношування*. 2015. Вип. 4 (69). С. 75-81.
10. Погребна Н.Е., Куцова В.З., Котова Т.В. Способы зміцнення металів: навч. посіб. Дніпро: НМетАУ, 2021. 89 с.
11. Чейлях А.П., Рябикина М.А., Мак-Мак Н.Е. Связь износостойкости, шероховатости поверхности и параметров закалки цементованных конструкционных сталей. *Вісник ПДТУ: зб. наук. праць*. 2017. Вип. 34. С. 30-39.
12. Аулін В.В. Вплив модифікуючих фізичних полів на структуру та реологічні властивості композиційної моторної оливи. *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. 2012. № 4. С. 28-33.
13. Диха О.В., Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Вплив режиму мащення на триботехнічні характеристики поверхні спряжень деталей дизелів. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*. С. 218-241.
14. Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В. Керування характеристиками і властивостями моторних олиг комбінованим модифікуванням. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 148. С. 148-155.

References

1. Kostetskyi, B.I. (1970). *Trenye, smazka i iznos v mashynakh* [Friction, lubrication and wear in machines] Kyiv: Tekhnika [in Russian].
2. Aulin V.V. & Kuzyk O.V., Martynenko O.D. (2011). Vplyv modyfikuvannya kompozytsiinykh motornykh olyv mahnitnym polem na trybotekhnichni kharakterystyky robochykh poverkhon detalei [Influence of modification of composite motor oils by magnetic field on tribotechnical characteristics of working surfaces of details]. *Visnyk KhNTUSH imeni Perta Vasylenka – Bulletin of the KhNTUSG named after Pert Vasylenko, Issue 118*, 268-273 [in Ukrainian].
3. Derkach, O.D., Kharchenko, B.H., Kabat, O.S., Makarenko, D.O. & Mishchenko, H.Ia. (2014). Doslidzhennia zakhysnoho шарu, utvorenoho sylikato-fulerenovym heomodyfikatorom [Investigation of the protective layer formed by silicate-fullerene geomodifier]. *Visnyk KhNTUSH imeni Perta Vasylenka – Bulletin of the KhNTUSG named after Pert Vasylenko, Issue 146*, 246-250 [in Ukrainian].
4. Blezniuk, V.M., Hladchenko, V.Ia. & Lobanov, O.P. (2010). Pidvyshchennia stroku sluzhby pidshypnykiv kovzannia hychkozbyralnykh mashyn konstruktorsko-tehnolohichnym metodom [Increase of service life of sliding bearings of hook-harvesting machines by a design and technological method]. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy – Scientific bulletin of NUBiP of Ukraine, Issue 144/5*, 275-278 [in Ukrainian]
5. Balytskyi, O.I., Kolesnikov, V.O. & Eliash, Ya. (2012). Doslidzhennia ruinuвання nenavodnennykh ta navodnennykh splaviv v umovakh tertia kochennia [Investigation of fracture is non hydrogenated and hydrogenated alloys under conditions of rolling friction]. *Problems of Friction and Wea – Friction and wear problems. sci. and tech. coll., Issue 58*, 32-37. <https://www.researchgate.net/publication/331516536> [in Ukrainian]
6. Kusyi, Ya.M. (2021). *Naukovo-prykladni osnovy tekhnolohichnoho uspadkuvannya parametriv yakosti dlia zabezpechennia ekspluatatsiinykh kharakterystyk vyrobiv* [Scientific and applied bases of technological inheritance of quality parameters to ensure the performance characteristics of products]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Lviv Polytechnic National University. Lviv [in Ukrainian]
7. Vasylenko, I.F. (2001) Pidvyshchennia dovhovichnosti valiv posivnykh mashyn kompozytsiinykh pokryttiamy [Increasing the durability of the shafts of sowing machines composite coatings]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kirovograd State Technical University. Kirovohrad [in Ukrainian].
8. Aulin, V.V. (2015). Trybofizychni osnovy pidvyshchennia znosostiikosti detalei ta robochykh orhaniv silskohospodarskoi tekhniki [Tribophysical bases of increase of wear resistance of details and working bodies of agricultural machinery]. *Extended abstract of of Doctor's thesis*. Kirovograd State Technical University. Kirovohrad [in Ukrainian].
9. Mak-Mak, N.E., Riabykina, M.A. & Cheiliakh, A.P. (2015). Vliyanie tsementatsii i zakalki ot razlichnykh temperatur na iznosostoykost i sherohovatost iznoshennoy poverhnosti konstruksionnykh staley. [The influence of carburizing and hardening from different temperatures on the wear resistance and roughness of the worn surface of structural steels]. *Problemy tertia ta znoshuvannya – Friction and wear problems, Issue4 (69)*, 75-81 [in Russian].
10. Pohrebna, N.E., Kutsova, V.Z. & Kotova, T.V. (2021). *Sposoby zmitsnennia metaliv* [Methods of strengthening metals]. Dnipro: NmetAU. [in Ukrainian]
11. Cheiliakh, A.P., Riabykina, M.A. & Mak-Mak, N.E. (2017). Svyaz iznosostoykosti, sherohovatosti poverhnosti i parametrov zakalki tsementovannykh konstruksionnykh staley [Relationship between wear resistance, surface roughness and hardening parameters of carburized structural steels]. *Visnyk PDTU – Bulletin of PDTU, Issue 34*, 30-39 [in Russian].
12. Aulin, V.V. (2012). Vplyv modyfikuiuchykh fizychnykh poliv na strukturu ta reolohichni vlastyvy kompozytsiinoi motornoj olyvy [Influence of modifying physical fields on the structure and rheological properties of composite motor oil]. *Problems of tribology – Problems of tribology, 4*, 28-33 [in Ukrainian]
13. Dykha, O.V., Aulin, V.V., Lysenko, S.V. & Grinkiv, A.V. (2018). Vplyv rezhymu mashchennia na trybotekhnichni kharakterystyky poverkhni spriazhen detalei dyzeliv [Influence of lubrication mode on tribotechnical characteristics of the interface surface of diesel parts]. *Innovative technologies for the development and efficiency of transport*, 218-241 [in Ukrainian]
14. Aulin, V.V., Lysenko, S.V. & Kuzyk, O.V. (2014). Keruvannya kharakterystykamy i vlastyvostiamy motornykh olyv kombinovanim modyfikuvanniam [Management of characteristics and properties of motor oils by combined modification]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainiskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transport – Collection of scientific works of the Ukrainian State Academy of Railway Transport, Issue 148*, 148-155 [in Ukrainian]

Dmytro Makarenko Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksii Derkach**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Yevhen Muranov**, post graduate, **Mykola Ivashkovich**

Dnipro State Agricultural and Economic University, Dnipro, Ukraine

Influence of Lubricants on the Durability of Tribocouples

The aim of the research is to determine the influence of motor oils on operating modes, durability of tribocouples and substantiation of expediency of use of motor oils of corresponding brands.

A study of the tribological properties of motor oils from different manufacturers. Characteristic features of friction moment change during lubrication with ZIC and Xado oils have been studied. During friction in the ZIC oil environment, significant oppositely directed changes in the moment of friction (oscillation) were recorded, which indicates an unstable friction mode. At the beginning of the experiment, a gradual increase in the friction moment when lubricating tribocouples with Xado oil was recorded. Studies of the dynamics of temperature in the friction zone depending on the lubricating medium are performed. It was found that the maximum temperature in the friction zone was when using Xado and ZIC engine oil - 90.0 °C and 84.5 °C, respectively. The value of wear intensity of steel-steel tripods depending on the engine oil of different manufacturers is determined. An analysis of micrographs of surfaces before and after the experiment was performed. It is established that the amount of damage to the surface friction as a whole without drastic changes. Unidirectional light lines are the places of direct contact between two friction bodies. After the experiment with lubrication with Xado engine oil on the friction surface of the pad recorded minor accumulations in the grooves and on their peripheries.

It was found that the moment of friction when using the selected motor oils for the selected modes of friction of the tribocouples differs slightly, 1.13 N · m and 1.15 N · m, respectively, for ZIC X5 and Xado. At the same time, it should be noted that when lubricating with Xado engine oil, a higher constancy of the friction moment was recorded, compared to working in ZIC oil environment. It is established that the dynamics of temperature rise is gradual. The intensity of linear wear when using Xado oil is 17.7% lower compared to lubrication with ZIC oil. Thus, it can be concluded that the use of Xado motor oil can increase the durability of tribocouples.

lubricants, durability of tribocouples, engine oil, wear intensity, friction moment

Одержано (Received) 10.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 18.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 631.36

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.176-185](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.176-185)

Е. Б. Алієв, проф., д-р техн. наук, ст.досл., **М. О. Лінко**, асп.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

e-mail: niklinko21@gmail.com

О. Ю. Алієва, наук. співр.

Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України, м. Запоріжжя, Україна

e-mail: aliev@meta.ua

Симуляція процесу експандованого приготування кормів

Процес формування експандатів в експандері з точки зору фізики процесу зводиться до пресування суміші твердої (зернові компоненти), рідкої (у вигляді вологи) і газоподібної (пар) фаз шнековим робочим органом крізь формуючу насадку під дією зовнішнього джерела тепла. З точки зору математичного описання, зазначений процес є складним і тому його можна описати комп'ютерними методами моделювання. Проведена симуляція процесу експандованого приготування кормів в програмному пакеті Star CCM+ дає передумови для обґрунтування діапазону раціональних параметрів експандера.

корм, експандати, моделювання, симуляція, тиск, швидкість, щільність

© Е.Б. Алієв, М.О. Лінко, О.Ю. Алієва, 2022

Постановка проблеми. Експандоване приготування кормів здійснюється на відповідному високотемпературного короткочасного обладнанні сімейства HTST – експандерах, які здатні виконувати завдання приготування харчових продуктів і кормів під високим тиском. Окрім хімічних процесів, які відбуваються під час експандування (денатурації білків, амінокислот, вітамінів, крохмалю і ферментів), спостерігається зміна фізико-механічних властивостей компонентів корму і перетворення їх у експандати [1]. Так фізико-технологічні аспекти, як теплопередача, масообмін, передача імпульсу, тиск, час дії температури мають сильний вплив на властивості харчових продуктів і кормів під час експандованого приготування та можуть суттєво вплинути на якість кінцевого продукту [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання експандерів на лінії переробки кормових гранул має багато переваг, найважливішими з яких є [3]:

- покращення поживності корму (краща конверсія корму);
- більш ефективне використання сировини низької якості або навіть відходів;
- стерилізація бактеріологічно заражених матеріалів;
- кращий контроль подачі рідких добавок;
- зниження енергоспоживання пелетного преса;
- підвищення продуктивності пелетного преса;
- розширення асортименту продукції;
- можливість використання волокнистих матеріалів;
- зниження викидів пилу та втрат під час гранулювання.

Недоліком вищезгаданого рішення є подвійні витрати пари та більші витрати енергії у порівнянні із застосуванням простого гранулювання.

Застосування експандерів, як автономного пристрою може дати наступні результати [1]:

- більша модифікація крохмалистих інгредієнтів;
- знижені антихарчові фактори в продукті;
- можлива агломерація продукту;
- підвищення харчової цінності переробленої сировини.

Процес формування експандатів в експандері з точки зору фізики процесу зводиться до пресування суміші твердої (зернові компоненти), рідкої (у вигляді вологи) і газоподібної (пар) фаз шнековим робочим органом крізь формуючу насадку під дією зовнішнього джерела тепла. З точки зору математичного описання, зазначений процес є складним і тому його можна описати комп'ютерними методами моделюванням.

Найбільш відомі програмні пакети, для розрахунків за допомогою чисельних методів моделювання є AMBER, CHARMM, GROMACS, GROMOS, NAMD, Chute Maven (Hustrulid Technologies Inc.), PFC2D і PFC3D, EDEM (DEM Solutions Ltd.), GROMOS 96, ELFEN, MIMES, PASSAGE, Star CCM+ [4-5].

Аналізуючи можливості зазначених програмних пакетів для поставленої задачі симуляції формування агломератів (експандатів) в експандері було обрано Star CCM+. Star CCM+ – перший продукт, в якому реалізований спільний DEM-CFD функціонал, включено безліч опцій для моделювання мультифазної течії, з високим ступенем точності моделювати всі види теплопереносу в рідких і твердих середовищах з використанням спеціальних моделей конвекції, теплопровідності і випромінювання [6-7].

Постановка завдання. Метою досліджень є розробка і апробація методики симуляції процесу експандованого приготування кормів в програмному пакеті Star CCM+¹.

¹ В дослідженнях використовувалося програмне забезпечення «Simcenter STAR-CCM+ Academic Pack»,

Виклад основного матеріалу. Узагальнена конструктивно-технологічна схема експандера приведена на рис. 1. Основними елементами експандера є: циліндр, гвинт, горловина для подачі, формуюча насадка, нагрівач, патрубки для подачі пару. Експандер працює наступним чином. Компоненти корма подаються у горловину для подачі і потрапляють в порожнину між гвинтом і циліндром. Гвинт виконаний із змінним кроком і діаметром спіралі. В процесі руху компоненти корма ущільнюються, обробляються паром через відповідні патрубки і нагріваються з використанням нагрівача. Після ущільнення корм проходить крізь отвори формуючої насадки утворюючи відповідні агломерати – експандати. Коли експандати виходять з формуючої насадки, вони розширюються в результаті швидкого випаровування води, через різке падіння тиску. Час перебування всередині експандера становить 5–10 с при температурі 130–170 °С, при виході з матриці температура швидко зменшується до 90 °С. Після завершення цього процесу суміш поміщають в горизонтальну сушарку-оохолоджувач на 10 хв, протягом яких температуру знижують до 20–24 °С відповідно до температури навколишнього середовища.

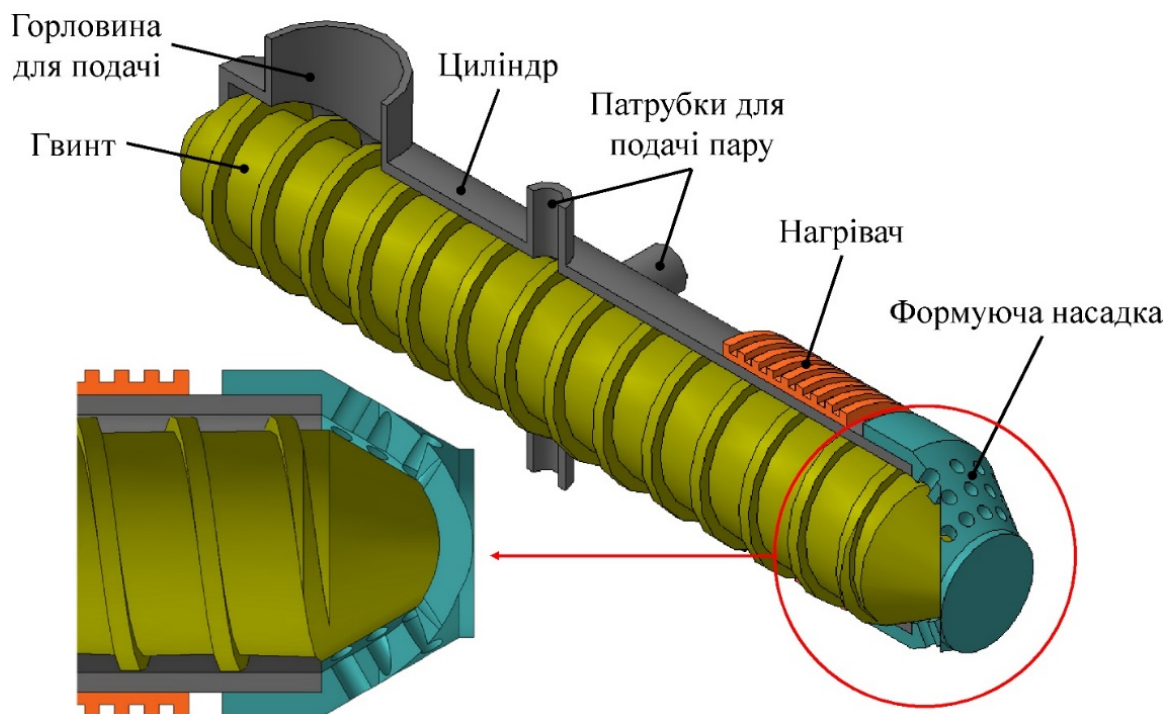


Рисунок 1 – Узагальнена конструктивно-технологічна схема експандера

Джерело: розроблено авторами

Для проведення моделювання була побудована сітка 3D моделі експандера з використанням генератора поверхневої сітки, багатограних комірок і екструдера комірок. Геометричні розміри і згенерована сітка із базовим розміром комірки 0,005 м приведено на рис. 2. Геометричні розміри елементів експандера обрані з праведного аналізу існуючих конструкції [8-9] з урахування їх мінімізації для відтворення малогабаритного лабораторного обладнання.

Моделювання проводилися із застосуванням градієнтів у тривимірному просторі, моделі руху розділеної течії багатофазної ейлерової суміші (ММР) з використанням допустимої двошарової k-ε-моделі турбулентності і багатофазного рівняння стану.

власником ліцензії якої є Дніпровський державний аграрно-економічний університет.

Симуляція є нестационарною неявною. Теплопровідні процеси підпорядковувалися моделі розділеної багатозфазної температури. Моделювання проводилося в полі сили тяжіння. Вектор сили тяжіння є наступним – $(0; 0; -9,81) \text{ м/с}^2$.

Компоненти корма були прийняті у трьох фазах: тверде (суцільне), рідина (вологість), газ (пар). Тверда фаза була представлена вкрапленням твердих (суцільних частинок) з наступними фізичними властивостями: щільність – 800 кг/м^3 ; коефіцієнт теплопровідності – $0,285 \text{ Вт/(м·К)}$; коефіцієнт питомої теплоємності – $2404,6 \text{ Дж/(кг·К)}$. Рідка фаза мала фізичні властивості води, а саме: динамічна в'язкість – $8,88 \cdot 10^{-4} \text{ Па·с}$; щільність – 997 кг/м^3 ; коефіцієнт теплопровідності – $0,620 \text{ Вт/(м·К)}$; коефіцієнт питомої теплоємності – $4181,7 \text{ Дж/(кг·К)}$. Газоподібна фаза мала фізичні властивості пари, а саме: динамічна в'язкість – $1,267 \cdot 10^{-5} \text{ Па·с}$; коефіцієнт теплопровідності – $0,025 \text{ Вт/(м·К)}$; коефіцієнт питомої теплоємності – $1938,2 \text{ Дж/(кг·К)}$. Співвідношення об'ємних часток були прийняті постійними: тверда фаза – $0,5$, рідка фаза – $0,45$, газоподібна фаза – $0,05$. Початкова температура компонентів кормів – $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Абсолютний тиск навколишнього середовища – $101,325 \text{ кПа}$. Фазова взаємодія реалізована на основі моделі MMR-MMP.

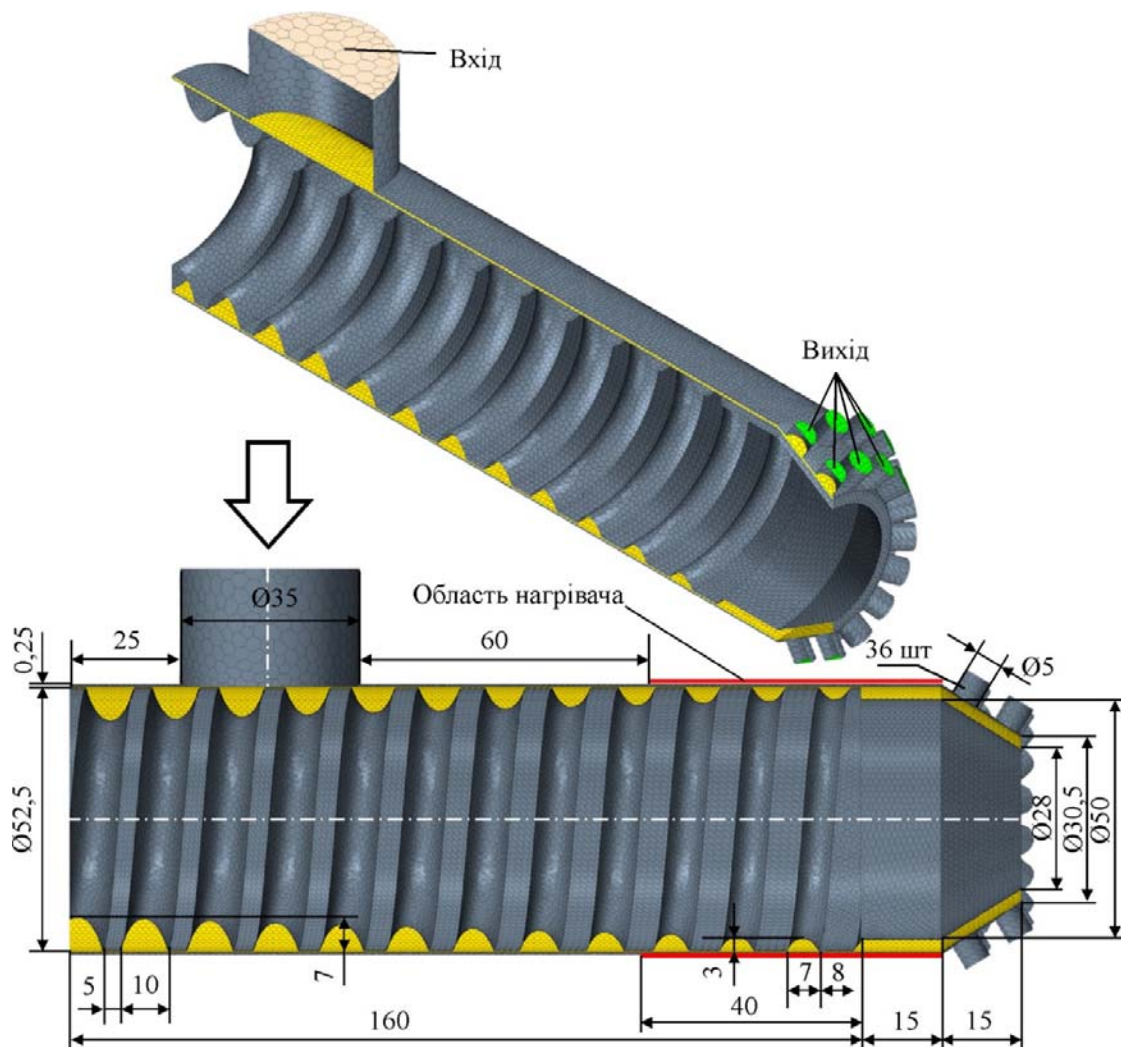


Рисунок 2 – Сітка 3D моделі експандера в Star CCM+

Джерело: розроблено авторами

Граничні параметри обрані наступні. Верхня площина горловини (вхід) для подачі представлена моделлю масового потоку суміші, яка поступає до гвинта самопливом під дією сили тяжіння. Отвори формуючої насадки (вихід) представлені вільним потоком суміші, фізичні параметри якого формуються як результат моделювання. Область нагрівача має постійну температуру 200 °С.

Гвинт обертається навколо власною осі з постійною частотою – 60 об/хв.

Вирішувач в Star CCM+ обрано нестационарний неявний із кроком за часом – 0,01 с. Дискретизація за часом першого порядку. Максимальне число ітерацій за одиницю часу – 10, що забезпечую необхідну збіжність результату. Час симуляції – 60 с.

В результаті проведеної симуляції роботи експандера отримано розподіл тиску (відносно атмосферного) в порожнині між гвинтом і циліндром (рис. 3). З рис. 3 наочно видно, що тиск збільшується по осі гвинта в напрямку переміщення багатофазної суміші. Збільшення тиску пояснюється зменшенням об'єму порожнини вздовж осі гвинта. На виході з отворів формуючої насадки значення тиску складає $3,82 \pm 0,06$ МПа.

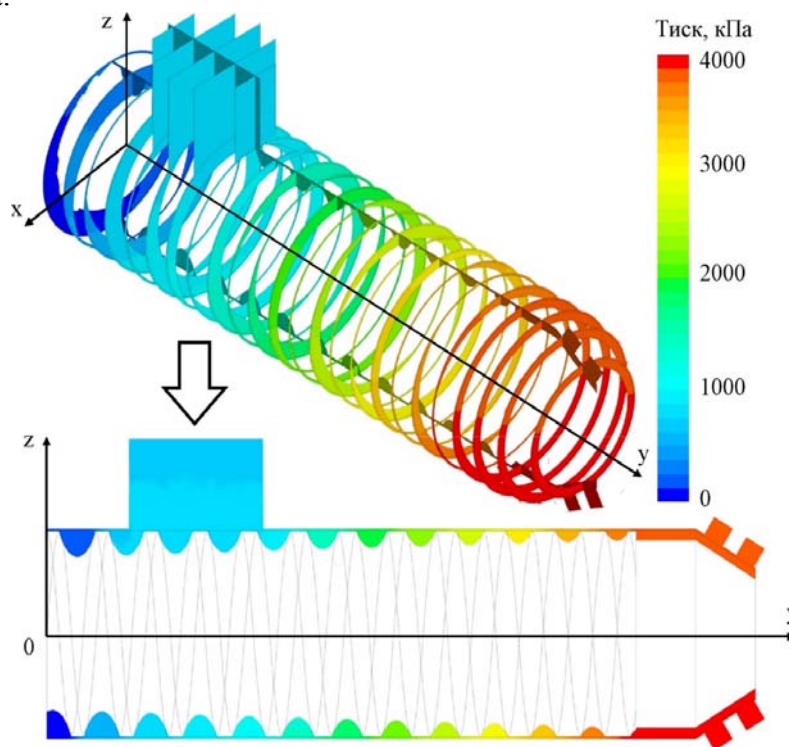


Рисунок 3 – Розподіл тиску (відносно атмосферного) в порожнині між гвинтом і циліндром експандера
Джерело: розроблено авторами

В результаті проведеної симуляції роботи експандера отримано розподіл щільності суміші фаз в порожнині між гвинтом і циліндром (рис. 4). Ущільнення багатофазної суміші пропорційне збільшенню тиску в порожнині між гвинтом і циліндром експандера. Так на виході з отворів формуючої насадки значення щільності суміші є найбільшою і складає 892 ± 5 кг/м³.

В результаті проведеної симуляції роботи експандера отримано векторне поле (рис. 5) і лінії потоку багатофазної суміші в порожнині між гвинтом і циліндром (рис. 6). Дані візуалізації наочно показують рух багатофазної суміші під дією обертання гвинта. Найбільша швидкість складає $0,157 \pm 0,005$ м/с, середня швидкість – $0,113 \pm 0,005$ м/с. З рис. 6 видно, що швидкість виходу сформованих експандатів

зменшується до $0,021 \pm 0,003$ м/с. Враховуючи загальну площу отворів ($36 \text{ шт.} \cdot 3,14 \cdot (0,005 \text{ м}/2)^2 = 0,0007065 \text{ м}^2$) отримуємо теоретичну об'ємну продуктивність $0,021 \text{ м/с} \cdot 0,0007065 \text{ м}^2 = 0,0007065 \text{ м}^3/\text{с} = 0,0534114 \text{ м}^3/\text{год}$, або в перерахунку на теоретичну масову продуктивність (враховуючи щільність згідно рис. 4) $892 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,0534114 \text{ м}^3/\text{год} = 47,64 \text{ кг/год}$.

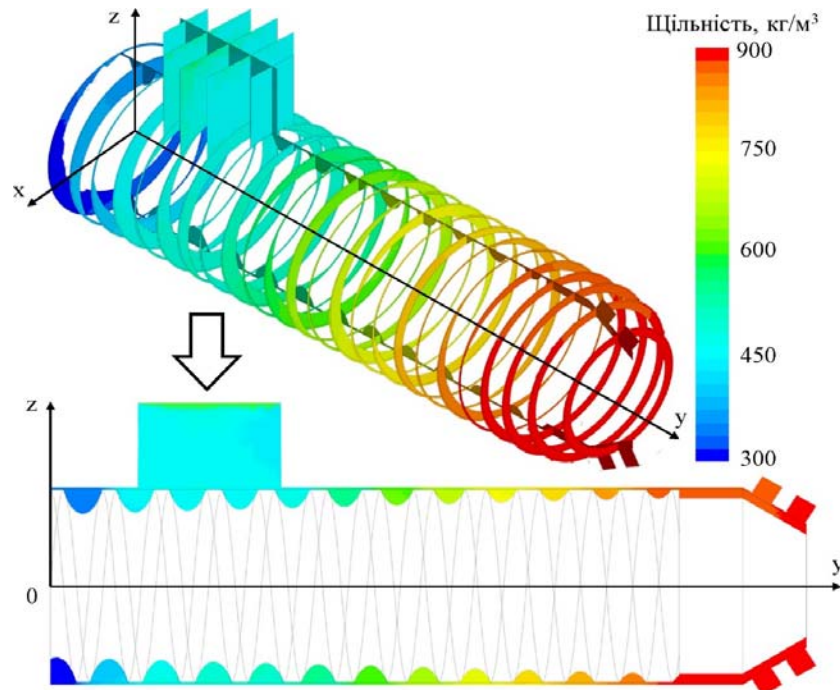


Рисунок 4 – Розподіл щільності суміші фаз в порожнині між гвинтом і циліндром експандера
Джерело: розроблено авторами

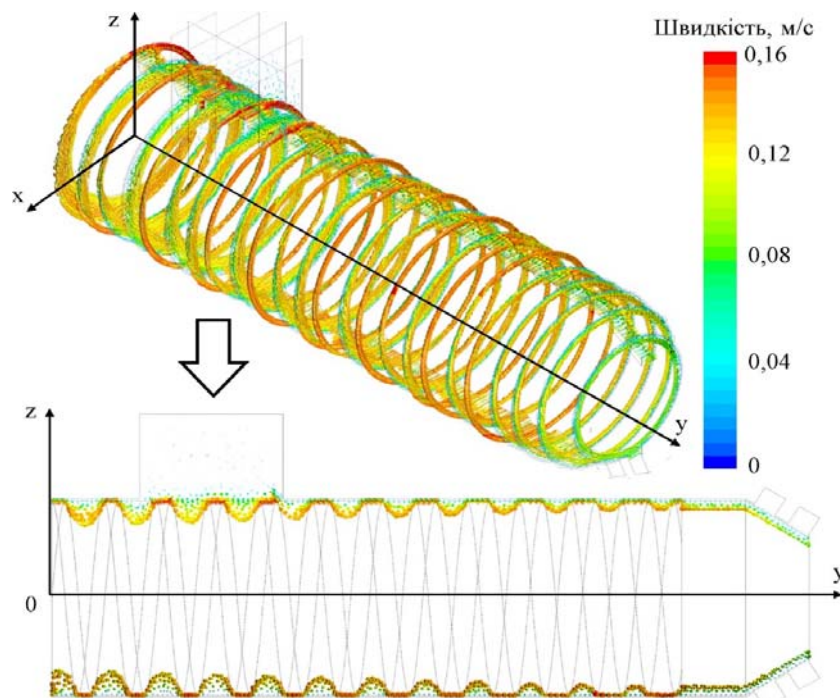


Рисунок 4 – Векторне поле суміші фаз в порожнині між гвинтом і циліндром експандера
Джерело: розроблено авторами

Рис. 6 демонструє лінії потоку багатофазної суміші. Турбулентний потік створюється за рахунок обертання гвинта навколо власної осі. Поступове ущільнення багатофазної суміші призводить до зменшення швидкості переміщення через збільшення сил опору і в'язкого тертя.

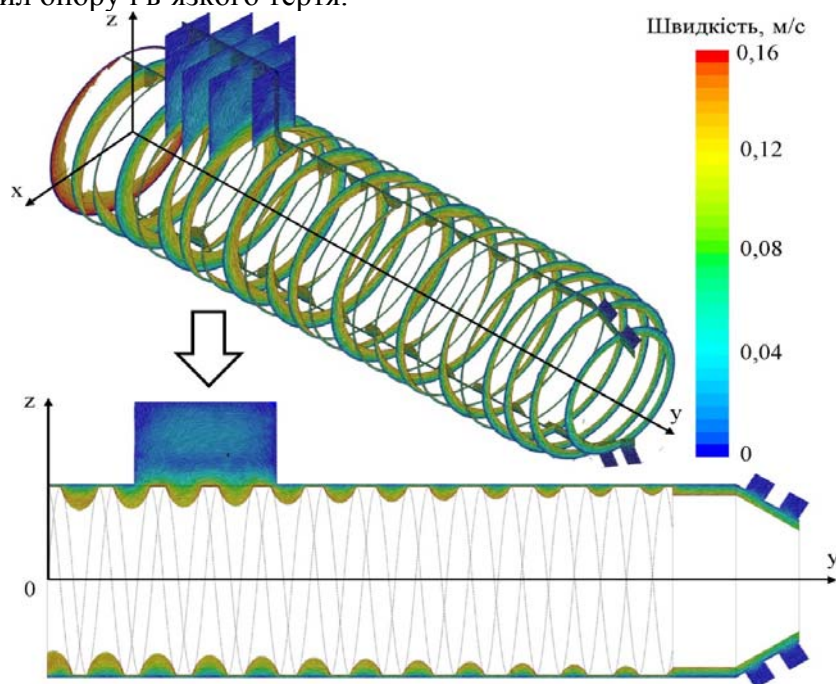


Рисунок 6 – Лінії потоку суміші фаз в порожнині між гвинтом і циліндром експандера
Джерело: розроблено авторами

В результаті проведеної симуляції роботи експандера отримано розподіл температури суміші фаз в порожнині між гвинтом і циліндром (рис. 7).

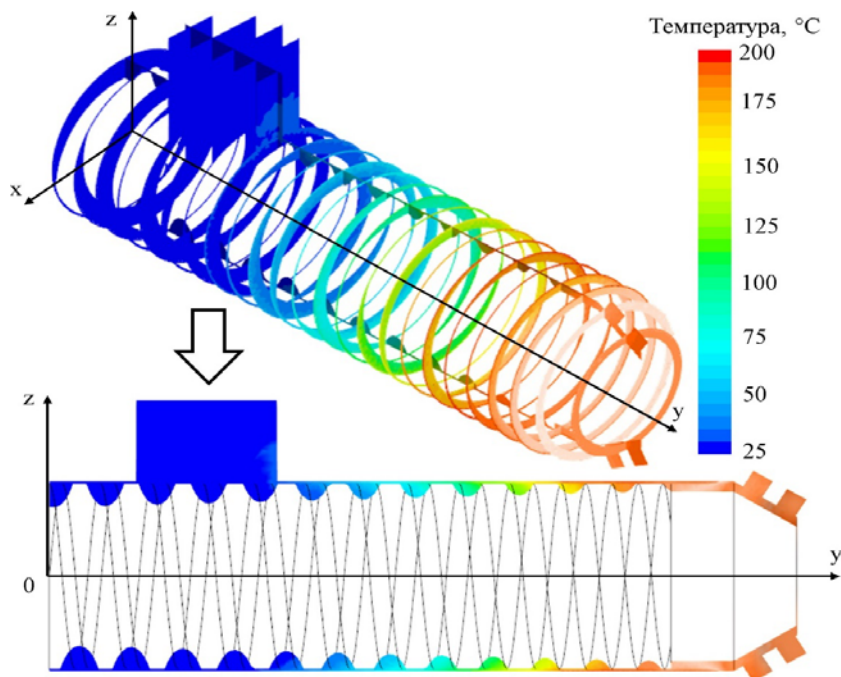


Рисунок 7 – Розподіл температури суміші фаз в порожнині між гвинтом і циліндром експандера
Джерело: розроблено авторами

Температурне поле багатофазної суміші виникає внаслідок тертя суміші о стінки циліндри і його стискання. Окрім цього в зоні нагрівача спостерігається значне підвищення температури в наслідок явища теплопровідності. Середня температура багатофазної суміші складає 154 ± 5 °С. Температура сформованих експандатів на виході складає 146 ± 4 °С.

Висновки. Проведена симуляція процесу експандованого приготування кормів в програмному пакеті Star CCM+ дає передумови для обґрунтування діапазону раціональних параметрів експандера. Симуляція роботи експандера дає змогу визначати в якості критеріїв досліджень: тиск в порожнині між гвинтом і циліндром експандера, щільність отриманих експандатів, продуктивність експандера, температурне скалярне поле і векторне поле швидкостей багатофазної суміші. В якості факторів досліджень слід обрати: співвідношення фаз багатофазної суміші, частоту обертання гвинта, температуру нагрівача, діаметр, довжину і крок гвинта.

Список літератури

1. Huimin, Li The effect of expanded and extruded process on pellets physical properties and in sacco rumen degradability: Master's Thesis. Department of Animal and Aquacultural Sciences Faculty of Biosciences, 2021. 40 p.
2. Guy, R (2001). Extrusion Cooking. Technologies and Applications. CRC Press Inc. Boca Ration. FL. 2001. 206 p.
3. Moscicki, L., Mitrus, M., Wojtowicz, A. Technika ekstruzjiw przetworstwie rolno-spo zywczym (in Polish). PWRiL. Warszawa, 2007. 222 p.
4. Aliev, E. B., Bandura, V. M., Pryshliak, V. M., Yaropud, V. M., Trukhanska, O. O. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 54, Nr. 1. P. 95-104.
5. Алієв Е. Б., Лабатюк Ю. М. Чисельне моделювання механіко-технологічних процесів агропромислового виробництва. Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві: *Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2017. Вип. 180. С. 67-71.
6. Алієв Е. Б., Пацула О. М., Гриценко В. Т. Технологія комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних повноцінних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива: Науково-методичні рекомендації. Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. Електронний аналог друкованого видання (електронна книга). Запоріжжя: СТАТУС, 2017.
7. Алієв Е. Б. Фізико-математичні моделі процесів прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику: монографія. Запоріжжя: СТАТУС, 2019. 196 с.
8. Moscicki L. Effect of screw configuration on quality and SME value of corn extrudate. *Teka Commission of Motorization Power Industry in Agriculture*. 2003. Vol. III. P. 182–186.
9. Сапа В. Ю. Совершенствование конструктивно-режимных параметров экспандера. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность: 05.20.01 - Технологии и средства механизации сельского хозяйства. ФГОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет», 2009. 161 с.

Referencis

1. Huimin, Li (2021). The effect of expanded and extruded process on pellets physical properties and in sacco rumen degradability: Master's Thesis. Department of Animal and Aquacultural Sciences Faculty of Biosciences. 40 p. [in English].
2. Guy, R (2001). *Extrusion Cooking. Technologies and Applications*. CRC Press Inc. Boca Ration. FL. 2001. 206 p. [in English].
3. Moscicki, L., Mitrus, M., Wojtowicz, A. (2007). Technika ekstruzji w przetworstwie rolno-spożywczym (in Polish). PWRiL. Warszawa. 222 p. [in English].
4. Aliiev, E. B., Bandura, V. M., Pryshliak, V. M., Yaropud, V. M., Trukhanska, O. O. (2018). Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. *INMATEH – Agricultural Engineering. Vol. 54, Nr. 1*. P. 95-104. [in English].
5. Aliiev, E.B., Labatyuk, Yu. M. (2017). *Chysel'ne modelyuvannya mekhaniko-tekhnolohichnykh protsesiv ahropromyslovoho vyrobnytstva [Numerical modeling of mechanical and technological processes of agro-industrial production]*. Modern problems of improving technical systems and technologies in animal husbandry: Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko. Kharkiv, 2017. Issue. 180. pp. 67-71. [in Ukrainian].
6. Aliiev, E. B., Patsula, O. M., Gritsenko, V.T. (2017). *Tekhnolohiya kompleksnoyi bezvidkhidnoyi pererobky makukhy z nasinnya oliynykh kul'tur z oderzhannyam vysokoyakisnykh povnotsinnykh proteyinovykh dobavok u vyhlyadi pelet ta tverdoho biopalyva: Naukovo-metodychni rekomendatsiyi. [Technology of complex waste-free processing of cake from oilseeds with obtaining high-quality full-fledged protein supplements in the form of pellets and solid biofuels: Scientific and methodological recommendations]*. Institute of Oilseeds of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. Electronic analogue of the printed edition (e-book). Zaporozhye: STATUS. [in Ukrainian].
7. Aliiev, E.B. (2019). *Fizyko-matematychni modeli protsesiv pretsyziynoyi separatsiyi nasinnyevoho materialu sonyashnyku: monohrafiya [Physico-mathematical models of processes of precision separation of sunflower seed material: monograph]*. Zaporozhye: STATUS. [in Ukrainian].
8. Moscicki, L. (2003). Effect of screw configuration on quality and SME value of corn extrudate. *Teka Commission of Motorization Power Industry in Agriculture. Vol. III*. P. 182–186 [in English].
9. Sapa, V. Y. (2009). *Sovershenstvovaniye konstruktivno-rezhimnykh parametrov ekspandera [Improving the design and regime parameters of the expander]*. Candidate's thesis. FGOU VPO "Orenburg State Agrarian University" [in Russian].

Elchyn Aliiev, Prof., DSc. Senior Researcher, **Mykolay Linko**, post-graduate

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Olga Aliieva, Researcher

Institute of Oilseeds of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Zaporizhia, Ukraine

Simulation of the Process of Expanded Feed Preparation

Expanded feed preparation is carried out on the appropriate high-temperature short-term equipment of the HTST family - expanders, which are able to perform the task of cooking food and feed under high pressure. In addition to the chemical processes that occur during expansion (denaturation of proteins, amino acids, vitamins, starch and enzymes), there is a change in the physical and mechanical properties of feed components and their transformation into expands.

From the point of view of process physics, the process of expander formation in the expander is reduced to pressing a mixture of solid (grain components), liquid (in the form of moisture) and gaseous (vapor) phases by a screw working body through a forming nozzle under the action of an external heat source. From the point of view of mathematical description, this process is complex and therefore can be described by computer simulation. Analyzing the capabilities of these software packages for the task of simulating the formation of agglomerates (expanders) in the expander was chosen Star CCM +.

The simulation of the process of expanded feed preparation in the software package Star CCM + provides the prerequisites for justifying the range of rational parameters of the expander. The simulation of the expander operation allows to determine as research criteria: the pressure in the cavity between the screw and the cylinder of the expander, the density of the obtained expands, the performance of the expander, the temperature scalar field and the velocity field vector of the multiphase mixture. As research factors should be chosen: the

phase ratio of the multiphase mixture, the speed of rotation of the screw, the temperature of the heater, diameter, length and pitch of the screw.

feed, expands, modeling, simulation, pressure, speed, density

Одержано (Received) 10.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 18.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 621.33

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.186-194](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.186-194)

Ів.Б. Гевко, проф., д-р техн. наук, **Р.М. Рогатинський**, проф., д-р техн. наук, **О.Л. Ляшук**, проф., д-р техн. наук, **М.Г. Левкович**, доц., канд. техн. наук, **В.О. Тесля**, канд. техн. наук

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

e-mail: geckoivan1@ukr.net

Структурний синтез кузова напівпричепа вантажного автомобіля з техніко-економічним обґрунтуванням

У результаті проведеного синтезу кузовів напівпричепів вантажних автомобілів методом морфологічного аналізу з використанням ієрархічного групування отримано прогресивні інженерні рішення по створенню конструкцій з покращеними техніко-економічними характеристиками шляхом аналізу впливу різних факторів на конструктивні особливості. Дані дослідження базуються на основі напружено – деформованому стані (НДС) інженерного аналізу Simulation спеціалізованого програмного комплексу SolidWorks на CAD - моделі кузова напівпричепа вантажного автомобіля.

синтез, кузов, борт, конструкція, ребро жорсткості

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Синтезу машинобудівних конструкцій присвячена значна кількість праць таких вчених, як Г.С.Альтшуллер [1], А.В.Андрейчиков [2], Б.І. Кіндрацький [3], Ю.М. Кузнецов [4], В.М. Одрін та С.С. Картавов [6], А.І. Половінкін [7] та багатьох інших. Проте питанням синтезу кузовів вантажних автомобілів виходячи з позиції техніко-економічної доцільності отримання їх ефективних конструкцій на даний час недостатньо приділено уваги, що зумовлює потребу в подальших дослідженнях.

Постановка завдання. Метою роботи є проведення синтезу кузовів напівпричепів вантажних автомобілів методом морфологічного аналізу з використанням ієрархічного групування для отримання конструкцій з покращеними техніко-економічними характеристиками.

Виклад основного матеріалу. Для пошуку нових ідей по створенню прогресивних конструкцій кузовів напівпричепів вантажних автомобілів використано модифікований варіант морфологічного аналізу [4], а саме, метод синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу [8]. Він дозволив отримати певну кількість рішень при проведенні генерування альтернатив на окремих ієрархічних рівнях у межах окремих конструктивних ознак елементів системи.

У результаті проведеного аналізу впливу різних факторів на конструктивні особливості кузовів напівпричепів вантажних автомобілів шляхом структурно-схемного синтезу із застосуванням морфологічного аналізу [4] було визначено обмежену кількість конструктивних ознак елементів та зв'язків між ними, на основі чого складено морфологічну матрицю у вигляді таблиці 1. Обрані наступні основні морфологічні ознак (табл. 1): борти кузова, задній борт кузова, дно кузова, рама кузова, ребра жорсткості, верхня частина кузова (поперечини). Даний варіант морфологічної моделі отримано внаслідок виділення функціонально важливих елементів з метою спрощення моделі, що дозволить мінімізувати кількість генерованих варіантів.

При використанні запропонованого методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу морфологічну модель кузова напівпричепа вантажного автомобіля (КНВА) (табл. 1) можна представити у вигляді морфологічної матриці, де кількість варіантів визначатиметься по формулі [8]:

$$N_1 = \sum_{z=1}^l \sum_{x=1}^q \prod_{i=1}^m K_i, \quad (1)$$

де z – ієрархічний рівень;

l – кількість ієрархічних рівнів;

x – певна підгрупа відповідного ієрархічного рівня;

q – кількість підгруп відповідного ієрархічного рівня;

K_i – альтернатива конструктивної ознаки елементу певної підгрупи відповідного ієрархічного рівня;

m – кількість альтернатив конструктивної ознаки елементів певної підгрупи відповідного ієрархічного рівня.

Згідно запропонованого групування до першого ієрархічного рівня моделі механічної системи «Кузов напівпричепа вантажного автомобіля» (рис. 1) слід віднести такі конструктивні елементи: 3 – товщина листа борта, 5 – геометрична форма бортового листа (рис. 2), 7 – компоновка ребер жорсткості на борті (рис. 3), 14 – основа осі кузова для підвищення жорсткості дна кузова; до другого ієрархічного рівня: 1 – конструкція борта, 8 – геометрична конфігурація ребер жорсткості (рис. 4), 11 – форма ребер жорсткості дна кузова, 12 – тип з'єднання на основі дна кузова, 13 – компонування ребер жорсткості дна кузова (рис. 6); до третього ієрархічного рівня: 2 – розміщення бортових листів (рис. 5), 4 – технологічні отвори для зменшення напруження при розвантаженні, 6 – основа борта (косинці), 9 – конструкція заднього борта, 10 – кріплення до осі кузова, 15 – наявність верхньої частини кузова (поперчин), 16 – профіль верхньої частини кузова (поперчин), 17 – спосіб з'єднання.

N_{KHBA}	$N_{KBHA} = \sum_{z=1}^l \sum_{x=1}^q \prod_{i=1}^m K_i = 97.$
I(1) II(1) III(1) IV(1)	I(1)3 ₁ , I(1)3 ₂ , I(1)3 ₃ II(1)5 ₁ , II(1)5 ₂ , II(1)5 ₃ , II(1)5 ₄ , II(1)5 ₅ , II(1)5 ₆ , II(1)5 ₇ , II(1)5 ₈ III(1)7 ₁ , III(1)7 ₂ , III(1)7 ₃ , III(1)7 ₄ , III(1)7 ₅ , III(1)7 ₆ , III(1)7 ₇ , III(1)7 ₈ , III(1)7 ₉ , III(1)7 ₁₀ IV(1)14 ₁ , IV(1)14 ₂ , IV(1)14 ₃ , IV(1)14 ₄
I(2) II(2) III(2)	I(2)1 ₁ , I(2)1 ₂ , I(2)1 ₃ , I(2)1 ₄ II(2)8 ₁ , II(2)8 ₂ , II(2)8 ₃ , II(2)8 ₄ , II(2)8 ₅ , II(2)8 ₆ , II(2)8 ₇ , II(2)8 ₈ III(2)11 ₁ , III(2)11 ₂ , III(2)11 ₃ , III(2)11 ₄ , III(2)11 ₅ III(2)12 ₁ , III(2)12 ₂ III(2)13 ₁ , III(2)13 ₂ , III(2)13 ₃ , III(2)13 ₄
I(3) II(3) III(3) IV(3) V(3) VI(3) VII(3) VIII(3)	I(3)2 ₁ , I(3)2 ₂ , I(3)2 ₃ II(3)4 ₁ , II(3)4 ₂ III(3)6 ₁ , III(3)6 ₂ , III(3)6 ₃ IV(3)9 ₁ , IV(3)9 ₂ V(3)10 ₁ , V(3)10 ₂ VI(3)15 ₁ , VI(3)15 ₂ VII(3)16 ₁ , VII(3)16 ₂ , VII(3)16 ₃ , VII(3)16 ₄ VIII(3)17 ₁ , VIII(3)17 ₂

Рисунок 1 – Модель механічної системи «Кузов напівпричепа вантажного автомобіля»:

I - VIII – підгрупи ієрархічного рівня; (1) - (3) – відповідні ієрархічні рівні

Джерело: розроблено авторами

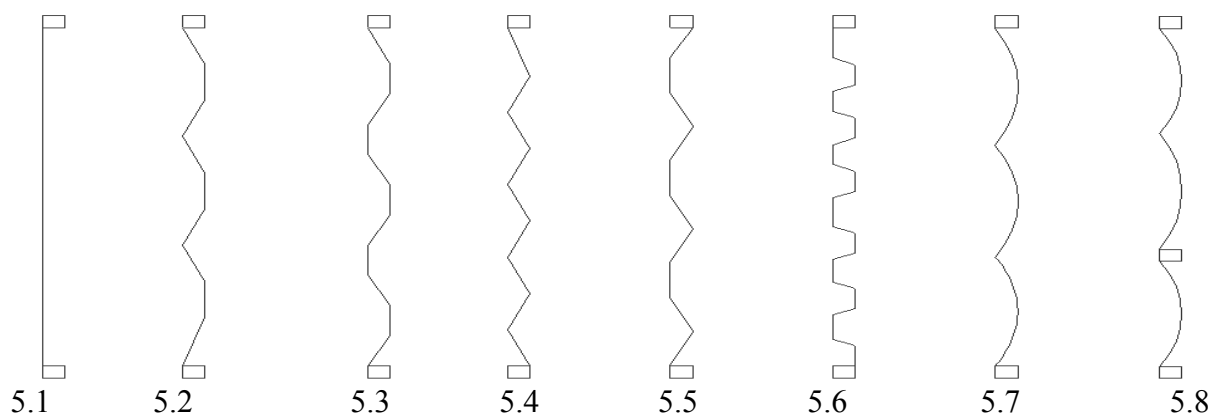


Рисунок 2 – Геометрична форма бортового листа

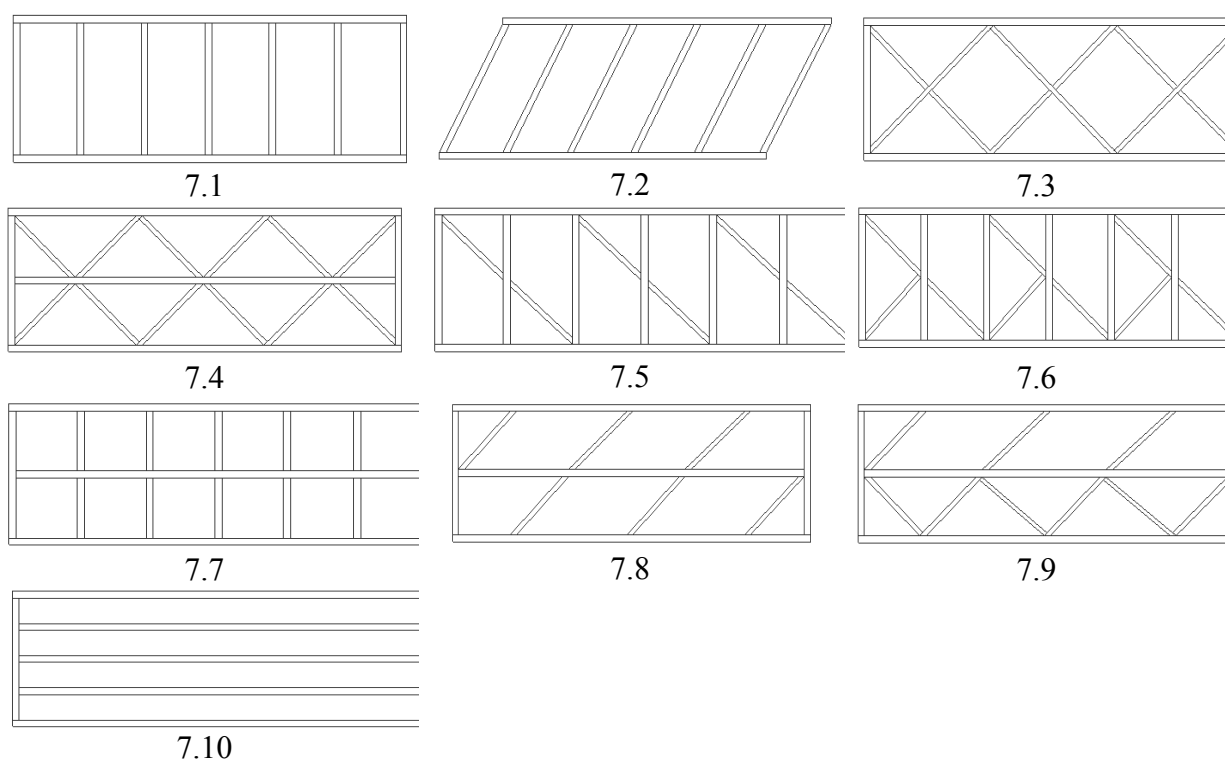
Джерело: розроблено авторами

Рисунок 3 – Компоновка на борті

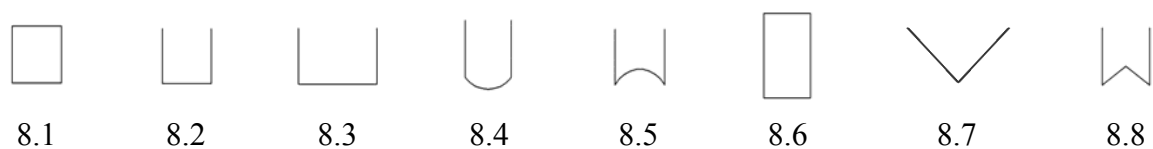
Джерело: розроблено авторами

Рисунок 4 – Геометрична конфігурація ребер жорсткості

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 1 – Морфологічна таблиця конструктивних ознак елементів кузовів напівпричепів вантажних автомобілів

Борт								9. Конст- рукція заднього борта	Дно кузова					Верхня частина кузова (поперечини)		17. Спо-сіб з'єднан- ня
1. Конст- рукція борта	2. Розмі- щення бортових листів	3. Тов- щина листа	4. Тех- нологічні отвори для зменшення напружен- ня при розвантаже- нні	5. Геометрична форма бортового листа	6. Основа (косин- ці)	Редра жорсткості			10. Кріп- лення до осі кузова	11. Форма ребер жорсткості	12. Тип з'єднан- ня на основі	13. Компо- нування ребер жорсткості	14. Основа осі кузова для підви- щення жорсткості	15. Наяв- ність	16. Про- філь	
						7. Компоновка на борті	8. Геометрич- на конфігура- ція									
1.1. Пря- мий. 1.2. Нахи- лений. 1.3. Бочко- подібний. 1.4. Комбі- нований.	2.1. Су- цільний лист. 2.2. Торце-ве з'єднання м. 2.3. Торце-ве із з'єднання м через ребро жорсткості.	3.1. 3 мм. 3.2. 4 мм. 3.3. 5 мм.	4.1. При- сутні. 4.2. Від- сутні.	5.1. Прямий. 5.2. Трапеце- їдальний з гострими кутами. 5.3. Прямий із трапецеїдальни- м з гострими кутами. 5.4. Трикутний. 5.5. Трикутний із прямим. 5.6. Прямий із трапецеїдальни- м. 5.7. Дугоподіб- ний. 5.8. Дугоподіб- ний із поперечною профільною трубою.	6.1. При- сутні. 6.2. Від- сутні. 6.3. 3 ребрам и жорст- кості.	7.1. Розміщені вертикально. 7.2. Розміщені під нахилом. 7.3. Перехресне розташування. 7.4. Пересікання із поперечним ребром. 7.5. Розміщені вертикально із нахиленими поперечинами. 7.6. Розміщені вертикально із несиметричним нахиленням поперечин в різних напрямках. 7.7. 3 горизонтальним і вертикальним перехресним розташуванням. 7.8. 3 горизонтальним та нахиленим перехресним розташуванням. 7.9. 3 горизонтальним та несиметричним нахиленням поперечин в різних напрямках. 7.10. Розміщені горизонтально.	8.1. Квадрат. 8.2. Гнугий профіль з рівними сторонами. 8.3. Швелер стандартний . 8.4. Гнугий профіль із округло вигнутою стороною. 8.5. Гнугий профіль із округло вгнутою стороною. 8.6. Профільна труба. 8.7. Кутник рівносторон- ній із тупим кутом. 8.8. М- подібний профіль.	9.1. Су- цільна. 9.2. Сек- ційна.	10.1. Укрі- плено пластин- ною. 10.2. Дода- тково укріпле- но швелера- ми.	11.1. Квад- ратна труба. 11.2. Профі- льна труба. 11.3. Прямо- кутна труба. 11.4. Швелер. 11.5. Швелер рівносторо- нній.	12.1. Сти- кове. 12.2. Тав- рове.	13.1. Два повздовжні із попере- чинами. 13.2. Три повздовжні із попере- чинами. 13.3. Чотири повздовжні із попере- чинами. 13.4. Попе- речини з двома суцільними та проміжними повздовж- німи.	14.1. Про- фільні вставки. 14.2. Про- фільна труба. 14.3. Шве-лер. 14.4. Плита.	15.1. Ста- ціонарні. 15.2. Знімні.	16.1. Круг- лий. 16.2. Пря- мокутни- й. 16.3. Квад- ратний. 16.4. Шве-лер.	17.1. Зва- рне. 17.2. Кле- пання.

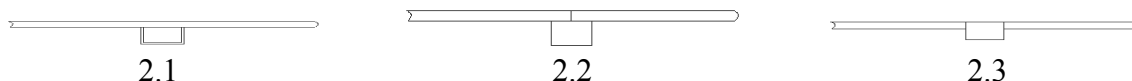


Рисунок 5 – Розміщення бортових листів

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 6 – Компонування ребер жорсткості дна кузова

Джерело: розроблено авторами

Виходячи із зробленого розподілу загальна кількість згенерованих варіантів КНВА при використанні методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу становитиме:

$$N_{KHVA} = \begin{array}{c} \begin{array}{c} 3.1 \\ 3.2 \\ 3.3 \end{array} + \begin{array}{c} 5.1 \\ 5.2 \\ 5.3 \\ 5.4 \\ 5.5 \\ 5.6 \\ 5.7 \\ 5.8 \end{array} + \begin{array}{c} 7.1 \\ 7.2 \\ 7.3 \\ 7.4 \\ 7.5 \\ 7.6 \\ 7.7 \\ 7.8 \\ 7.9 \\ 7.10 \end{array} + \begin{array}{c} 14.1 \\ 14.2 \\ 14.3 \\ 14.4 \end{array} + \begin{array}{c} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \end{array} + \begin{array}{c} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.3 \\ 8.4 \\ 8.5 \\ 8.6 \\ 8.7 \\ 8.8 \end{array} + \begin{array}{c} 11.1 \\ 11.2 \\ 11.3 \\ 11.4 \\ 11.5 \end{array} + \begin{array}{c} 12.1 \\ 12.2 \end{array} + \begin{array}{c} 13.1 \\ 13.2 \\ 13.3 \\ 13.4 \end{array} + \begin{array}{c} 2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \end{array} + \begin{array}{c} 4.1 \\ 4.2 \end{array} + \begin{array}{c} 6.1 \\ 6.2 \\ 6.3 \end{array} + \begin{array}{c} 9.1 \\ 9.2 \end{array} + \begin{array}{c} 10.1 \\ 10.2 \end{array} + \begin{array}{c} 15.1 \\ 15.2 \end{array} + \begin{array}{c} 16.1 \\ 16.2 \\ 16.3 \\ 16.4 \end{array} + \begin{array}{c} 17.1 \\ 17.2 \end{array} = 97.$$

Кількість варіантів КНВА при використанні запропонованого методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу становитиме 97 базових альтернатив, а при використанні класичного методу [4], кількість варіантів становитиме 1415577600, що є нереальним для ефективного відбору кращих альтернатив.

Враховуючи те, що вітчизняні правила дорожнього руху допускають максимальну фактичну масу завантаженого вантажного автомобіля в розмірі 40 тонн (для контейнеровозів – 44 тонни), слід максимально знижувати масу його кузова для можливості забезпечення перевезення більшої кількості вантажу. Так на рис. 7 проілюстровано розрахунок маси зерновоза. Виходячи з нього можна зробити висновок, що при правильному виборі конструкції кузова напівпричепа вантажного

автомобіля можна збільшити можливість перевезення вантажу більш ніж на дві тонни. Виходячи з цього нами проведено підрахунок маси кузова зернового в залежності від товщини стінки борта (табл. 2) який показав, що різниця маси при використанні товщини стінки борта 5 мм і 3 мм для стандартного кузова габаритами $2,5 \times 8 \times 1,8$ (36 м^3) становить 1769,6 кг.

У результаті проведеного дослідження на основі розробленої CAD – моделі напружено-деформованого стану дна КНВА [5] (рис. 8 і рис. 9) і його бортів з товщиною стінки в діапазоні від 3 мм до 5 мм було встановлено, що при раціональній конфігурації ребер жорсткості товщину стінки борта можна приймати у розмірі 3 мм. Отримані результати [5] якраз і стали основою для прийняття інженерних рішень з удосконалення конструкцій кузовів напівпричепів вантажних автомобілів.

Таблиця 2 – Маса кузова зернового в залежності від товщини стінки борта

Елементи кузова	Товщина стінки борта (кг)		
	3 мм	4 мм	5 мм
Лист $1,25 \times 2,50$ - 2 шт.	199,6	199,6	199,6
Борти			
Стійки на борти			
Лист $(1,0 \times 2,0)$ = 8 шт.	$8 \times 49 = 392$	$8 \times 64,6 = 516,8$	$8 \times 80,66 = 645,2$
Борти бокові, лист $(1,25 \times 2,50)$ = 15 шт. Борти (передній і задній), лист $(1,25 \times 2,50)$ - 2 шт.	$15 \times 75,8 = 1137$	$15 \times 99,8 = 1497$	$15 \times 126 = 1890$
Дно кузова			
Короба, лист $(1,25 \times 2,50)$ = 5 шт.	$5 \times 75,8 = 379$	$5 \times 99,8 = 499$	$5 \times 126 = 630$
Дно кузова, лист $(1,25 \times 2,50)$ = 7 шт.	$7 \times 75,8 = 530,6$	$7 \times 99,8 = 698$	$7 \times 126 = 882$
Профіль			
$8 \times 6 = (2 \times 12) = 24$ м/п.	$24 \times 6,5 = 156$	$24 \times 8,48 = 203,5$	$24 \times 10,4 = 249,6$
$6 \times 6 = (2 \times 12) = 24$ м/п.	$24 \times 5,5 = 132$	$24 \times 7,17 = 172$	$24 \times 8,3 = 199,2$
$6 \times 6 = 8,32$ м/п.	$8,32 \times 5,3 = 44$	$8,32 \times 5,3 = 44$	$8,32 \times 5,3 = 44$
Двотавр			
3,33 м/п.	$3,33 \times 18,4 = 61$	$3,33 \times 18,4 = 61$	$3,33 \times 18,4 = 61$
Лист сталевий ($t=10$ мм) = $0,3 \text{ м}^2$.	213	213	213
Разом	3244	4104,5	5013,6

Джерело: розроблено авторами

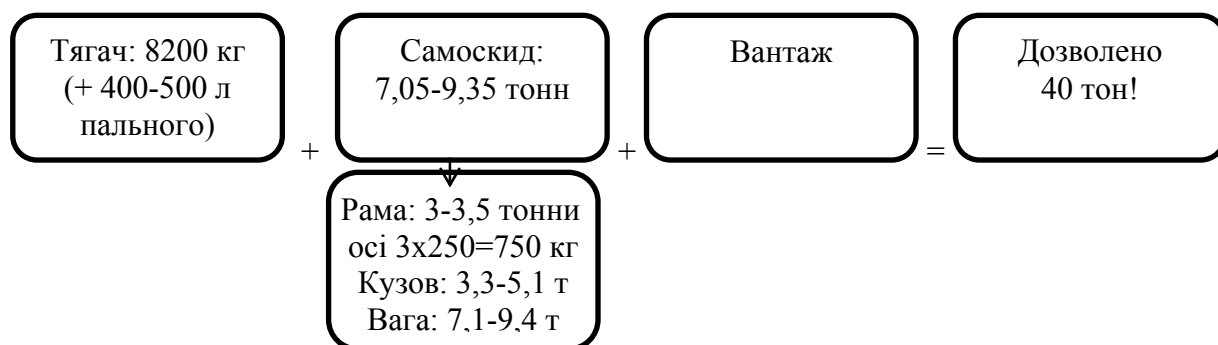


Рисунок 7 – Розрахунок маси завантаженого зернового

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 8 – Схема розміщення швелерів на CAD - моделі кузова
Джерело: розроблено авторами

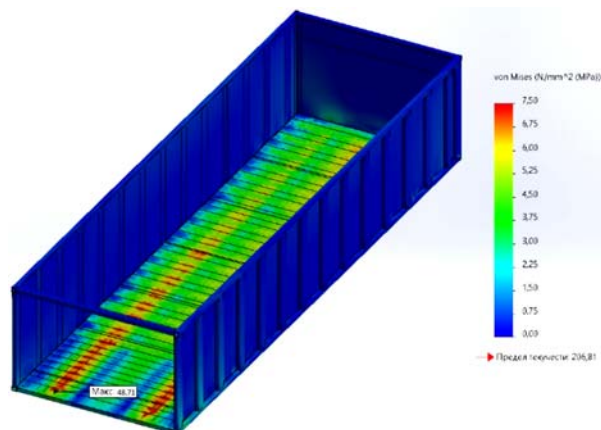


Рисунок 9 – Статичне напруження, що діє на швелер ($t_{шв}=3$ мм, $t_{д.дн}=3$, $\sigma_T=206,8$ МПа)
Джерело: розроблено авторами

Враховуючи проведені дослідження можна провести короткий техніко-економічних підрахунок ефективності використання КНВА виконаних із товщиною листів стінки борта розміром 3 мм у порівнянні з класичними бортами (5 мм). Розрахунки проведемо виходячи з цінової політики до початку війни в Україні станом на 23.02.2022 р. Для цього використаємо наступні вихідні дані транспортного розрахунку зернового із стандартним кузовом габаритами $2,5 \times 8 \times 1,8$ (36 м^3).

Розхід палива:

1. Пустого – 27-28 л/100 км (з КНВА).
2. Завантаженого на значних відстанях - 35-36 л/100 км.
3. Завантаженого на коротких відстанях - 45-50 л/100 км.

Середня вартість ДП на кінець травня 2022 р. в Україні становить 70 грн. (проходить значне коливання відпускних цін на автомобільне паливо).

Якщо прийняти, що середній пробіг фури (зернового) протягом дня становить 300 км, а при середній кількості робочих днів на рік 250, то її середній річний пробіг становить 75 тис. км/рік.

Якщо враховувати, що максимальне значення максимально завантаженої і заправленої фури становить 40 тонн, а її вага з КНВА становить 15,75 тонн при товщині стінки бортів 3 мм і 18,05 тонн при товщині 5 мм, то різниця у можливості збільшення завантаження (зменшення ваги самої фури за рахунок зменшення ваги КНВА) становить 2,3 тонни. Тобто фура (зерновоз) може збільшити завантаженість з 22 тонн до 24,3 тонни.

Враховуючи те, що різниця у витратах пального при переміщенні фури (зернового) у завантаженому стані (на значні відстані) та у незавантаженому стані становить 8 л/100 км, то пропорційно можна визначити витрати ДП на розмір зменшення ваги КНВА (2,3 тонни):

$$Z_{ДП} = 8 \cdot 2,3 / 22 = 0,84 \text{ л/100 км.}$$

Тоді річна економія ДП за рахунок зменшення ваги фури (зернового) становитиме:

$$E_{PI} = 70 \cdot 0,84 \cdot 75000 / 100 = 44100 \text{ грн.}$$

Річна економія коштів за рахунок використання бортів товщиною стінки 3 мм у порівнянні з 5 мм (з врахуванням середньої вартості тонни листового металу на кінець травня 2022 р. [<http://www.rost.te.ua/products/mataloprokat.htm>]) та з врахуванням тривалості амортизації КНВА (група 5 основних засобів [<https://news.dktk.ua/taxation/profits-tax/65634>] – транспортні засоби (мінімально допустимі строки корисного використання – 5 років)) становитиме:

$$E_{p2} = 1,7696 \cdot 47400 / 5 \approx 16800 \text{ грн.}$$

Загальна річна економія коштів за рахунок вдосконалення конструкції КНВА становитиме:

$$E_p = 44100 + 16800 \approx 60900 \text{ грн.}$$

Якщо враховувати мінімальний термін експлуатації КНВА 5 років, то сума економії коштів за рахунок вдосконалення конструкції КНВА із стандартним кузовом габаритами $2,5 \times 8 \times 1,8$ (36 м^3) приблизно складе 304,5 тис. грн. Це доводить ефективність розроблення інженерних рішень з удосконалення конструкцій кузовів напівпричепів вантажних автомобілів.

Висновки. Проведено синтез кузовів напівпричепів вантажних автомобілів методом морфологічного аналізу з використанням ієрархічного групування і отримано прогресивні інженерні рішення по створенню конструкцій з покращеними техніко-економічними характеристиками. В результаті проведеного дослідження встановлено, що то сума економії коштів за рахунок вдосконалення конструкції кузовів напівпричепів вантажних автомобілів із стандартним кузовом габаритами $2,5 \times 8 \times 1,8$ (36 м^3) приблизно складе 304,5 тис. грн.

Список літератури

1. Альтшуллер Г. С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. Новосибирск : Наука, 1986. 209 с.
2. Андрейчиков А. В. Интеллектуальный метод синтеза технологических инноваций. *Известия вузов. Сер. Машиностроение*. 2003. №10. С. 47-62.
3. Кіндрацький Б. І. Концепція і алгоритм багатокритеріального структурно-параметричного синтезу машинобудівних конструкцій. *Вісник ТДТУ*. 2003. Т. 8. № 1. С. 73–82.
4. Кузнецов Ю. М., Скляр Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем / під заг. ред. Ю. М. Кузнецова. К. : ТОВ «ЗМОК». ПП «ГНОЗИС», 2004. 323 с.
5. Ляшук О. Л., Гевко І. Б., Левкович М. Г., Вовк Ю. Я., Сташків М. Я., Капський Д. В. Дослідження напружено-деформованого стану дна кузова напівпричепа вантажного автомобіля. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал*. 2021. № 1 (24). С. 93-103.
6. Одрин В. М., Картавов С. С. Морфологический анализ систем: Построение морфологических матриц. К. : Наукова думка, 1977. 183 с.
7. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества: учеб. пособие для студентов вузов. М. : Машиностроение, 1988. 368 с.
8. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дячун. А.Є. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів: монографія. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. 280 с.

References

1. Altshuller, H. S. (1986). *Naity ydeiu. Vvedeniye v teoriyu resheniya yzobretatelskykh zadach* [Find an idea. Introduction to the theory of inventive problem solving]. Novosybyrsk : Nauka [in Russian].

2. Andreichykov, A.V. (2003). Yntellektualnyi metod synteza tekhnolohycheskykh ynnovatsyi [Intelligent Method for Synthesizing Technological Innovations]. *Yzvestiya vuzov. Ser. Mashynostroenye – Izvestiya vuzov. Ser. mechanical engineering*. 10, 47-62 [in Russian].
3. Kindratskyi, B.I. (2003). Kontseptsii i alhorytm bahatokryterialnoho strukturno-parametrychnoho syntezy mashynobudivnykh konstrukttsii [Concept and algorithm of rich-criteria structural-parametric synthesis of machine-building structures]. *Visnyk TDTU – Bulletin of TDTU*, Vol. 8, 1, 73–82 [in Ukrainian].
4. Kuznetsov, Yu.M. & Skliarov, R.A. (2004). *Prohnozuvannia rozvytku tekhnichnykh system [Forecasting the development of technical systems]*. Yu.M. Kuznetsova (Ed.). Kyiv : TOV «ZMOK». – PP «HNOZIS» [in Ukrainian].
5. Liashuk, O.L., Hevko, I.B., Levkovich, M.H., Vovk, Yu.Ya., Stashkiv, M.Ya. & Kapskyi, D.V. (2021). Doslidzhennia napruzhenno-deformovanoho stanu dna kuzova napivprychepa vantazhnoho avtomobilia [Doslidzhennia stressed-deformed steel bottom of the body napivprichepa vantage avtomobilya]. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii : naukovyi zhurnal – Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy : journal of science*, 1 (24), 93-103 [in Ukrainian].
6. Odryn, V.M. & Kartavov, S.S. (1977). *Morfolohycheskyi analiz system: Postroenye morfolohycheskykh matryts [Morphological analysis of systems: Construction of morphological matrices]*. Kyiv : Naukova dumka [in Russian].
7. Polovynkyn, A.Y. (1988). *Osnovy inzhenerenogo tvorchestva [Fundamentals of engineering creativity]*. Moscow : Mashynostroenye [in Russian].
8. Rohatynskyi, R.M., Hevko, I.B. & Diachun, A.Ie. (2014). *Naukovo-prykladni osnovy stvorennia hvyntovykh transportno-tekhnolohichnykh mekhanizmiv [Scientific and applied foundations for the creation of screw transport and technological mechanisms]*. Ternopil: TNTU imeni Ivana Puliuia [in Ukrainian].

Ivan Hevko, Prof., DSc., **Roman Rohatynsky**, Prof., DSc., **Oleg Lyashuk**, Prof., DSc., **Mikhajlo Levkovich**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Volodymyr Teslia**, PhD tech. sci.
Ternopil Ivan Pulu National Technical University, Ternopil, Ukraine

Structural Synthesis of Brake Systems With Technical and Economic Rationale

The purpose of the work is to synthesize the bodies of truck semi-trailers by the method of morphological analysis using hierarchical grouping to obtain structures with improved technical and economic characteristics.

As a result of the synthesis of truck semi-trailer bodies by morphological analysis using hierarchical grouping and advanced engineering solutions for creating structures with improved technical and economic characteristics by analyzing the influence of various factors on design features. The data of the research are based on the stress - strain state (VAT) of the Simulation engineering analysis of the specialized software complex SolidWorks on the CAD model of the body of the truck semi - trailer.

As a result of the conducted research, it was established that the amount of cost savings due to the improvement of the construction of semi-trailer bodies of trucks with standard body dimensions of 2.5×8×1.8 (36 m³) will be approximately UAH 304.5 thousand.

synthesis, body, board, structure, stiffener

Одержано (Received) 10.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 19.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

Л.А. Тарандушка, доц., д-р техн. наук, А.В. Йовченко, доц., канд. техн. наук
Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна
e-mail: a.yovchenko@chdtu.edu.ua

Параметричне проектування 3D-моделі кривошипно-шатунного механізму автомобіля з використанням САПР Solidworks

Досліджуються основні можливості САПР SolidWorks для параметризації складних механізмів на прикладі кривошипно-шатунного механізму (КШМ), зокрема операції формування об'ємів, методи роботи з ескізами, технології формування складальних одиниць із застосуванням інструментів спряжень. Параметризація дозволить підвищити ефективність розробки та проектування типових механізмів та деталей. При цьому формується параметризована складальна конструкція КШМ в САПР SolidWorks, яка дозволяє швидко перебудовувати деталі КШМ, виконувати розрахунок даних деталей на міцність із підключеним модулем SolidWorks Simulation.

параметризація, математична модель, кривошипно-шатунний механізм, моделювання, конструювання

Постановка проблеми. Рішенням проблеми підвищення ефективності і швидкості освоєння параметризації є вивчення напрямків і особливостей застосування засобів параметризації до конструювання конкретних об'єктів. 3D-модель параметризації дозволяє безліч разів використовувати розроблену модель та значно скоротити час на проектування деталей механізму, підготовку креслень та іншої супутньої проектною документації. В даній статті розглядається область застосування параметризації і ефективність її використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. SolidWorks широко застосовується при проектуванні деталей, складальних креслень завдяки простому інтерфейсу, каталогу стандартних моделей та елементів, гнучкій системі налаштування, створенню 2D-видів з 3D-моделі в напівавтоматичному режимі, що дозволяє скоротити час проектування.

Параметризація САПР SolidWorks дозволяє за короткий час змоделювати за допомогою зміни параметрів або геометричних співвідношень різні конструктивні схеми, стандартизовані, так і не стандартизовані конструкції. Параметризоване моделювання істотно відрізняється від звичайного двовимірного креслення або тривимірного моделювання. Конструктор при параметризованому проектуванні створює математичну модель об'єктів з параметрами, при зміні яких відбуваються зміни конфігурації деталі, взаємні переміщення деталей в збірці.

Параметризація комп'ютерної моделі деталі або складальної одиниці актуальна, оскільки об'єкт конструювання постійно змінюється: з'являються нові ідеї, виявляються помилки, змінюються умови виробництва та інші фактори, що постійно призводять до зміни конструкції. Щоб параметризована модель працювала, необхідно описати конструкцію об'єкта набором розмірних характеристик, що визначають геометрію об'єкта, умови взаємозв'язків і взаємовідносин окремих елементів між собою [1]. Створення параметризованої конструкції на практиці означає створення алгоритму, який забезпечує синтез конструкції з окремих геометричних елементів (метод

твердотільного моделювання), що передбачає можливості модифікації конструкції в певному діапазоні, описує закони функціонування конструкції. Реалізація даного завдання може бути складною навіть для відносно простих пристроїв типу КШМ [2].

Дослідження показують, що область варіювання розмірними характеристиками значень параметрів в рамках прийнятих конструктивних рішень має обмеження [2]. Істотна зміна параметрів нерідко вимагає прийняття інших, нових конструктивних рішень і відповідно зміни всього алгоритму параметризації конструкції, що означає переробку її комп'ютерної моделі. Практика моделювання об'єктів показує, що якщо засоби параметризації не є нав'язаними, тобто ведуться системою автоматично, і якщо система має достатньо засобів управління деревом створення моделі, то апарат параметризації допомагає конструктору в пошуці варіантів конструктивних рішень, у підтримці асоціативних зв'язків між геометричною моделлю конструкції та її кресленням [3-5].

Постановка завдання. Об'єктом дослідження є система автоматизованого проектування SolidWorks, технології формування параметризованих моделей і складальних конструкцій, на прикладі КШМ. Предметом дослідження є параметризація складальної конструкції КШМ. Мета роботи - визначити можливості покращення умов роботи конструктора, зменшення витрати часу на розробку нових виробів та збільшення варіативності модельного ряду за рахунок параметризації САПР SolidWorks 2020 на прикладі формування складальної конструкції КШМ.

Виклад основного матеріалу. Параметризація може бути застосована як до окремої деталі, так і до складального креслення з дуже високим ступенем деталізації. Основним інструментом параметризації SolidWorks 2020 є блок «equations» в дереві конструювання функцій Manager.

При параметризації деталі чи складального креслення необхідно приділити увагу точкам і елементам фіксації контуру, так як при зміні значення розміру може відбуватися деформація контуру або зсув деталі в просторі. При формуванні основних деталей КШМ в САПР SolidWorks використано операції створення об'ємних тіл і збережений ідентичний порядок основних операцій щодо САПР. Найбільш трудомісткими моделями з погляду моделювання й параметризації є поршень, шатун та колінчатий вал (рис. 1).

Перед параметризацією необхідно визначити основні конструктивні співвідношення розмірів елементів КШМ [6]. Величину верхньої частини поршня h_1 вибирають, виходячи із забезпечення однакового тиску опорної поверхні поршня по висоті циліндра й міцності бобишок, ослаблених отворами для пропуску оливи (табл. 1). Висоту головки поршня h_2 встановлюють виходячи із забезпечення нормального температурного режиму її елементів – товщини дна поршня й розташування компресійних і маслосборних кілець. Висота юбки h_3 визначається величиною необхідного теплового зазору між юбкою поршня й циліндром.

Діаметр поршня приймаємо основним розміром відносно якого виконується параметризація самого поршня та інших деталей КШМ. Знак «Σ» означає, що даний розмір параметризований з використанням основного розміру (діаметра поршня D) (рис. 1) [6-8].

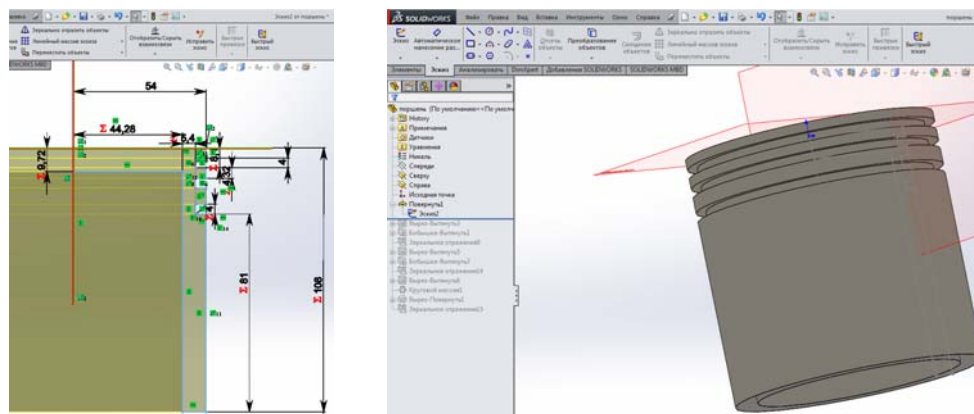


Рисунок 1 – Ескіз операції «обертання» в Solidworks з параметризованими розмірами поршня
Джерело: розроблено автором

Перед параметризацією КШМ було визначено основні конструктивні співвідношення розмірів поршневої групи (поршня (табл. 1), кільця, поршневого пальця), шатунної групи (поршневої головки, кривошипної головки, стержня шатуна); колінчатого валу.

Таблиця 1 – Основні конструктивні співвідношення розмірів поршня при параметризації

Формули задані в Solidworks				Загальні формули
Dporsh@Эскиз2	54мм	54мм		радіус поршня R
D3@Эскиз2	4мм	4мм		кільце
D4@Эскиз2	= "Dporsh@Эскиз2" * 2 * 0.04	4.32мм	товщина першої кільцевої перемички	$h_{\Pi}=R \cdot 2 \cdot 0,04$
D6@Эскиз2	= "Dporsh@Эскиз2" * 2 * 0.09	9.72мм	товщина днища поршня	$\delta=R \cdot 2 \cdot 0,09$
D9@Эскиз2	= "Dporsh@Эскиз2" * 2	108мм	висота поршня	$H=R \cdot 2$
D2@Эскиз2	= "Dporsh@Эскиз2" * 2 * 0.075	8.1мм	висота вогневого пояса	$e=R \cdot 2 \cdot 0,075$
D1@Эскиз2	= "Dporsh@Эскиз2" * 2 * 0.75	81мм	висота юбки поршня	$h_{Ю}=R \cdot 2 \cdot 0,75$
D5@Эскиз2	= "D3@Эскиз2"	4мм		кільце поршня
D8@Эскиз2	= "Dporsh@Эскиз2" * 2 * 0.05	5.4мм	товщина стінки головки поршня	$S=R \cdot 2 \cdot 0,05$
D7@Эскиз2	= ("Dporsh@Эскиз2" * 2 - 2 * ("D8@Эскиз2"	44.28мм	внутрішній діаметр поршня	$R_{в}=D-$ $2(s+t)+\Delta t=(R \cdot 2-$ $2 \cdot (R \cdot 2 \cdot 0,05+$ $R \cdot 2 \cdot 0,04) / 2$
D1@Повернуть1	360градусов	360градусов		
D1@Эскиз5	= "Dporsh@Эскиз2" * 0.95	51.3мм	лиска	$2(s+t)+\Delta t=(R \cdot 2-$ $2 \cdot (R \cdot 2 \cdot 0,05+$ $R \cdot 2 \cdot 0,04) / 2$
D3@Эскиз5	= "Dporsh@Эскиз2" * 2 + 10	118мм	для утворення лиски	$h_{л}=R \cdot 0,95$
D1@Вырез-Вытянуть3	= "D1@Эскиз2" * 0.85	68.85мм	висота лиски юбки поршня	$D=R \cdot 2+10$
D1@Эскиз11	= ("D7@Эскиз2" - "Dporsh@Эскиз2"	39.31мм	внутрішня лиска поршня	$H_{Ю}=R \cdot 2 \cdot 0,75 \cdot 0,85$
D1@Бобышка-Вытяну	= "D1@Вырез-Вытянуть3"	68.85мм	висота внутрішньої лиски поршня	$H_{ВЮ}=(R_{в}-R \cdot 0,3) 1,4$
D1@Эскиз8	= "Dporsh@Эскиз2" * 2 * 0.25	27мм	зовнішній діаметр поршневого кільця	$H_{вЮ}=H_{Ю}$
D2@Эскиз8	= "Dporsh@Эскиз2" * 0.6 * 2	64.8мм	висота верхньої частини поршня	$d_n=R \cdot 2 \cdot 0,25$
D1@Эскиз13	= "D1@Эскиз8" * 1.3	35.1мм	зовн. діаметр внутр. лиски	$h_l=R \cdot 2 \cdot 0,6$
D1@Бобышка-Вытяну	= "D1@Эскиз11" - "Dporsh@Эскиз2"	18.41мм	довжина внутрішньої бобишки	$d_{зл}=d_n \cdot 1,3$
D1@Эскиз10	= "D3@Эскиз2" * 0.4	1.6мм	діаметр масляного каналу	$l_6=H_{ВЮ}-R \cdot 0,35-2$
D2@Круговой массив	36градусов	36градусов		d_m
D1@Круговой массив	10	10		Кількість
D1@Эскиз14	= "Dporsh@Эскиз2" * 0.78	42.12мм	відстань від центра до кільця	масляних каналів
D2@Эскиз14	= "D1@Эскиз8" / 2	13.5мм	радіус кільця	$l_0=R \cdot 0,78$
				$R_{к}=d_n/2$

Джерело: розроблено автором

При параметризації поршневого пальця (рис. 2) та інших деталей КШМ спочатку виконуємо моделювання даних деталей в SolidWorks.

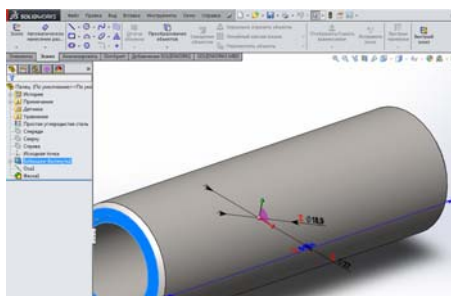


Рисунок 2 – 3D-модель параметризованої деталі «поршневий палець» з деревом побудови
Джерело: розроблено автором

Основні рівняння, що використовувались під час параметризації поршневого пальця наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Основні конструктивні співвідношення розмірів поршневого пальця при параметризації

Формули задані в SolidWorks				Загальні формули
D1@Эскиз1	= "D2@Эскиз1" * 0.7	18.9мм	внутрішній діаметр поршневого пальця	$d_{вн.п} = d_n \cdot 0,7$
D2@Эскиз1	27мм	27мм		зовн. діам. порш. пальця
D1@Бобышка-Вытянут	= "D2@Эскиз1" * 0.78 / 0.25	84.24мм	довжина поршневого пальця	$d_n = R \cdot 2 \cdot 0,25$
D1@Фаска1	1мм	1мм		$l_n = R \cdot 0,78 / 0,25$
D2@Фаска1	45градусов	45градусов		фаска
				фаска

Джерело: розроблено автором

На рис. 3 наведено параметризовану модель шатуна.

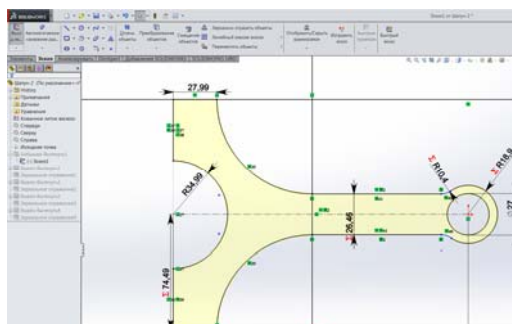


Рисунок 3 – Ескіз операції «витягування» в Solidworks для отримання деталі «Шатун»
Джерело: розроблено автором

Основні рівняння, що використовувались під час параметризації шатуна вказані в табл. 3. Подальша параметризація КШМ відбувається за подібною методикою.

Таблиця 3 – Основні конструктивні співвідношення розмірів елементів шатуна при параметризації

Формули задані в Solidworks				Загальні формули
D1@Эскиз1	27мм	27мм		d_n діаметр поршневого пальця
D7@Эскиз1	189.47мм	189.47мм		$L_{ш} = R / 0,285$ довжина шатуна
D8@Эскиз1	27.99мм	27.99мм		$h_{шб} = r_{ш} \cdot 0,8$ товщ. шат. під болти
D10@Эскиз1	= "D12@Эскиз1" * 1.7 + 15	74.49мм	ширина шатуна	$h_{ш} = d_{ш} \cdot 1,7 + 15$
D12@Эскиз1	34.99мм	34.99мм		$r_{ш}$ радіус шийки
D3@Эскиз1	= "D1@Эскиз1" * 1.4 * 0.5 * 1.4	26.46мм	товщина стержня шатуна	$h_c = d_n \cdot 1,4 \cdot 0,5 \cdot 1,4$
D2@Эскиз1	= "D1@Эскиз1" * 1.4 / 2	18.9мм	зовнішній діаметр поршневої головки	$d_z = d_n \cdot 1,4 / 2$
D4@Эскиз1	= "D2@Эскиз1" * 0.55	10.4мм	з'єднання порневої головки шатуна з стержнем шатуна	$d_z = d_z \cdot 0,55$
D1@Бобышка-Вытянут	= "D1@Эскиз1" * 0.35 / 0.25 / 2	18.9мм	довжина поршневої головки шатуна	$l_{ш} = d_n \cdot 0,35 / 0,25 / 2$
D2@Бобышка-Вытянут	= "D1@Бобышка-Вытянут1"	18.9мм		$l_{ш}$
D1@Эскиз2	= "D3@Эскиз1" - 8	18.46мм	ширина западини	$h_{зап} = h_c \cdot 8$
D3@Эскиз2	= "D1@Эскиз2" / 3	6.15мм	внутрішній радіус западини	$r_{зап} = h_{зап} / 3$
D6@Эскиз2	= "D1@Эскиз1" + 4	31мм	відстань від центра поршневого пальця до западин	$l = d_n + 4$
D5@Эскиз2	= "D7@Эскиз1" - "D6@Эскиз2" - "D12@Эскиз1"	108.48мм	довжина западини	$l_{зап} = L_{ш} - l - r_{ш} - 15$
D1@Вырез-Вытянут1	= "D2@Бобышка-Вытянут1" - 2	16.9мм	глибина западини стержня шатуна	$h_c = l_n - 2$
D1@Вырез-Вытянут2	= "D2@Эскиз1" * 0.5	9.45мм	товщина стержня	внутрішній радіус западини
D1@Эскиз4	= "D12@Эскиз1" * 1.7	59.49мм	відстань між болтами	$l_6 = r_{ш} \cdot 1,7$
D1@Эскиз5	22мм	22мм		

На рис. 4 зображено отриману параметризовану модель КШМ.

Уравнения, глобальные переменные и размеры

Имя	Значение / Уравнение	Равняется	Заметки
Уравнения - Компоненты			
"D2@Эскиз1@Палец<2>.Part"	"D1@Эскиз8@поршень<1>.Part"	27mm	зовнішній діаметр поршневого пал
"D1@Эскиз1@Шатун-21<1>.Part"	"D2@Эскиз1@Палец<2>.Part"	37.5mm	зовнішній діаметр поршневого пал
"D7@Эскиз1@Шатун-21<1>.Part"	"Dporsh@Эскиз2@поршень<1>.Part" / 0.285	189.47mm	довжина шатуна
"D12@Эскиз1@Шатун-21<1>.Part"	"D1@Эскиз1@Штулка<4>.Part"	34.99mm	радіус шийки шатуна
"D8@Эскиз1@Шатун-21<1>.Part"	"D12@Эскиз1@Шатун-21<1>.Part" * 0.8	27.99mm	товщина шатуна під болт
"D2@Эскиз1@кришка шатуна-1<1>.Part"	"D1@Эскиз1@Штулка<4>.Part"	34.99mm	радіус шийки шатуна
"D1@Эскиз1@кришка шатуна-1<1>.Part"	"D10@Эскиз1@Шатун-21<1>.Part"	74.49mm	ширина шатуна
"D4@Эскиз1@кришка шатуна-1<1>.Part"	"D8@Эскиз1@Шатун-21<1>.Part" * 0.7	19.6mm	висота кришки шатуна під болт
"D3@Эскиз1@кришка шатуна-1<1>.Part"	"D2@Эскиз1@кришка шатуна-1<1>.Part" * 1.4	48.99mm	зовнішній радіус кришки шатуна
"D2@Бобышка-Вытянуть1@кришка шат"	"Dporsh@Эскиз2@поршень<1>.Part" * 0.35	18.9mm	половина товщини шатуна
"D1@Бобышка-Вытянуть1@кришка шат"	"D2@Бобышка-Вытянуть1@кришка шатуна-1<1>.Part"	18.9mm	половина товщини шатуна
"D2@Бобышка-Вытянуть1@штулка<4>."	"Dporsh@Эскиз2@поршень<1>.Part" * 0.35	18.9mm	половина товщини шатуна
"D1@Бобышка-Вытянуть1@штулка<4>."	"D2@Бобышка-Вытянуть1@штулка<4>.Part"	18.9mm	половина товщини шатуна
"D2@Эскиз1@штулка<4>.Part"	"Dporsh@Эскиз2@поршень<1>.Part" * 0.6	32.4mm	радіус протилежної колінчатого валу
"D1@Бобышка-Вытянуть1@Палец<2>."	"D1@Эскиз1@поршень<1>.Part" - "D5@Эскиз14@пор"	80.24mm	довжина поршневого пальця
"Dporsh@Эскиз2@поршень<1>.Part"	"Dp"	54mm	радіус поршня
"D1@Эскиз1@штулка<4>.Part"	"D2@Эскиз1@штулка<4>.Part" + "D2@Эскиз1@штулка<4>."	34.99mm	радіус шийки шатуна
"D1@Эскиз4@картер<1>.Part"	"Dp"	54mm	
"D3@Эскиз1@картер<1>.Part"	"Dp" / 7.6	7.11mm	
"D4@Эскиз1@картер<1>.Part"	"Dp" / 7.6	7.11mm	
"D1@Вытянуть-Тонкостенный1@картер"	"Dp" / 15.2	3.55mm	
"D1@Эскиз1@картер<1>.Part"	"(0.6 * "Dp" * 2) / 2"	32.4mm	
"D2@Эскиз1@картер<1>.Part"	"Dp" * 3	162mm	
"D5@Эскиз4@картер<1>.Part"	"(0.6 * "Dp" * 2) / 0.6 * 0.74 + (0.6 * "Dp" * 2) / 0.6 * 0.2"	125.82mm	
"D2@Эскиз4@картер<1>.Part"	"D5@Эскиз4@картер<1>.Part"	125.82mm	
"D7@Эскиз4@картер<1>.Part"	"(0.6 * "Dp" * 2) / 0.6 * 0.74 * 2 + (0.6 * "Dp" * 2) / 0.6 * 0.67284mm"	0.67284mm	
"D3@Эскиз4@картер<1>.Part"	"D7@Эскиз4@картер<1>.Part" - "D5@Эскиз4@картер<1>.Part"	32.4mm	
"D4@Эскиз4@картер<1>.Part"	"D3@Эскиз4@картер<1>.Part"	32.4mm	
"D6@Эскиз4@картер<1>.Part"	"D3@Эскиз4@картер<1>.Part"	32.4mm	
"D1@Эскиз5@коліна<2>.Part"	"Dp"	54mm	

☒ Перестраивать автоматически
☒ Связь с внешним файлом: F:\1\Параметризовани детал\уравнения колд

☒ Условные единицы:
☒ Автоматический порядок решения

Рисунок 4 – Параметризованная модель КШМ

Джерело: розроблено автором

Параметризація дозволяє за короткий час «дослідити» (за допомогою зміни параметрів або геометричних співвідношень) різні конструктивні схеми, провести необхідні дослідження та уникнути принципових помилок, додаткових витрат. Згідно із статистичними даними, на зміну параметрів повністю параметризованої 3D-моделі йде менше 1 хв. При цьому перебудовування відбувається в автоматичному режимі. Генерування та випуск CAD-системою конструкторської документації триває від 15 до 30 хв. при розробці дуже складних моделей. Перебудовування 3D КШМ відбувається за декілька секунд. Всі складові деталі механізму, а саме: поршень, палець, шатун, кришки головки шатуна, шатунні вкладиші, колінчатий вал перебудовуються автоматично.

Висновки. В результаті проведеного аналізу розглянуто основні можливості САПР SolidWorks для параметризації складних механізмів на прикладі параметризації КШМ. При проектуванні параметричних моделей елементів КШМ і формуванні складальної конструкції вузла КШМ розглянуто методи роботи з ескізами, операції формування об'ємів, технології формування складальних одиниць із застосуванням

інструментів спряжень. В результаті сформовано параметризовану складальну конструкцію КШМ в системі SolidWorks, яка дозволяє не тільки швидко перебудовувати деталі КШМ, а й виконувати розрахунок даних деталей на міцність із підключеним модулем SolidWorks Simulation з використанням методу кінцевих елементів. Тобто, з використанням параметричних моделей значно скорочуються затрати на проектування виробів, зменшуються обчислювальні ресурси, співвідношення часу симуляція – прототипування за рахунок автоматизації процесу розрахунку та побудови 3D-моделі.

Список літератури

1. Губич Л.В. Автоматизация процессов проектирования в машиностроении . Минск: ОИПИ НАН Беларуси. 2002. 308 с.
2. Л.В. Губич, А.А. Прохорова. Автоматизация проектирования типовых конструкций на базе средств параметризации CAD-систем. *Автоматизация проектирования*. 2007. Вып. 4. С. 67-76.
3. Прохорова, А.А. Подходы к синтезу конструкций на базе конструктивных элементов в среде диалоговых систем. *Моделирование и информационные технологии проектирования*. Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2000. С. 88–94.
4. Ким К.К., Просолович А.А., Колошенко Ю.Б. Параметризация исполнительных элементов перекачивающих электромеханических преобразователей. *Мир транспорта*. 2017. Том 15, № 5, С. 28-43.
5. Хейфец А.Л. 3D модели и алгоритмы компьютерной параметризации при решении задач конструктивной геометрии (на некоторых исторических примерах) . *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника»*. 2016. Вып. 16. № 2. С. 24–42. DOI: 10.14529/ctcr160203. URL: <https://vestnik.susu.ru/ctcr/article/view/4909> (дата обращения: 11.04.2022).
6. А.И. Колчин, В.П. Демидов. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2003. 496 с.
7. Алямовский А. А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике (+ DVD-ROM): науч. пособ. К.: Информавтор, 2008. 62 с.
8. Прохоренко В.П. SolidWorks. Практическое руководство. М.: ООО «Бином-Пресс», 2004. 448 с.

References

1. Gubich, L.V. (2002). *Avtomatizacija processov proektirovanija v mashinostroenii* [Automation of design processes in mechanical engineering]. Minsk: OIPI NAS of Belarus [in Russian].
2. Gubich, L.V. & Prokhorov, A.A. (2007). *Avtomatizacija proektirovanija tipovyh konstrukcij na baze sredstv parametrizacii CAD-sistem*. [Automation of design of standard structures based on CAD-systems parameterization tools]. *Avtomatizacija proektirovanija – Design automation*. №4. p. 67-76. [in Russian].
3. Prokhorova, A.A. (2000). *Podhody k sintezu konstrukcij na baze konstruktivnyh jelementov v srede dialogovyh sistem. Modelirovanie i informacionnye tehnologi proektirovanija* [Approaches to the synthesis of structures based on structural elements in the environment of dialogue systems. Modeling and design information technologies]. Minsk: In-t tehn. kibernetiki NAN Belarusi [in Russian].
4. Kim, K.K., Prosolovich, A.A. & Koloshenko, Ju.B. (2017). *Parametrizacija ispolnitel'nyh jelementov perekachivajushchih jelektromehanicheskikh preobrazovatelej*. [Parameterization of actuators of pumping electromechanical converters] . *Mir transporta – World transport*, Vol. 15, 5, 28–43 [in Russian].
5. Hejfec, A.L. (2016). 3D modeli i algoritmy komp'juternoj parametrizacii pri reshenii zadach konstruktivnoj geometrii (na nekotoryh istoricheskikh primerah) . [3D models and algorithms of computer parametrization in solving problems of constructive geometry (on some historical examples)] . *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Komp'juternye tehnologii, upravlenie, radioelektronika» – Bulletin of the South Ural State University. Series "Computer technology, control, radio electronics"*, Issue. 16, 2, 24–42. DOI: 10.14529 / ctcr160203. Retrieved from <https://vestnik.susu.ru/ctcr/article/view/4909>. [in Russian].
6. Kolchin, A.I. & Demidov, V.P. (2003). *Calculation of automobile and tractor engines*. (3d ed.). Revised Moscow : Vyssh. shkola [in Russian].
7. Aljamovskij, A.A. (2008). *SolidWorks 2007/2008. Komp'juternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike (+ DVD-ROM)* [SolidWorks 2007/2008. Computer modeling in engineering practice (+ DVD-ROM): Scientific manual]. Kyiv: Informavtodor [in Russian].
8. Prokhorenko V.P. (2004). *SolidWorks. Prakticheskoe rukovodstvo* [SolidWorks. A practical guide]. Moscow : LLC "Binom-Press" [in Russian].

Lyudmyla Tarandushka, Assoc. Prof., DSc., **Alla Yovchenko**, PhD tech. sci.

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

Parametric Design of 3D Models of crank Mechanism of a Car with CAD Solidworks

The main possibilities of SolidWorks CAD for parameterization of complex mechanisms on the example of crank mechanism (CM), including operations of forming volumes, methods of working with sketches, technologies of forming assembly units using coupling tools are investigated.

The use of parameterization will increase the efficiency of development and design of standard mechanisms and parts. At the same time the parametrized assembly design of CM in SolidWorks CAD is formed, which allows to quickly reconstruct CM details, to carry out calculation of the given details on durability with the SolidWorks Simulation module connected. As a result of the analysis the main possibilities of SolidWorks CAD for parameterization of complex mechanisms on the example of CM parameterization are considered. When designing parametric models of CM elements and forming the assembly structure of the CM node, the methods of working with sketches, operations of forming volumes, technologies of forming assembly units with the use of conjugation tools are considered. As a result, a parameterized assembly of the CM in the SolidWorks system is formed, which allows not only to quickly rebuild the parts of the CM, but also to calculate the strength of these parts with the SolidWorks Simulation module connected using the finite element method.

That is, with the use of parametric models significantly reduces the cost of product design, reduces computing resources, time ratio simulation - prototyping by automating the calculation process and building a 3D model.

parametrization, mathematical model, crank mechanism, modeling, design

Одержано (Received) 09.05.2021

Прорецензовано (Reviewed) 17.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 669.539

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.201-205](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.201-205)

Р.І. Розум, доц., канд. техн. наук, **М.В. Буряк**, доц., канд. техн. наук, **П.Б. Прогній**, доц., канд. техн. наук, **Н.М. Фалович**, доц., канд. екон. наук, **О.С. Шевчук**, доц., канд. техн. наук, **П.В. Попович**, проф., д-р техн. наук

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

О.П. Захарчук, доц., канд. техн. наук

ВСП ФКЕПІТ Тернопіль, Україна

e-mail: rozoom_ruslan@ukr.net, burjak74@ukr.net, kaf_tl@wunu.edu.ua, n.falovych@gmail.com, oksana_shevchuk84@ukr.net, ppopovich@ukr.net, olenaskyba8500@gmail.com

Експлуатаційна надійність і роботоздатність вантажного автомобільного рухомого складу

В статті проаналізовано причини відмов конструкцій транспортних засобів, що належать до складних систем. З метою забезпечення експлуатаційної надійності та роботоздатності вантажного автомобільного рухомого складу, а саме несучих рам автомобільних вантажних напівпричепів і причепів під час їх експлуатації. Досліджено надійність вантажного автомобільного рухомого складу з урахуванням 2000 годин експериментальних випробувань на машино-випробувальній станції під час транспортних робіт, у тому числі 3,5 тис. циклів навантаження-розвантаження, що становить 50 % напрацювання. Зазначено, що організація транспортної роботи машино-випробувальної станції не зовсім збігається з реальними умовами експлуатації, що впливає на показники надійності: наприклад, зростають готовність і середній час до відмови, а відмовність зменшується.

експлуатаційна надійність, роботоздатність, автомобільний рухомий склад, вантажний автомобільний рухомий склад

Постановка проблеми. Одним із показників експлуатаційної надійності та роботоздатності транспортних засобів є їх корозійне зношування. Найбільш інтенсивно дані процеси проходять в елементах, що мають безпосередній контакт із агресивними середовищами (кузова, транспортери тощо).

Вантажні автомобільні перевезення міцно закріпилися на лідируючих позиціях в транспортній галузі. Відомо, що якість перевезень визначається технічними характеристиками рухомого складу, а також його експлуатаційною надійністю та роботоздатністю. У зв'язку з цим, проблеми дослідження експлуатаційної надійності та роботоздатності вантажного автомобільного рухомого складу, а також пошук шляхів їх підвищення є актуальним завданням сучасного машинобудування.

Дослідження показників вантажного автомобільного рухомого складу, виконувалося із врахуванням експериментальних даних, що були отримані за допомогою машино-випробувальної станції обсягом 2000 год в режимі транспортної роботи, у тому числі 3,5 тис. циклів навантажувально-розвантажувальних операцій, що становить 50 % напрацювання. Очевидним є те, що дослідження транспортних процесів за допомогою машино-випробувальних станцій не можуть у повній мірі відповідати реальним умовам роботи вантажних автомобільних причепів, що має значний вплив на показники надійності їх роботи: наприклад, відбувається підвищення показників готовності та середнього напрацювання на відмову, зниження показника потоку відмов тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Так, Підгурським М.І. [1], в процесі дослідження величини та характеру корозійного впливу на роботоздатність причепів, встановлено, що відсоток відмов окремих елементів причепа до сумарної їх кількості має наступний вид: робочі органи – 44 %, кузов і рама – 32 %, елементи транспортера – 24 %. У процесі транспортування добрив проходять процеси підвищеного корозійного впливу, що зумовлює потребу проведення капітальних ремонтів причепів уже після лише трьох років такої їх експлуатації. Також, дослідник відмічає, що після проведення капітального ремонту термін служби причепів становив до двох років.

У тракторах та зернозбиральних комбайнах, які поступають на перший капремонт після 2 – 3 річної експлуатації, спостерігається, що корозійному руйнуванню піддаються деталі та складальні одиниці у тракторів – 150 найменувань, у комбайнів – 224 найменувань. Площі поверхневого корозійного пошкодження деталей і складальних одиниць становили до 90 % від їх поверхні [2].

У роботах [3, 4] розроблені аналітичні моделі, що дозволяють встановити залишкову довговічність несучих рам причепів враховуючи вплив зовнішнього середовища.

Постановка завдання. Метою статті є провести дослідження показників вантажного автомобільного рухомого складу враховуючи експериментальні дані отримані за допомогою машино-випробувальної станції. Відповідно до одержаних результатів провести синтез раціональних несучих конструкцій напівпричепів і причепів.

Виклад основного матеріалу. В експериментальних дослідженнях було задіяно 60 бортових напівпричепів та 20 бортових причепів різних фірм. Експеримент тривав впродовж 12 місяців. Напівпричепа та причепа були задіяні у перевезенні різного роду штучних і насипних вантажів.

Середнє напрацювання до відмови основних елементів досліджуваних напівпричепів і причепів, а також відсоток елементів, що вийшли з ладу протягом проведення експерименту (4 тис. год) має наступний вигляд:

Для напівпричепів:

- кузов – 238 (100 %);
- несуча рама – 394 (100 %);

- елементи підвіски – 438 (100 %);
- ходова – 401 (100 %);
- гальмівна система – 499 (64 %);
- електрообладнання – 502 (91 %);
- гідро обладнання – 483 (86).

Для причепів:

- кузов – 297 (100 %);
- несуча рама – 742 (73 %);
- елементи підвіски – 806 (49 %);
- ходова – 497 (100 %);
- гальмівна система – 658 (81 %);
- електрообладнання – 794 (100 %)
- гідро обладнання – 837 (100%).

Отже, як бачимо, елементи, що піддаються впливу змінних навантажень, володіють недостатнім ресурсом. Із усіх елементів напівпричепів і причепів особливої уваги заслуговує несуча рама, оскільки вона є базовим елементом та обмежує їх експлуатаційну надійність та роботоздатність загалом.

Найбільш поширеними відмовами несучих рам усіх видів напівпричепів і причепів є виникнення тріщин зварних швів, пластичних деформацій і тріщин лонжеронів та поперечини. З проведеного експерименту видно, що практично усі досліджувані транспортні засоби мали проблеми із несучою рамою при напрацюванні лише 20 – 30 % від експлуатаційного терміну. Причини відмов і час напрацювання на відмову є різними, а їх виникнення обумовлене впливом низки випадкових подій. Аналіз сукупності причин виникнення відмов дозволяє зробити висновки щодо причинно-наслідкового характеру подій, що зумовлюють ту чи іншу відмову. Оцінка самої структури відмов це важливий етап системності щодо забезпечення експлуатаційної надійності та роботоздатності як несучих рам так і напівпричепів і причепів в цілому.

Проводячи аналіз експериментальних даних можна побачити, що основними причинами відмов несучих рам є виробничі дефекти, а також помилки на етапі проектування. У зв'язку з вище сказаним загальний відсоток відмов, що спричинені помилками в процесі проектування та виробництва, може становити понад 50 %. Оцінюючи причини руйнування зварних швів, бачимо, що дане явище відбувається у зв'язку із впливом низки непов'язаних між собою чинників. В цілому, можна сказати, що чинники, які викликають концентрацію внутрішніх напружень та подальше утворення та розвиток тріщин зварних з'єднань, становлять до 1/2. Загалом, згідно статистики, кількість дефектів у погонному метрі зварного шва в машинобудуванні – 6,1 [5]. Причиною відмов у автомобільній техніці є конструктивні недопрацювання в процесі проектування (до 1/3), відмови пов'язані з низькою якістю виробничих і складальних операцій (до 1/3), низьким технічним рівнем та незадовільною якістю матеріалів і комплектуючих (до 2/5), відмови пов'язані із неправильною експлуатацією транспортних засобів автотранспортними підприємствами та низьким рівнем кваліфікації обслуговуючого персоналу (до 1/5), інші відмови – до 1/10 [6].

У стратегічному контексті проведення конструювання несучих рам автомобільних транспортних засобів із прогнозуванням ресурсу їх роботи, можна забезпечити лише за умови належного проведення системної багатокритеріальної оцінки несучої здатності несучих рамних конструкцій. Такого роду підхід є складною науковою задачею, розв'язок якої потребує значної кількості проведення експериментальних досліджень із використанням методологічного апарату моделювання напружено-деформованого стану.

Висновки. Отже, підсумовуючи вищесказане можна зробити висновок, що комплексний аналіз експлуатаційної надійності та роботоздатності вантажного автомобільного рухомого складу повинен складатися з наступних етапів:

1. Проведення аналітичної оцінки напружено-деформованого стану конструктивних елементів транспортного засобу із використанням методу кінцевих елементів, що дозволить провести моделювання напружено-деформованого стану в тому числі й несучих рам враховуючи усі сили, які мають на них вплив, що, в свою чергу, забезпечить умови дослідження можливих причин відмов, а отже і втрати експлуатаційної надійності та роботоздатності;

2. Проведення багатокритеріального розрахунку інтегральних показників навантаженості по кожному елементу транспортного засобу. Методологія визначення критеріїв оцінки експлуатаційної надійності та роботоздатності вантажного автомобільного рухомого складу відбувається у наступній послідовності:

- формування аналітичної методики дослідження коефіцієнтів інтенсивності напруженого стану та тріщиноформування у замкнутих і відкритих контурах;

- проведення корегування залежностей визначення коефіцієнтів напруженого стану для тріщин, що виникають у зонах температурного впливу;

- побудова діаграм навантаженості та тріщиностійкості зварних з'єднань конструкцій транспортних засобів.

3. Вибір раціональних конструктивних елементів за рахунок моделювання експлуатаційної надійності та роботоздатності вантажного автомобільного рухомого складу, що адекватно відображають процеси експлуатації транспортних засобів.

Список літератури

1. Підгурський М.І. Методи прогнозування ресурсу несучих і функціональних систем бурякозбиральних комбайнів : дис. д-ра техн. наук / Тернопіль: ТДТУ, 2007. 338 с.
2. Шури́н К.В. Прогнозирование и повышение усталостной долговечности несущих систем сельскохозяйственных тракторных средств : дис. д-ра техн. наук / Оренбург: ОПИ, 1994. 423 с.
3. Popovych, P. V., Shevchuk, O. S., etc. (2016). The service life evaluation of fertilizer spreaders undercarriages. *INMATEH*, 50 (3), 39–46.
4. Шевчук О. С., Селіванова Н. Надійність металоконструкцій причепів. *Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій* : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. Т. : ТНТУ, 2020. С. 45.
5. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. К.: Основа, 2021. 400 с.
6. Сухенко Ю.Г. Технологія автомобілебудування: навчальний посібник. К.: Університет «Україна», 2011. 161 с.
7. Попович П.В., Шевчук О.С. Організація діяльності автомобільного транспорту як функції безпеки дорожнього руху. *Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти*: матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 17 листопада 2017 року). – Кривий Ріг, 2017. С. 180-184.
8. Попович П.В., Шевчук О., Мурований І. Підвищення ефективності технологій перевезень організаційними шляхами надання транспортних послуг. *Вісник ХНТУСГ*. 2017. Вип. № 184. С. 124-130.
9. Дослідження тенденцій розвитку ринку вантажних автомобільних перевезень у сучасних умовах / П. В. Попович, О. С. Шевчук, А. Й. Матвійшин, В. М. Лотоцька. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2016. № 2. С. 224-229.

References

1. Pidhurs'kyj, M.I. (2007). *Metody prohnozuvannia resursu nesuchykh i funktsional'nykh system buriakozbyral'nykh kombajniv* [Methods of forecasting the resource of bearing and functional systems of beet harvesters]. *Doctor's thesis*. Ternopil': TDTU [in Ukrainian].
2. Schuryn, K.V (1994). *Prohnozyrovanye u povyshenye ustalostnoj dolhovechnosti nesuchykh system sel'skokhoziajstvennykh traktornykh sredstv* [Forecasting and increasing the fatigue life of the bearing systems of agricultural tractors]. *Doctor's thesis*. Orenburh: OPY [in Ukrainian].

3. Popovych, P.V., Shevchuk, O.S., etc. (2016). The service life evaluation of fertilizer spreaders undercarriages. *INMATEH*, 50 (3), 39–46 [in Ukrainian].
4. Shevchuk, O.S. & Selivanova, N. (2020). Nadijnist' metalokonstruktsij prycheviv [Reliability of metal structures of trailers]. Fundamental and applied problems of modern technologies : *Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsia do 60-richchia z dnia zasnuvannia Ternopil'skoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu imeni Ivana Puliuia ta 175-richchia z dnia narodzhennia Ivana Puliuia (14-15 travnia 2020 r.) – International Scientific and Technical Conference for the 60th anniversary of the founding of Ternopil National Technical University named after Ivan Puluy and the 175th anniversary of the birth of Ivan Puluy* (pp. 45). Ternopil' : TNTU [in Ukrainian].
5. Bykovskiy, O.H. (2021). Zvariuvannia, rizannia j kontrol' iakosti pid chas vyrobnytstva metalokonstruktsij: pidruchnyk [Welding, cutting and quality control during production of metal structures]. Kyiv : Osnova [in Ukrainian].
6. Sukhenko, Yu.H. (2011). Tekhnolohiia avtomobilebuduvannia [Automotive technology]. Kyiv: Universytet «Ukraina» [in Ukrainian].
7. Popovych, P.V. & Shevchuk, O.S. (2017). Orhanizatsiia diial'nosti avtomobil'noho transportu iak funktzii bezpeky dorozhn'oho rukhu [Organization of road transport as a function of road safety]. Road traffic safety: legal and organizational aspects: *XII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia* (m. Kryvyj Rih, 17 lystopada 2017 r.). – *International Scientific and Practical Conference* (pp.180-184) . Kryvyj Rih [in Ukrainian].
8. Popovych, P.V., Shevchuk, O. & Murovanyj, I. (2017). Pidvyschennia efektyvnosti tekhnolohij perevezenn' orhanizatsijnymy shliakhamy nadannia transportnykh posluh [Increasing the efficiency of transportation technologies through organizational ways of providing transport services] . *Visnyk KhNTUSH – Herald of KhNTUSG, Issue 184*, 124 - 130. [in Ukrainian].
10. Popovych, P.V., Shevchuk, O.S., Matviishyn, A.J. & Lotots'ka, V.M. (2016). Doslidzhennia tendentsij rozvytku rynku vantazhnykh avtomobil'nykh perevezenn' u suchasnykh [Study of trends in the development of the road freight transportation market in modern conditions] . *Visnyk Zhytomyr's'koho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky – Bulletin of the Zhytomyr State University of Technology. Series: Technical sciences*, 2, 224-229. [in Ukrainian].

Ruslan Rozum, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mykola Buryak**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Pavlo Prohniy**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Natalia Falovych**, Assoc. Prof., PhD econ. sci., **Oksana Shevchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Pavlo Popovich**, Prof., DSc.

Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

Olena Zakharchuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

VSP FKEPIT, Ternopil, Ukraine

Improving the Efficiency of Technical Operation of Trucks

The article analyzes the causes of failures of vehicle structures belonging to complex systems. In order to ensure the operational reliability and operability of freight rolling stock, namely the supporting frames of automotive cargo semi-trailers and trailers during their operation.

The chosen topic is relevant today, because the automotive industry is firmly in the lead in the transport industry. It is known that the quality of transportation is determined by the technical conditions of rolling stock. This is especially important if the rolling stock is represented by vehicles

The reliability of freight rolling stock was studied, taking into account 2000 hours of experimental tests at the machine-test station during transport works, including 3.5 thousand loading and unloading cycles, which is 50% of the operating time. It is noted that the organization of transport work of the machine-test station does not exactly coincide with the real operating conditions, which affects the reliability indicators: for example, readiness and average failure time increase, and failure decreases.

Structural analysis of the fault complex is an important part of a comprehensive system to ensure the reliability and survivability of the supporting frame of the car trailer. Generally speaking, the main causes of metal failures are manufacturing defects (production stage) and design errors (design stage), and the overall failure rate due to poor design and production quality can be over 50%. The analysis of the causes of failure of welded metal structures shows that the influence of a single factor on its frequency in emergency situations, factors related to stress concentration and subsequent development of cracks, is up to half. Of these, breakdowns due to design defects at the design stage and poor quality of manufacture and assembly of machines are about a quarter each, and due to low technology and low quality materials - more than a third, due to violations of vehicle rules and low quality staff - every tenth.

operational reliability, operability, automobile rolling stock, freight automobile rolling stock

Одержано (Received) 15.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 19.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 656.13

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.206-212](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.206-212)

І.А. Шльончак, доц., канд. техн. наук, **О.Ю. Лук'янченко**, доц., канд. техн. наук,
Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна,
e-mail: igor_shlionchak@ukr.net; 111188@ukr.net

В.Б. Харенко, судовий експерт

Черкаський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України,
м. Черкаси, Україна

Дослідження фактору швидкості та методик визначення швидкості при проведенні автотехнічної експертизи

В роботі зазначається, що стрімка автомобілізація України закономірно спричинила за собою необхідність забезпечення безпеки дорожнього руху на новому сучасному рівні. Встановлено, що одним із дієвих заходів вдосконалювання системи забезпечення безпеки дорожнього руху є керування швидкістю. Це у свою чергу передбачає відповідну регламентацію дозволених швидкостей руху. Визначення швидкості автотransпортних засобів допомагає встановити причинно-наслідковий зв'язок між діями водія та настанням аварії. Було зроблено висновок, що найбільш значимою причиною дорожньо-транспортних пригод із важкими наслідками й загибеллю людей є неправильний вибір саме швидкості руху.

безпека дорожнього руху, дорожньо-транспортна пригода, «водій-автомобіль-дорога-середовище», судова автотехнічна експертиза

Постановка проблеми. Підвищення рівня безпеки дорожнього руху стала надзвичайно актуальною соціально-економічною проблемою. У системі заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху велике значення мають заходи кримінально-, адміністративно- та цивільно-правового характеру. Розслідування, адміністративний та судовий розгляд кримінальних справ за фактом дорожньо-транспортної пригоди (ДТП) вимагають використання спеціальних технічних знань, що охоплюють всю сукупність взаємодіючих елементів «водій-автомобіль-дорога-середовище» (ВАДС), з якої складається процес дорожнього руху загалом. Найчастіше склад злочину чи порушення можна встановити тільки після проведення судової автотехнічної експертизи (САТЕ), яка складається з наступних етапів: судова експертиза обставин ДТП, судова експертиза технічного стану автотransпортних засобів (АТЗ) та судова експертиза слідів на АТЗ і місці ДТП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] автор зазначає, що кількість загиблих у ДТП в Україні становить 13% від загиблих у дорожніх подіях усієї Європи, тоді як кількість автомобілів – лише 2% від усього європейського автомобільного парку». Жертвами стають в основному молоді люди та люди середнього віку, тобто найбільш працездатна та активна частина населення. Зазначається, що швидкість АТЗ відіграє суттєву роль у дослідженні ДТП.

В роботі [2] також розглядається питання швидкісного режиму автотransпортних засобів. Автор роботи зазначає, що проблема підвищення ймовірності виникнення небезпечної ситуації на дорозі через високі швидкісні характеристики автомобілів вирішується шляхом встановлення раціонального швидкісного режиму. Для цього потрібно проаналізувати фактори, що формують

процеси, пов'язані із функціонуванням системи «водій – автомобіль – дорога – середовище» щодо попередження ДТП. Зазначені фактори характеризується відповідними параметрами, які визначаються кількісними та якісними показниками.

Аналіз впливу людського фактору на регламентування швидкості руху базується на психофізіологічних можливостях організму, психологічному типі людини та рівня підготовки водія на його поведінку на дорозі. Дослідження таких факторів зазначється в роботі [3].

Постановка завдання. Метою дослідження є аналіз методик визначення швидкості руху АТЗ з метою подальшого підвищення достовірності визначення швидкісного фактору при ДТП. Поставлена мета може бути досягнена шляхом аналізу обставин ДТП внаслідок порушення швидкісного режиму, а також існуючих методик реконструкції, експертизи ДТП та визначення напрямків їх удосконалення.

Виклад основного матеріалу. Порівняно з країнами Європи стан безпеки дорожнього руху в Україні можна охарактеризувати, як вкрай незадовільний через високий рівень смертності та дорожньо-транспортного травматизму

Конструктивні, а також експлуатаційні властивості сучасних автотранспортних засобів забезпечують їм високі швидкісні показники, що позитивно впливає на їх продуктивність. Однак все це сприяє підвищенню ймовірності виникнення небезпечної ситуації.

Розглядаючи вплив людського фактору на забезпечення безпеки дорожнього руху, необхідно відзначити, що в реальних дорожніх ситуаціях навіть дисципліновані водії допускають незначне перевищення швидкості. Слід зазначити, що незначні відхилення швидкості в сторону її збільшення збільшує в два рази ризик виникнення ДТП. Мова йде про відносно допустимі відхилення від дозволеної швидкості, а саме: до 5 км/год в населених пунктах та до 10 км/год за їх межами.

На рисунку 1 представлені статистичні дані про ДТП через перевищення безпечної швидкості [4]. Аналіз даних свідчить про високий рівень травматизму й загибелі в ДТП такого роду.

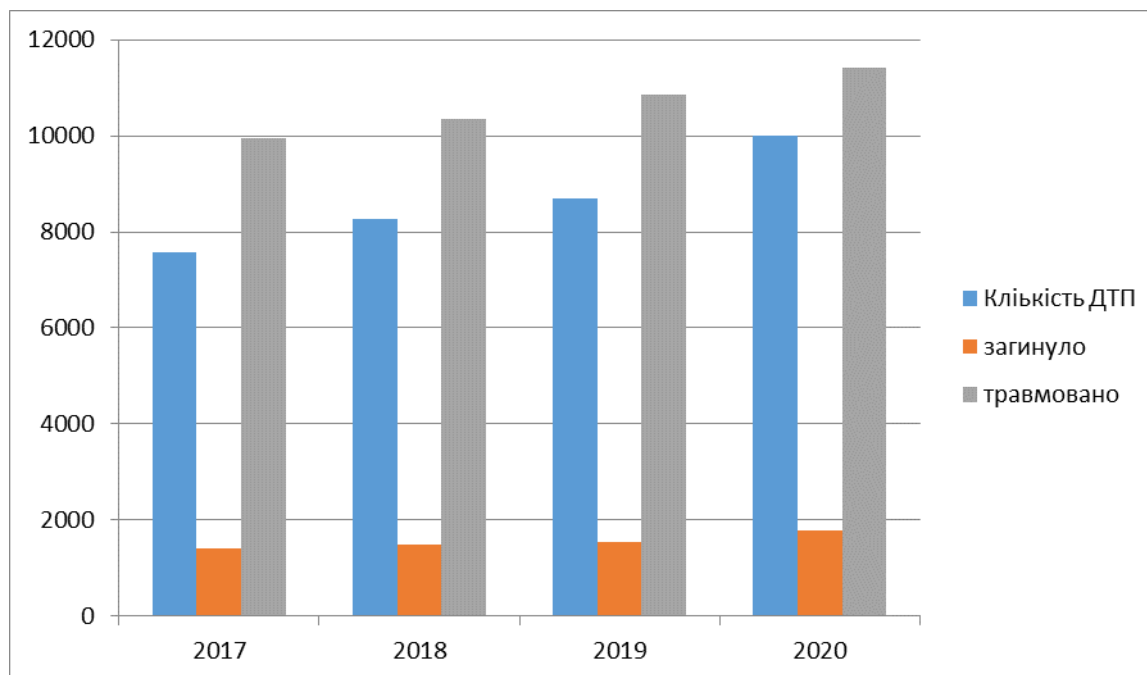


Рисунок 1 – Кількість ДТП в Україні внаслідок перевищення швидкості

Джерело: [4]

Проведений аналіз стану аварійності на автомобільному транспорті в Україні найчастіших видів ДТП та їх причин, а також тяжкість наслідків дорожньо – транспортного травматизму показав, що найбільш значимою причиною ДТП із важкими наслідками й загибеллю людей є неправильний вибір саме швидкості руху.

Оптимізація процесів експертних досліджень дорожньо-транспортних пригод є одним із шляхів вдосконалення системи контролю швидкісних режимів. Це дасть можливість забезпечити достовірність та об'єктивність реконструкцій дій учасників ДТП, встановити (з урахуванням оцінки швидкісного фактору) причинно-наслідкові зв'язки при з'ясуванні обставин на всіх етапах механізму розвитку пригоди.

Однак, існуючі в експертній діяльності методики визначення швидкостей транспортних засобів під час ДТП недостатньо враховують зміни, що відбулися на сучасному етапі як у конструкції АТЗ і в дорожньому середовищі, так і в розвитку інформаційних технологій, які забезпечують можливість оперативного й високодостовірного моделювання найскладніших ДТП.

Визначення швидкості АТЗ допомагає встановити причинно-наслідковий зв'язок між діями водія та настанням аварії.

Саме ці задачі постають перед автотехнічною експертизою, яка покликана відтворити дорожньо-транспортну ситуацію, що передувє аварії, визначити швидкісні режими АТЗ учасників ДТП, оцінити правильність дій їх водіїв за попередженням аварійних ситуацій. При цьому ключовим моментом реконструкції ДТП є розрахункове визначення швидкості АТЗ до початку їх гальмування перед зіткненням. Через особливу важливість коректного виконання такого розрахунку доцільно всебічно проаналізувати вплив швидкісного режиму руху АТЗ на можливість запобігання й на тяжкість наслідків потенційних ДТП.

Одним з основних параметрів, що визначають динаміку розвитку небезпечної ситуації та її переходу у фазу дорожньо-транспортної пригоди, є швидкість транспортного засобу до та в момент виникнення ДТП. Сучасні методики автотехнічної експертизи, пов'язані з реконструкцією ДТП, щодо визначення відповідних значень швидкості не завжди дають достовірні результати. З метою визначення проявів можливих похибок в розрахунках доцільно провести аналіз методологічних підходів до визначення швидкості АТЗ, які використовуються при проведенні автотехнічної експертизи.

Існуюча методологія визначення швидкостей АТЗ при проведенні автотехнічної експертизи представлена наступними чотирма основними методиками [5, 6].

Перша методика заснована на визначенні швидкості, виходячи тільки з наявної дорожньої обстановки. Методика використовується у випадку очевидного зв'язку ДТП із умовами дорожньої обстановки. Найбільш часто при вирішенні подібних завдань в експертній практиці зустрічається потреба визначення швидкості руху АТЗ на основі врахування максимально допустимої швидкості руху (критичної швидкості на віражі) за умовами входження в поворот [5, 6]:

$$V_{\max} = \sqrt{127 \cdot R \cdot \varphi}, \quad (1)$$

де R – радіус заокруглення дороги, м;

φ – коефіцієнт зчеплення в поперечному напрямку.

За умови видимості, в тому числі в напрямку руху [3, 4]

$$V_{\max} = 3,6 \sqrt{(j_e \cdot T^2 + 2 j_e \cdot S_B) - 3,6 \cdot j_e}, \quad (2)$$

де S_B – відстань видимості, м;

j_e – усталене сповільнення за екстреного гальмування, м/с².

$T = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3$ – час, що враховує запізнення початку гальмування, с: t_1 – час на реакцію водія, с; t_2 – час запізнення дії гальмового механізму (період від початку натискання на педаль гальм до моменту початку зниження швидкості ТЗ), с; t_3 – час зростання тиску в гальмовій системі до максимального значення, с.

Точність методики залежить від вірогідності даних за відстанню видимості та радіусу заокруглення дороги.

Друга методика – одна з найпоширеніших методик з визначення швидкості АТЗ за довжиною зафіксованих слідів гальмування, ковзання, волочіння на місці події. Зазначена методика найбільш часто застосовується при проведенні автотехнічних експертиз, що пов'язано з простотою розрахунків, та, відповідно, і швидкістю здійснення експертних досліджень.

Якщо при екстреному гальмуванні колеса транспортного засобу доводяться до блокування, його швидкість перед початком гальмування визначається за формулою [7, 8]:

$$V_A = 1,8 \cdot t_3 \cdot j_e + \sqrt{25,92 \cdot j_e \cdot (S_T - B)}, \quad (3)$$

де t_3, j_e – гальмові характеристики транспортних засобів у конкретній дорожньої ситуації, а саме: час наростання тиску в гальмовій системі (t_3 , с) і усталене сповільнення при екстреному гальмуванні (j_e , м/с²).

S_T – довжина слідів гальмування до повної зупинки транспортного засобу, м;

B – база автомобіля, м.

Даний спосіб визначення швидкості автомобіля перед зіткненням має декілька істотних недоліків. Наприклад, перший з них наступний. На вологих покриттях сліди ковзання звичайно мало помітні, а на зледенілій та засніженій дорозі можуть бути зовсім не помітні. Крім того, частки гуми протектора, що утворюють сліди на покритті з часом вивірюються або змиваються, внаслідок чого довжина сліду зменшується. Коли зазначається про другий недолік, мову зазвичай ведуть про те, що насправді гасіння швидкості автомобіля при зіткненні з іншим транспортним засобом не враховується.

Дана методика визначення швидкості автомобіля ефективна лише у випадку знаходження автомобіля наприкінці гальмового сліду, довжина якого заміряється до задніх коліс. Таке положення автомобіля характерно для випадку наїзду на пішохода.

Третя методика визначення швидкості заснована на визначенні робіт сил опору переміщенням автомобілів у процесі їх відкидання після зіткнення, тобто використовується закон збереження кількості руху.

Методика заснована на законі збереження кількості руху, і стосується визначення витрат енергії на переміщення АТЗ при їхньому відкиданні після зіткнення [3]. Відповідно до зазначеного закону, якщо геометрична сума всіх зовнішніх сил, що діють на систему, дорівнює нулю, то вектор кількості руху її буде сталим як за величиною, так і за напрямком. Вектор рівнодіючої кількості руху двох автомобілів до зіткнення й після нього залишається незмінним по величині та напрямку. Отже, паралелограми, побудовані на векторах кількості руху автомобілів до зіткнення й після нього, будуть мати загальну діагональ, що представляє собою вектор рівнодіючої кількості руху автомобілів у момент їх зіткнення (рис. 2).

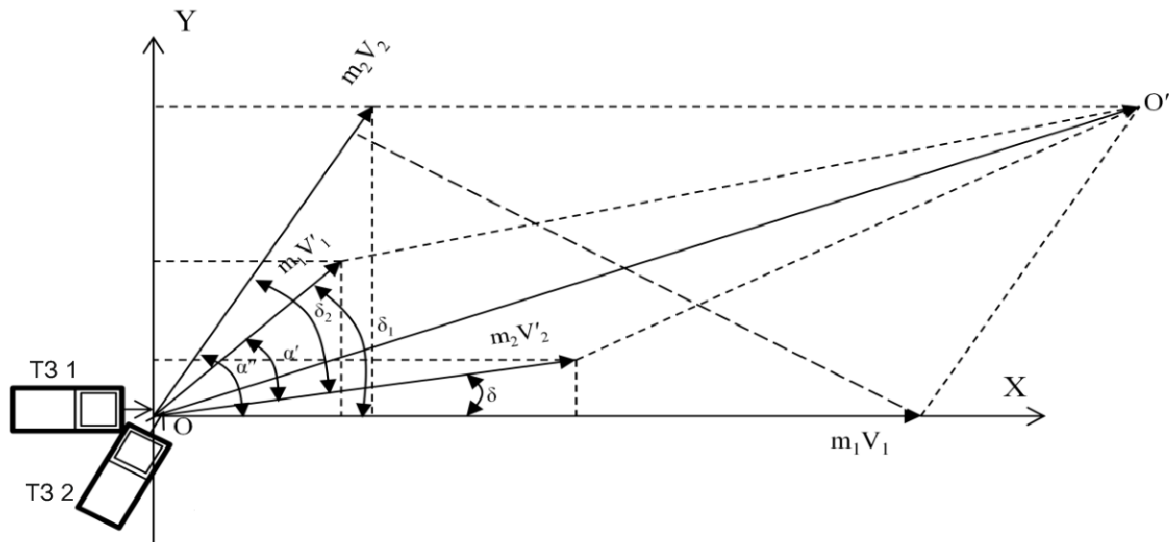


Рисунок 2 – Вектори кількості руху АТЗ до зіткнення і після нього

Джерело: розроблено авторами

Аналіз багатьох експертних висновків, проведених за представленою методикою, показує головний її недолік. Мова йде про те, що при реконструкції ДТП опір руху наявними на шляхах АТЗ граничними перешкодами до та після зіткнення, а також фактичний кут розвороту АТЗ під час зіткнення не враховуються. Таке нехтування пов'язане з відсутністю обґрунтованих відомостей щодо ролі кута розвороту та фактору формування енергетичних витрат на погашення кінетичної енергії АТЗ у випадках контактування з різними перешкодами при ДТП.

Четверта методика визначення швидкості руху АТЗ під час зіткнення за оцінкою об'єму деформації кузова легкових автомобілів. Ця методика призначена для визначення частки витрат кінетичної енергії на розвиток деформацій і еквівалентну даним витратам швидкість.

Зазначена методика дозволяє, залежно від величини деформації конструкцій автомобіля й важкості наслідків ДТП, визначити приведену швидкість автомобіля. Приведеною швидкістю називається швидкість удару автомобіля в нерухому перешкоду, яка визначається, виходячи з умови рівності кінетичних енергій і деформацій. Мова йде про випадок зіткнення двох автомобілів та наїзду автомобіля на нерухому перешкоду. Однак, ця методика потребує урахування певних допущень. Зокрема при таких визначеннях швидкості руху АТЗ вважається, що жорсткість автомобіля постійна, кінетична енергія при зіткненні витрачається тільки на деформацію автомобілів, пластична деформація пропорційна кінетичній енергії, а перешкода абсолютна жорстка.

Точність зазначеною методики може бути досить сумнівною. Це пов'язано з тим, що на швидкість руху впливає значна кількість факторів, а на утворення ушкоджень – ще більше. Значним чинником впливу є ступінь завантаженості автомобіля та розташування вантажу. Дорожні та погодні умови, зокрема коефіцієнт зчеплення, вологість покриття, сила і напрямок вітру тощо теж відіграють важливу роль.

Більшість з цих факторів практично не враховуються, а врахування деяких з них взагалі неможливо.

Висновки. Проведений аналіз стану аварійності на автомобільному транспорті в Україні, найчастіших видів ДТП та їх причин, а також тяжкість наслідків дорожньо – транспортного травматизму показав, що найбільш значимою причиною ДТП із важкими наслідками й загибеллю людей є неправильний вибір швидкості руху.

Аналіз перерахованих методик визначення швидкісних параметрів руху АТЗ під час ДТП дозволяє зробити висновок про те, що точність та обґрунтованість кожної з них значною мірою залежить від коректного добору вихідних даних, пов'язаних з наступними факторами: обставинами ДТП, сповільненням АТЗ при екстреному й робочому гальмуванні, коефіцієнтом опору коченню та зчеплення тощо. У довідковій літературі ці дані зазначаються з досить великим діапазоном розсіювання їх значень. У зв'язку із цим в роботі зроблено висновок про необхідність оцінки потенційного впливу діапазонів розкиду значень відповідних показників на результати розрахунків з визначення швидкостей АТЗ.

Враховуючи вище зазначене, необхідно зробити висновок, що на сьогодні дана тематика є досить актуальною. Зокрема, подальшого більш глибокого вивчення потребують наступні питання: методичні аспекти з визначення швидкостей руху АТЗ, що базуються на використанні законів збереження кількості руху; побудова математичної моделі взаємодії автомобільного колеса із граничною перешкодою; статистичні дослідження з формування й актуалізації бази даних за жорсткісними і демпфуючими параметрами сучасних підвісок та коефіцієнту зчеплення; порівняльна оцінка вірогідності традиційних й удосконалених методів розрахунків швидкостей руху ТЗ до зіткнення при ДТП; розробка пропозицій інструментального забезпечення пересувної лабораторії для реконструкції ДТП на місці події.

Список літератури

1. Г.В. Костельницька, та І.В. Кулиняк, Аналіз рівня аварійності та вплив коефіцієнта зчеплення на можливість скоєння ДТП і їх важкість. URL: http://www.rusnauka.com/24_PNR_2009/Tecnic/50776.doc.htm. (дата звернення: 11.11.2021).
2. Bakker, E., Pacejka H. and Lidner L. A New Tire Model with an Application in Vehicle Dynamics Studies. 1989.
3. B. Rediers, B. Yang, V. Juneja: Static and dynamic stiffness-one test both results, Proceedings of the 16th IMAC 1998.
4. Автотехнічна експертиза. Дослідження обставин ДТП: підручник для ВНЗ / А.М. Туренко, В.І. Клименко, О.В. Сараєв, С.В. Данець. Х.: ХНАДУ, 2012. 336 с.
5. Бешун О.А. Меланченко Я.О. Фактори впливу на кочення колеса. *Наукові горизонти*. 2018. №12(73). С. 45-56,
6. Шабадей А.М., Шевцов С.О., Дубонос К.В. Дорожньо-транспортні пригоди. Особливості розслідування. Х.: Факт, 2003. 127 с.
7. Шевцов С.О., Дубонос К.В. Розслідування обставин дорожньо-транспортної пригоди. Методичні рекомендації. Харків: Факт, 2002. 170 с.
8. Статистика ДТП в Україні URL: <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 17.11.2021).

References

1. Kostelnitska, H.V. & Kulyniak, I.V. (2009). *Analiz rivnia avariinosti ta vplyv koefitsiienta zcheplennia na mozhlyvist skoiennia DTP i yikh vazhkist* [Analysis of the accident rate and the influence of the coefficient of adhesion on the possibility of accidents and their severity]. Retrieved from http://www.rusnauka.com/24_PNR_2009/Tecnic/50776.doc.htm. [in Ukrainian].
2. Bakker, E., Pacejka, H. & Lidner, L. (1989). A New Tire Model with an Application in Vehicle Dynamics Studies [in English].
3. Rediers, B., Yang, B. & Juneja, V. (1998). Static and dynamic stiffness-one test both results, Proceedings of the 16th IMAC [in English].
4. Turenko, A.M., Klymenko, V.I., Saraiev, O.V. & Danets, S.V. (2012). *Avtotekhnichna ekspertyza*.

- Doslidzhennia obstavyn DTP [Auto technical examination. Investigation of the circumstances of the accident]. Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].*
5. Beshun, O.A. & Melanchenko, Ya.O. (2018). Faktory vplyvu na kochennia koleasa [Factors influencing wheel rolling]. *Naukovi Horyzonty – Scientific Horizons*, 12 (73), 45-56 [in Ukrainian].
 6. Shabadei, A.M., Shevtsov, S.O. & Dubonos, K.V. (2003). Dorozhno-transportni pryhody. Osoblyvosti rozsliduvannia [Road accidents. Features of the investigation], *Kharkiv, Fact*, 127, [in Ukrainian].
 7. Shevtsov, S.O. & Dubonos, K.V. (2002), *Rozsliduvannia obstavyn dorozhno-transportnoi pryhody [Investigation of the circumstances of the accident]. Kharkiv, Fact [in Ukrainian].*
 8. Statystyka DTP v Ukraini [Statistics of road accidents in Ukraine]. *patrol.police.gov.ua*. Retrieved from <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/> [in Ukrainian].

Ihor Shlionchak, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Lukianchenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

Valerii Harenko, forensic expert

Cherkasy Research Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

Research of Speed Factor and Methods of Speed Determination During Auto Technical Examination

The purpose of the study is to analyze the methods of determining the speed of traffic accidents with the aim of further increasing the reliability of determining the speed factor in road accidents. The set goal can be achieved by analyzing the circumstances of road accidents due to violation of the speed limit, as well as existing methods of reconstruction, examination of road accidents and determination of directions for their improvement.

The publication notes that the rapid motorization of Ukraine has naturally led to the need to ensure road safety at a new modern level. It has been established that one of the effective measures to improve the road safety system is speed control. This, in turn, involves appropriate regulation of the permitted speeds. Determining the speed of vehicles helps to establish a causal link between the driver's actions and the accident.

The analysis of the state of accidents on road transport in Ukraine, the most frequent types of road accidents and their causes, as well as the severity of the consequences of road traffic injuries showed that the most significant cause of road accidents with serious consequences and the death of people is the wrong choice of speed.

The analysis of the listed methods for determining the speed parameters of the ATZ movement during a road accident allows us to conclude that the accuracy and validity of each of them largely depends on the correct selection of initial data related to the following factors: the circumstances of the road accident, the slowdown of the ATZ during emergency and working braking, coefficient of rolling resistance and adhesion, etc. In the reference literature, these data are noted with a fairly large range of dispersion of their values. It is concluded that the most significant cause of road accidents with serious consequences and deaths is the wrong choice of speed.

road safety, traffic accident, "driver-car-road-environment", forensic auto technical examination

Одержано (Received) 16.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 22.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

С.В. Лисенко, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна

e-mail: sv07091976@gmail.com

Вплив трибологічної ефективності ресурсовизначальних спряжень деталей трансмісії на експлуатаційну надійність транспортних машин

В даній роботі розглянуто умови трибологічної ефективності спряжень дисків трансмісії ТМ, як ресурсовизначальних деталей та її вплив на експлуатаційну надійність машин. Обґрунтовано зміну гідродинамічного тертя, витрат оливи, виносна здатність оливи обертовими дисками як в ламінарному, так і турбулентному режимах потоку трансмісійної оливи. Розглянуто характер скидання оливи з робочої поверхні диска в ламінарному та турбулентному режимах.

Обґрунтована залежність моменту гідродинамічного опору від ряду впливових параметрів, а також відносного моменту опору у мультиплікативному модельному представленні через критеріальні безрозмірні комплекси. З'ясована сукупність процесів, що протікають в трибоспрямленні дисків в залежності від кутової швидкості їх обертання за виділеними п'ятьма зонами. Показано, що ефективність і надійність трансмісії ТМ залежить від сумарної сили тертя, що діє на трибоспрямлення дисків, навантаження та умов роботи.

трибологічна ефективність, спряження дисків, гідродинамічний опір, виносна здатність, ламінарний режим, турбулентний режим, трансмісія, транспортна машина, експлуатаційна надійність

Постановка проблеми. У трансмісіях транспортних машин (ТМ) широко використовуються трибоспрямлення "металокерамічні диски (МКД)-сталеві диски", що працюють у оливі. За допомогою цих трибоспрямлень, здійснюється управління рухом ТМ: з місця, перемикавання передач, повороти і гальмування [1,2].

Трибоспрямлення дисків є одним із найбільш навантажених деталей трансмісії: кількість їх включень на 1000 км пробігу досягає 12000...13000, а за одне включення час буксування може становити 0...4,5 с. При цьому питома робота тертя становить – 6,8...7,2 МДж/м², зношування – (3...5)·10⁻³ мм, збільшення температури на поверхні тертя – 130...150 °С. Характерними для трибоспрямлень деталей трансмісій є умови їх роботи: контактний тиск – від 1,4 до 6,2 МПа; початкова швидкість ковзання – до 70...75 м/с. Навантаженість трибоспрямлень дисків трансмісій ТМ суттєво залежить від їх режимів роботи. Через відмінності в умовах експлуатації ТМ навіть при однакових трансмісіях, ресурси трибоспрямлень деталей відрізняються в кілька разів [3].

Підвищення вимог до довговічності та несучої здатності дисків тертя змушує шукати шляхи покращення функціональних характеристик спряження деталей та подовження їх ресурсу. Один із перспективних напрямів є удосконалення умов змащування трибоспрямлень деталей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш характерними видами відмов трибоспрямлень дисків, що працюють в оливі, наступні: підвищений знос, короблення, усадка, руйнування сталеві основи та спікання дисків. Граничні значення зносу передусім залежить від умов формування та відновлення оливного шару між спряженими поверхнями тертя. Ці умови забезпечуються наявністю на поверхнях МКД мастильних канавок глибиною до 0,6 мм [3,4]. При інтенсивному зношуванні цьому

канавки практично зникають, що погіршує змащування дисків. В подальшому величина їх зношування різко зростає. Умови експлуатації ТМ свідчить, що допустимий знос МКД не більше 1,0 мм, при відсутності інших обмежень, пов'язаних з конструкцією та функціональними характеристиками трансмісії [5,6].

Якщо спостерігається короблення диску, то це призводить до відхилення його від плоскої форми, зменшує осьові зазори між дисками, що може призвести до контакту поверхонь тертя під час роботи в розімкнутому стані. Крім цього різко зростають втрати потужності та підвищується температура в локальних областях поверхні тертя трибоспряження. В процесі експлуатації підтверджено, що максимальний сумарний прогин дисків не повинен перевищувати сумарний зазор між дисками у вимкненому стані [7-9].

Усадка МКД може призвести до їх заклинювання на внутрішньому барабані, що обертається. Цей дефект перешкоджає вільному переміщенню дисків по шліцах і порушує нормальну роботу трибоспряжень. Щоб запобігти заклинюванню усадка диска має перевищувати величину радіального зазору в зачепленні диска з барабаном. Залежно від поєднання допусків на виготовлення радіальні та бічні зазори у з'єднанні дозволяють обмежити усадку МКД до їхнього заклинювання на барабані в межах 2,3...3,8 мм. Якщо при надмірній усадці спряжених дисків вони можуть контактувати із зовнішньою поверхнею внутрішнього обертового барабана, то на його поверхні з'являються вироблення та задири, що ускладнює переміщення МКД по шліцах внутрішнього барабана і також порушує нормальну роботу трибоспряжень дисків [10-12].

Сталевої основи дисків руйнуються або від термонапружень, зумовлених нерівномірним нагріванням робочих поверхонь дисків, або від дії на зуби дисків високочастотних динамічних віброударних навантажень, що виникають у зачепленні дисків з барабаном через крутильні коливання в динамічній системі трансмісії. Цей вид відмов характерний для певних схем та конструкцій моторно-трансмісійних установок і не є загальним випадком ушкодження трибоспряження дисків [13-15].

Взаємодія дисків з мастильним матеріалом відбувається, в основному, при розімкнених дисках або в процесі їх включення. У розімкнутому трибоспряженні мастильний матеріал охолоджує поверхні тертя і формує на них адсорбовані граничні плівки. При цьому необхідне рівномірне зрошення безперервним потоком оливи всіх локальних робочих областей дисків і одночасно повинна бути виключена можливість контактування граничних шарів, що утворилися на спряжених поверхнях [16-19]. Такий режим змащування зменшує тепловиділення та гідродинамічні втрати потужності, сприяє збільшенню коефіцієнта корисної дії. Під час включенні трибоспряжень мастильний матеріал повинен захищати взаємодіючі поверхні деталей від безпосереднього сухого контакту. Через швидкоплинність процесу буксування дисків тепловідведення в оливу практично відсутнє. Робота буксування повинна сприйматися граничними шарами мастильного матеріалу, тобто витратитися з їхньої руйнація чи відновлення [20-22]. Зазначене відбувається у результаті термохімічного взаємодії оливи з матеріалом поверхні тертя. Для зменшення зношування та формозміни дисків необхідно забезпечити певний рівень несучої здатності граничного шару. Робота буксування повинна сприйматися граничними шарами мастильного матеріалу, тобто пов'язана з руйнуванням чи відновленням, що відбуваються у результаті термохімічного взаємодії оливи з матеріалом поверхні тертя деталі. Для зменшення зношування та формозміни дисків необхідно забезпечити певний рівень несучої здатності граничного шару [16,23-25].

Відомо, що протікання вид гідродинамічних процесів в трансмісії, розвиваються між спряженими поверхнями обертових деталей. При обмежених реальних витратах оливи та дискретному способі його підведення утворюється суттєва нерівномірність

змащування та охолодження поверхонь в окружному напрямку. Крім того, в пакетах диски зношуються вкрай нерівномірно [5,27,28]. Гідродинамічне тертя визначає момент введення дисків, рівень втрат потужності, ККД і тепловий режим трибоспряження, істотно впливає на експлуатаційні характеристики трансмісії ТМ в цілому [10,13-15].

Постановка завдання. Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування зменшення гідродинамічного тертя при обмеженому змащуванні спряжень дисків трансмісій ТМ та розробка методу підвищення трибологічної надійності та ефективності їх функціонування.

Виклад основного матеріалу. Гідродинамічне тертя [13,14] описується системою рівнянь Нав'є-Стокса, яка складається з рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0; \\ \tau_{r\varphi} = \eta r + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{v_\varphi}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} \right). \end{cases} \quad (1)$$

При цьому розглядаються наступні граничні умови: $v_r = 0$, $v_\varphi = \omega R$, $v_z = 0$, коли $z = 0$, і $v_r = 0$, $v_\varphi = 0$, коли $z = h$, де v_r , v_φ , v_z – складові швидкості частинок оливи у циліндричній системі координат; $\tau_{r\varphi}$ – дотичне напруження тертя; η – динамічна в'язкість оливи; ω , R – кутова швидкість та радіус диска; h – осьовий проміжок між спряженими дисками.

Система рівнянь виступає математичною моделлю трибоспряження дисків за умови нерозривності мастильного шару в міждисковому просторі трансмісії ТМ. Виконання цієї умови залежить від співвідношення витрати Q оливи і виносної здатності Q_e обертових дисків внаслідок відцентрового ефекту і пропускної здатності вихідних отворів трибоспряження. Опір обертанню дисків, що працюють у оливі, характеризується режимом перебігу рідини в зазорі та ступенем його заповненості.

Враховуючи відносну малість розмірів середніх осьових зазорів h між дисками, можна оцінити виносну здатність обертового диска, апроксимуючи рішення Кармана [14]. Оскільки радіальна складова швидкості v_r ламінарного потоку поблизу робочої поверхні диска дорівнює:

$$v_r = 0,2\omega Rz\sqrt{\omega\rho/\eta},$$

де z – координата вздовж осі обертання;

ω і R – частота обертання та внутрішній радіус диска відповідно;

η , ρ – динамічна в'язкість та густина оливи, то виносна здатність обертового диска становить:

$$Q_e = 2\pi R \int_{z=0}^h v_r dz = 0,2\pi R h^{2,0} \omega^{1,5} \nu^{0,5}. \quad (2)$$

В той час для турбулентного потоку оливи, згідно роботи [1], маємо:

$$Q_e = 0,132\pi R^2 \omega h. \quad (3)$$

Оцінки за рівняннями (2) та (3) свідчать, що виносна здатність диску значно перевищує експлуатаційні витрати трансмісійної оливи: $Q_e \gg Q$.

В різних режимах трансмісійної оливи, враховуючи рівність виносних здатностей дисків і витрати оливи, що підводиться, товщина струменя δ дорівнює:

– для ламінарного режиму:

$$\frac{\delta}{R} = 3,17 \left(\frac{nd}{R} \right)^{-0,5} \text{Re}^{-0,75} \left(\frac{\rho Q}{\eta R} \right)^{0,5}; \quad (4)$$

– для турбулентного режиму:

$$\delta = \frac{8Q}{7ndR(\omega - \beta) \sqrt{\frac{\omega + 8\beta}{38\omega + 28\beta}}}, \quad (5)$$

де n – число дисків;

d – діаметр отвору для підведення оливи;

Re – число Рейнольдса;

β – коефіцієнт, що враховує швидкість оливи в середині зазору між дисками.

Оцінки, проведені за рівняннями (4) і (5), показують, що товщина шару оливи на дисках трансмісії як для ламінарного, так і для турбулентного режимів не перевищує 0,3 мм.

Характер скидання оливи з робочої поверхні диска трансмісії можна оцінити, виходячи з рівності сил тертя та інерції:

$$\eta \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} = -\rho \omega^2 R, \quad (6)$$

а також при дотриманні наступних граничних умов:

$$\eta \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} = 0, \text{ при } z = \delta; \quad v_r = 0, \text{ при } z = 0. \quad (7)$$

Розв'язуючи рівняння (6), з урахуванням умов (7) отримаємо:

$$v_r = -\frac{\rho \omega^2 R}{\eta} \left(\frac{z^2}{2} - z\delta \right). \quad (8)$$

Вплив геометричних параметрів розвантажувальних вікон на їхню пропускну здатність характеризується центральним кутом φ вільного виходу оливи, що визначається умовами взаємодії струменів з поверхнею зовнішнього барабана.

Якщо число Рейнольдса менше $8,6 \cdot 10^5$, то:

$$\varphi = (1 + \cos \gamma) \sum_m \arcsin(l_m / r), \quad (9)$$

де l_m – ширина розвантажувального вікна у окружному напрямку;

a_m – радіальний зазор між дисками і зовнішнім барабаном;

b_m – товщина стінки барабана у зоні розташування m -го розвантажувального вікна;

r – розрахунковий радіус;

γ – кут між потоком оливи з торцевою поверхнею розвантажувального вікна.

Аналіз виносної здатності дисків та пропускну здатності вихідних отворів зовнішнього барабана, виявив, що основні режими трибоспряжень дисків характеризуються розривністю потоку трансмісійної оливи в міждисківій області. Чисельне рішення (8) системи диференціальних рівнянь (6) у частинних похідних не враховує ряд істотних особливостей гідродинамічного тертя та умов граничного навантаження. Для отримання прийняттого рішення в цьому випадку доцільно використовувати критичні рівняння, складені на основі експериментальних даних та отриманих у роботі [17] узагальнених характеристик процесу. Такий підхід дозволяє певною мірою компенсувати дію деяких неврахованих факторів та підібрати оптимальні значення числових коефіцієнтів.

Момент гідродинамічного опору можливо уявити як функцію зазначених вище факторів:

$$M = F(\omega, \eta, \nu, Q, g, R, h, \varphi). \quad (10)$$

Користуючись методами теорії подібності та розмірностей, його статичний варіант набуває вигляду:

$$M = A \psi \omega^{\alpha_1} \rho^{\alpha_2} \nu^{\alpha_3} Q^{\alpha_4} g^{\alpha_5} R^{\alpha_6} h^{\alpha_7}, \quad (11)$$

де A – коефіцієнт пропорційності;

$\alpha_1, \dots, \alpha_7$ – показники степеня відповідних факторів;

$\psi = I + H(I - \varphi/2\pi)^k$ – симплекс, що враховує вплив умов виходу оливи з міжdiskової порожнини

За визначенням відносний момент опору дорівнює:

$$c_M = M / \rho \omega^2 R^5, \quad (12)$$

В ідеальному випадку на захоплення трансмісійної оливи дисками його відносний момент опору можна уявити, виходячи з експериментальних досліджень, як мультиплікативну модель критеріальних безрозмірних комплексів:

$$c_M = A \psi \text{Re}_1 \text{Re}_2^y \text{Fr}^t (\delta/n)^n, \quad (13)$$

де $\text{Re}_1 = \frac{\omega R \rho}{\eta}$, $\text{Re}_2 = \frac{Q \rho}{\eta R}$ – критерії Рейнольдса, що характеризують вплив на

потік оливи, що знаходиться в міжdiskовому просторі, сил в'язкісного тертя та інерційних сил від окружної та радіальної складових швидкості відповідно, де Re_1 визначається кутовою швидкістю обертання дисків, а Re_2 пов'язаний з витратою оливи, що подається; $\omega^2 R / g = \text{Fr}$ – критерій Фруда, який виражає співвідношення доцентрової сили та сили тяжіння; δ/n – симплекс, що визначає вплив ступеня деформації δ приграничного шару рідини в осьовому напрямку; A і ψ – емпіричні коефіцієнти; x, y, n, t, k – показників степеню визначені на трибоспряженнях дисків основних типів, що застосовуються у трансмісіях ТМ у широкому діапазоні зміни експлуатаційних та конструктивних параметрів.

Встановлені особливості гідродинамічної взаємодії оливи з дисками, що обертаються, дозволяють уточнити фізичну картину процесу з виділенням характерних зон експлуатації.

Графічне відображення залежності моменту M гідродинамічного опору трибоспряження дисків від кутової швидкості ω при постійних витратах і в'язкості оливи, наведено на рис. 1.

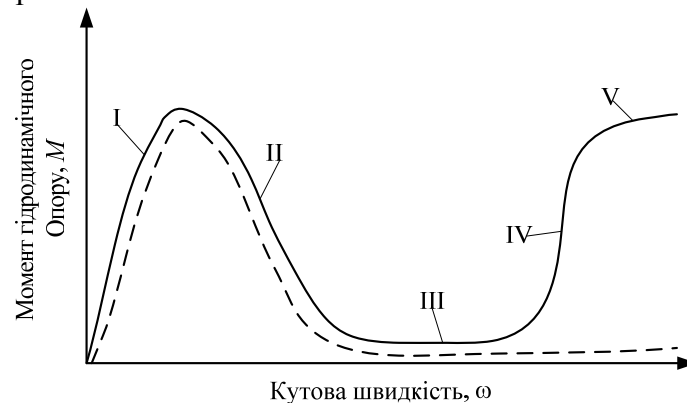


Рисунок 1 – Якісна графічної залежності моменту M гідродинамічного опору трибоспряжень дисків від кутової швидкості ω їх обертання

Джерело: розроблено автором

На кривій (рис.1) виділено п'ять характерних зон:

зона I – інтенсивне наростання моменту опору ($Re_1 < Re_{кр}$, потік ламінарний);

зона II – зменшення моменту опору ($Re_1 \approx Re_{кр}$, потік турбулентний);

зона III – незначне збільшення M при подальшому зростанні кутової швидкості дисків (потік – турбулентний);

зона IV – опір обертанню дисків різко зростає;

зона V – характеризується високим моментом гідродинамічного опору, порівняним з моментом опору в зоні I, та його подальшим незначним збільшенням.

Інерційні сили, що діють на трансмісійну оливу, можна порівняти з гравітаційними. Олива заповнює лише нижню частину міждислової порожнини. Зі зростанням кутової швидкості вплив гравітаційних сил зменшується, при цьому площа диска, що бере участь у гідродинамічному терті, збільшується. Одночасно зростає градієнт швидкості потоку. Спільний вплив зазначених факторів визначає характер зміни моменту опору.

Внаслідок збільшення виносної здатності диска, його площа, що бере участь у гідродинамічному терті, зменшується. Це відбувається внаслідок переходу оливи в окружний напрямку в струменеве та зменшення зони контакту струменів із спряженим диском у радіальному напрямку. Разом з цим зменшуються і дотичні напруження тертя. У граничному випадку ламінарний потік трансмісійної оливи повністю трансформується в турбулентний із струменевим характером течії. При цьому контакт струменів оливи на спряжених поверхнях відсутній, а момент гідродинамічного опору мінімальний.

Момент опору визначається головним чином інерційною складовою. В'язкова складова тертя практично дорівнює нулю. Аналогічно зонам I та II умови виходу оливи забезпечують її повне видалення з міждислового простору. Однак збільшення швидкості обертання дисків наближає вектор результуючої складової швидкості оливи до зовнішньої кола диска. При значній товщині кромки розвантажувальних вікон через зростаючу кінетичну енергію потоку оливи, що сприяє його рикошетуванню від цих поверхонь, у міждисковій порожнині виникають сприятливі умови для утворення оливоповітряної суміші. У цілому за рівнем моменту опору зона III найбільш зручна до роботи розімкнених спряжень дисків.

Внаслідок рикошетування оливи від кромки розвантажувальних вікон та шліців зовнішнього барабана, міждискова порожнина досить швидко заповнюється оливоповітряною сумішшю з рівномірними по всьому об'єму в'язкісно-щільними характеристиками. При цьому площа диска, що бере участь у в'язкісному терті, збільшується.

Міждискова порожнина практично повністю заповнена оливою та оливоповітряною сумішшю. Зі збільшенням частоти обертання площа диску у в'язкісному терті залишається незмінною. При цьому темп наростання моменту опору істотно нижчий, ніж у зоні I. Зі зростанням кутової швидкості диску площа тертя також збільшується. Крім того, як було зазначено раніше, дотичні напруження тертя при турбулентному русі оливи (зона V) менш чутливі до зміни градієнта швидкості, ніж при її ламінарному русі (зона I).

З погляду втрат потужності робота трибоспрямих дисків трансмісії у режимах, відповідних зоні V, несприятлива. Ця зона характерна лише для гальмівних елементів. У блокуючих трибоспрямих дисків розвантажувальні вікна зовнішнього барабана, що обертається, забезпечують, як правило, спорожнення міждислового простору (рис. 1, штрихова лінія). Слід зазначити, що в реальних умовах експлуатації трибоспрямих

дисків трансмісії працюють переважно в зонах II, III та V. Діапазон режимів їх роботи в зоні IV надзвичайно вузький, тому вплив цієї зони на момент опору можна знехтувати.

Досвід ефективної експлуатації спряжених дисків в трансмісії ТМ та аналіз їх дефектів показують, що фактичні умови роботи дисків значно відрізняються від розрахункових. У тому числі через те, що до зовнішніх факторів, що визначають характер процесу тертя, не включають короблення дисків. У реальних конструкціях трансмісій спостерігається перерозподіл зовнішнього навантаження на робочих поверхнях дисків. Внаслідок цього дослідні дані щодо коефіцієнтів тертя та зносів дисків на внутрішньому та зовнішньому радіусах не збігаються з розрахунковими. Зазначені обставини визначають необхідність урахування пружних характеристик короблених дисків при оцінці експлуатаційних властивостей трибоспряжень, взаємодіючих дисків.

Сумарна сила тертя $F_{i\Sigma}$ на одиничній (i -й) площі диска, що працює в мастильному середовищі, дорівнює:

$$F_{i\Sigma} = F_{i1} + F_{i2} + F_{i3} + F_{i4}, \quad (14)$$

де F_{i1} і F_{i2} – відповідно опори, зумовлені пластичним витісненням та пружним деформуванням матеріалу;

F_{i3} – опір на зріз граничної оливної плівки;

F_{i4} – опір, обумовлений об'ємними властивостями оливи.

Дослідження дозволили конкретизувати рівняння (14) для спряжень металокерамічних дисків, що працюють у трансмісійній оливі і отримати вираз для коефіцієнта тертя:

$$f_i = F_{i\Sigma} / N_i = [k(1 + d \exp(-cV^{x_i})) + qT](1 + l / p_i^{0.5}) + mL\eta V / p_i, \quad (15)$$

де f_i – коефіцієнт тертя на i -му радіусі диска;

N_i – навантаження на ньому;

T – поверхнева температура;

p_i – контактний тиск;

η – динамічна в'язкість оливи;

V – швидкість ковзання;

k , d , c , x_i , q , l , m , L – коефіцієнти, що залежать від фізико-механічних властивостей матеріалів, мікрогеометрії поверхонь та особливостей взаємодії спряжень дисків в трансмісії.

Під час експлуатації, якщо спостерігається короблення дисків, то це призводить до зміни тиску, температури і, як наслідок, коефіцієнта тертя вздовж радіусу дисків в трансмісії. У цьому випадку осьове навантаження P розподіляється по робочих поверхнях деталей інтенсивністю $p(r)$:

$$P = 2\pi \int_{r_{01}}^{r_{02}} p_0(r) r dr = 2\pi \int_{r_1}^{r_2} p(r) r dr, \quad (16)$$

де r_{01} , r_{02} , r_1 , r_2 – відповідно початкові та кінцеві радіуси кільцевої площі контакту з однієї та іншої сторін диска.

Перерозподіл тиску, що виникає внаслідок пружних властивостей короблених дисків впливає на зміну коефіцієнта тертя. При включенні фрикційного навантаження, воно сприймається кромками дисків і коефіцієнт тертя, в основному, визначається опорами F_{i3} і F_{i4} . Зі збільшенням зусилля стиснення поверхня контакту набуває форми

кільця через пружну деформацію матеріалу дисків та зміни їхнього взаємного розташування. Унаслідок пружних властивостей короблених дисків розподіл навантаження за їх радіусом зберігається нерівномірним. Найбільш навантаженими залишаються кромки. В цьому випадку площа тертя змінна, залежить від ступеня деформації коробленого диска. Аналітичне визначення цього процесу є ускладненим.

Таким чином, можна вважати, що при малих навантаженнях, відповідних режимам повороту ТМ, коефіцієнт тертя, переважно, визначається пружними характеристиками короблених дисків.

Подальше вивчення фізико-хімічних та механічних властивостей поверхонь взаємодіючих дисків залежно від температури контакту, фактичної площі тертя, режимів роботи та геометричних параметрів фрикційного вузла дозволить розширити наші уявлення про явища та процеси механічного, теплового, адсорбційного зміцнення та знеміцнення матеріалів дисків при терті. Це дозволить уточнити механізм взаємодії трибоспряжень деталей зі складною кінетикою хімічних реакцій, рекристалізацією, гетеродифузією, релаксацією напружень та підвищити точність оцінок експлуатаційних характеристик трансмісій ТМ. Проведені дослідження можуть бути основою для побудови математичної моделі підвищення ефективності та експлуатаційної надійності для здійснення вибору режимних параметрів функціонування трансмісій ТМ.

Висновки.

1. Виходячи з системи рівняння Нав'є-Стокса, обґрунтовується зміна ефективних характеристик спряжених дисків трансмісії: виносна здатність та витрата олива.

2. Розглянуто характер скидання оливи з робочої поверхні диска трансмісії, враховуючи сили тертя та сили інерції.

3. В якості ефективності роботи спряжених дисків трансмісії транспортних машин досліджена залежність моменту гідродинамічного опору від ряду параметрів, а також відносний момент опору від критеріїв Рейнольдса та Фруда.

4. Побудована якісна графічна залежність моменту гідродинамічного опору трибоспряжень дисків від кутової швидкості їх обертання з виділенням характерних зон та дано опис фізичної картини процесів по ним.

5. Обґрунтовано умови ефективної експлуатації спряжених дисків в трансмісії транспортних машин, виходячи із сумарної сили тертя. Визначено залежність коефіцієнт тертя на i -му радіусу диска від навантаження, поверхневої температури, динамічної в'язкості оливи та швидкості ковзання.

Список літератури

1. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної технологіями триботехнічного відновлення: монографія / Аулін В. В., Лисенко С. В., Кузик О. В. та ін.; за ред. В. В. Аулін. Кропивницький : СПД ФО Лисенко В. Ф., 2016. 303 с.
2. Калганков Є.В. Обґрунтування напрямків діагностування агрегатів об'ємних гідроприводів трансмісії мобільних машин. *Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр.* 2012. Вип. 106. С. 178-183.
3. Наглюк І. С. Концепція оцінки властивостей моторної та трансмісійної оливи транспортних машин за енергетичними параметрами: дис. доктора техн. наук: 05.22.20 . Х.: ХНАДУ, 2013. 295 с.
4. Войтов В. А., Циба М. В., Приймак А. В., Чернявський В. М. Оцінка технічного стану агрегатів трансмісії за допомогою методу емісійного спектрального аналізу олив. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів.* 2014. № 2 (1). С. 60-68.
5. Лебедєв А. Т., Шуляк М. Л., Шевченко І. О. Основні тенденції розвитку трансмісій колісних тракторів. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів.* 2017. № 8. С. 107-113.
6. Аулін, В. В., Лисенко С.В., Замота Т.М. Зменшення механічних втрат в основних спряженнях деталей дизелів МСГТ і АТГ триботехнологіями відновлення. *Науковий вісник Національного*

- університету біоресурсів і природокористування України. Сер. : Техніка та енергетика АПК. К. : НУБіП, 2017. Вип. 262. С. 211-227.
7. Характерні види втрати працездатності трансмісії транспортних засобів. / Клименко М. П., Карабін В. В., Савченко В. Б. та ін. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва»*. Вип. 139. 2013. С. 174-179.
 8. Варіанти реалізації механізму компенсації зносу фрикційних накладок веденого диску зчеплення і його застосування для вантажних автомобілів та автобусів. / Богомолов В. О., Клименко В. І., Михалевич М. Г. та ін. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2018. № 14. С. 51-59.
 9. Варваров Л. М., Гришин І. Я. Параметрична оптимізація системи "двигун-трансмісія". *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, «Механізація сільськогосподарського виробництва»*. 2018. Вип. 190 С. 31-37.
 10. Жучков В. М., Филиппов А. Н., Юдин Е. Г. Гидродинамическое трение в многодисковых фрикционных узлах. *Изв. вузов. Машиностроение*. 1982. № 2. С. 19-24.
 11. Aulin V., Hrinkiv A., Dykha A. [et al] Substantiation of diagnostic parameters for determining the technical condition of transmission assemblies in trucks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2 (1-92). P. 4-13.
 12. Dykha A., Aulin V., Babak O. Simulation of the tribological properties of motor oils by the results of laboratory tests. *Proceedings of ICCPT 2019*, May 28-29, 2019. Tern. : TNTU, Scientific Publishing House "SciView", 2019. P. 223–230.
 13. А. с. № 609069 СССР. Установка для исследования гидродинамических процессов во фрикционных устройствах / В.М. Жучков, М.Г. Жучков, Б.Ю. Павлов и др. М.: Бюл. № 2. 1978. С.125.
 14. Дорфман Л. А. Гидродинамические сопротивления и теплоотдача вращающихся тел. М.: Физматгиз, 1974. 215 с.
 15. Жучков В. М., Филиппов А. Н., Юдин Е. Г. К расчету гидродинамических потерь мощности в дисковых фрикционных узлах. *Изв. вузов. Машиностроение*. 1982. № 4. С. 3-7.
 16. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974. 653 с.
 17. Дроздов Ю. Н. Обобщенные характеристики в анализе трения и смазки тяжело нагруженных тел. *Машиноведение*. 1974. № 6. С. 70-74.
 18. Aulin V., Hryniv A., Lysenko S. et al. Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1. № 6 (97). P. 6-12.
 19. Аулін В.В., Кузик О.В., Лисенко С.В. Керування характеристиками і властивостями моторних олиф комбінованим модифікуванням. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 148, ч. 1. С. 148-155.
 20. Аулін В. В., Диха О. В., Лисенко С. В., Гриньків А. В. Вплив режиму мащення на триботехнічні характеристики поверхні спряжень деталей дизелів автомобілів. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту* : міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 14-15 листоп. 2018 р., м. Кропивницький : зб. наук. матеріалів / М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. С. 218-240.
 21. Юдин Е. Г. Трибологическая надежность фрикционных узлов трансмиссий транспортных машин. *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение*. 2004. № 2. С. 3-23.
 22. Юдин Е. Г. Прогнозирование долговечности фрикционных узлов трансмиссий гусеничных машин. *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение*. 2004. № 3. С. 3-14.
 23. Наглюк І.С. Изменение трибологических свойств моторных и трансмиссионных масел при эксплуатации. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*: наук. журнал. 2010. №6 (148). С. 135-138.
 24. Методика оцінки зносостійкості трибосполучень залежно від тривалості експлуатації олиф. / Дмитриченко М. Ф., Білякович О. М., Савчук А. М. та ін. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні : збірник наукових праць. 2015. № 822. С. 92-97.
 25. Наглюк І.С. Математические модели срока смены моторного и трансмиссионного масел при эксплуатации автомобилей. *Вісник СевНТУ: Зб. наук. праць. Серія: Машиноприладобудування та транспорт*. 2012. Вип. 135/2012. С. 160-163.
 26. Немировский Ю.В., Янковский А.П. О влиянии структуры армирования на несущую способность термоупругих металлокерамических вращающихся дисков. *Проблемы прочности*. 2001. № 4. С. 5-

- 24.
27. Кужель В.П., Оринський І.А. Аналіз переваг та недоліків сучасних автоматичних коробок перемикачів передач. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: наукові праці XIII міжнародної науково-практичної конференції, Житомир, 26-28 жовтня 2020 року*.
28. Захарик Ю.М., Захарик А.М. и др. Многофакторное моделирование работы сцепления автомобиля. *Автомобильный транспорт. Сб. науч. трудов*. 2005. Вып.16. С. 189-191.

References

1. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Kuzyk, O.V. et al. (2016). *Trybofizychni osnovy pidvyshchennia nadiinosti mobilnoi silskohospodarskoi ta avtotransportnoi tekhnolohiiamy trybotekhnichnoho vidnovlennia [Tribophysical basics of increasing the reliability of mobile agricultural and motor vehicle technologies of tribotechnical recovery]*. V. V. Aulin (Ed.). Kropyvnytskyi : SPD FO Lysenko V. F. [in Ukrainian].
2. Kalhankov, Ye.V. (2012). Obgruntuvannia napriamkiv diahnostuvannia ahrehativ obiemnykh hidropriyvdiv transmisii mobilnykh mashyn [Justification of directions for diagnosing units of volumetric hydraulic drives of the transmission of mobile machines]. *Heotekhnicheskai mekhanika: Mezhd. sb. nauch. tr. – Geotechnical mechanics: Mezhd. Sat. science tr, Vol. 106*, 178-183 [in Ukrainian].
3. Nahliuk, I.S. (2013). Kontseptsiiia otsinky vlastyvostei motornoï ta transmisiiïnoï olyvy transportnykh mashyn za enerhetychnymy parametramy [The concept of evaluating the properties of motor and transmission oil of transport vehicles according to energy parameters]: *dys. doktora tekhn. nauk*: 05.22.20 / X.: XNADU, 2013. 295 s [in Ukrainian].
4. Voitov V. A., Tsyba M. V., Pryimak A. V., Cherniavskiy V. M. (2014). Otsinka tekhnichnoho stanu ahrehativ transmisii za dopomohoiu metodu emisiïnoho spektralnoho analizu olyv [Chernyavskiy. Evaluation of the technical condition of transmission units using the method of emission spectral analysis of oils]. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv - Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes*. № 2 (1). S. 60-68 [in Ukrainian].
5. Lebediev A. T., Shuliak M. L., Shevchenko I. O. (2017). Osnovni tendentsii rozvytku transmisii kolisnykh traktoriv [The main trends in the development of transmissions of wheeled tractors]. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv - Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes*. № 8. S. 107-113 [in Ukrainian].
6. Aulin, V. V., Lysenko S.V., Zamota T.M. (2017). Zmenshennia mekhanichnykh vtrat v osnovnykh spriazhenniakh detalei dyzeliv MSHT i ATT trybotekhnolohiiamy vidnovlennia [Reduction of mechanical losses in the main conjugations of MSGT and ATT diesel engine parts by tribo-recovery technologies]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. : Tekhnika ta enerhetyka APK - Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Ser. : Technology and energy of agricultural industry*. K. : NUBiP, Vyp. 262. S. 211-227 [in Ukrainian].
7. Klymenko, M.P., Karabin, V.V.v& Savchenko V. B. et al. (2013). Kharakterni vydy vtraty pratsezdatsnosti transmisii transportnykh zasobiv [Characteristic types of vehicle transmission failure]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva - Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture. «Problemy nadiinosti mashyn ta zasobiv mekhanizatsii silskohospodarskoho vyrobnytstva»*, Issue. 139, 174-179 [in Ukrainian].
8. Bohomolov, V.O., Klymenko, V.I. & Mykhalevych, M.H. et al. (2018). Varianty realizatsii mekhanizmu kompensatsii znosu fryktsiinykh nakladok vedenoho dysku zcheplennia i yoho zastosuvannia dlia vantazhnykh avtomobiliv ta avtobusiv [Variants of implementation of the wear compensation mechanism of friction linings of the driven clutch disc and its application for trucks and buses]. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv - Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes*, 14, 51-59 [in Ukrainian].
9. Varvarov, L.M. & Hryshyn I.Ya. (2018). Parametrychna optymizatsiia systemy "dvyhun-transmisiiia" [Parametric optimization of the "engine-transmission" system]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva, «Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva»*. - *Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture, "Mechanization of agricultural production"*, Issue 190, 31-37 [in Ukrainian].
10. Zhuchkov, V.M., Filippov, A.N. & Yudin E.G. (1982). Gidrodinamicheskoe trenie v mnogodiskovykh friktsionnykh uzlah [Hydrodynamic friction in multi-disk friction units]. *Izv. vuzov. Mashinostroenie - Izv. universities Mechanical engineering*, 2, 19-24 [in Russian].
11. Aulin, V., Hrinkiv, A. & Dykha, A. et al. (2018). Substantiation of diagnostic parameters for determining

- the technical condition of transmission assemblies in trucks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2 (1-92). P. 4-13 [in English].
12. Dykha, A., Aulin, V. & Babak, O. (2019). Simulation of the tribological properties of motor oils by the results of laboratory tests. *Proceedings of ICCPT 2019*, May 28-29, 2019. Tern. : TNTU, Scientific Publishing House "SciView", 2019. P. 223-230 [in English].
 13. Ustanovka dlya issledovaniya gidrodinamicheskikh protsessov vo friktsionnykh ustroystvakh [Installation for the study of hydrodynamic processes in friction devices] (1978). V.M. Zhuchkov, M.G. Zhuchkov, B.Yu. Pavlov i dr. Avtorskoe svidetelstvo № 609069 (SSSR). M.: Byulleten izobreteniy, № 2. S.125 [in Russian].
 14. Dorfman, L.A. (1974). *Gidrodinamicheskie soprotivleniya i teplootdacha vraschayuschihsya tel* [Hydrodynamic resistance and heat transfer of rotating bodies]. Moscow: Fizmatgiz, 215 s. [in Russian].
 15. Zhuchkov, V.M., Filippov, A.N. & Yudin E.G. (1982) K raschetu gidrodinamicheskikh poter moschnosti v diskovykh friktsionnykh uzlov [To the calculation of hydrodynamic power losses in disc friction units]. *Izv. vuzov. Mashinostroyeniye - Izv. universities Mechanical engineering*, № 4, 3-7 [in Russian].
 16. Shlihting, G. (1974). *Teoriya pogrannichnogo sloya* [Boundary layer theory]. Moscow: Nauka [in Russian].
 17. Drozdov, Yu.N. (1974). Obobshchennyye harakteristiki v analize treniya i smazki tyazhelonagruzhennykh tel [Generalized characteristics in the analysis of friction and lubrication of heavily loaded bodies]. *Mashinovedeniye - Mechanical engineering*, 6, 70-74 [in Russian].
 18. Aulin, V., Hrynkiv, A., Lysenko, S.[et al. (2019). Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1. № 6 (97), P. 6-12 [in English].
 19. Aulin, V.V., Kuzyk, O.V. & Lysenko, S.V. (2014). Keruvannya kharakterystykamy i vlastyvostrymy motornykh olyv kombinovanykh modyfikuvanniam [Management of the characteristics and properties of motor oils by combined modification]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu - Collection of scientific works of the Ukrainian State Academy of Railway Transport*, Issue 148, part. 1, 148-155 [in Ukrainian].
 20. Aulin, V.V., Dykha O.V., Lysenko S.V. & Hrynkiv A.V. (2018). Vplyv rezhymu mashchennia na trybotekhnichni kharakterystyky poverkhni spriazhenykh detalei dyzeliv avtomobiliv [The influence of the lubrication regime on the tribotechnical characteristics of the surfaces of the couplings of car diesel parts]. *Innovatsiini tekhnologii rozvytku ta efektyvnosti funktsionuvannia avtomobilnoho transportu - Innovative technologies of the development and efficiency of the operation of road transport* : mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf., (14-15 lystop. 2018 r., m. Kropyvnytskyi) : zb. nauk. materialiv / M-vo osvity i nauky Ukrainy, Tsentralnoukrain. nats. tekhn. un-t. Kropyvnytskyi : TsNTU, S. 218-240 [in Ukrainian].
 21. Yudin, E. G. (2004). Tribologicheskaya nadezhnost friktsionnykh uzlov transmissiy transportnykh mashin [Tribological reliability of friction units of transmissions of transport machines]. *Vestnik MGTU im. N. E. Bauman. Ser. Mashinostroyeniye - Bulletin of the Moscow State Technical University named after N. E. Bauman. Ser. Mechanical engineering*, 2, 3-23 [in Russian].
 22. Yudin, E.G. (2004) Prognozirovaniye dolgovechnosti friktsionnykh uzlov transmissiy gusenichnykh mashin [Prediction of durability of friction units of transmissions of tracked machines]. *Vestnik MGTU im. N. E. Bauman. Ser. Mashinostroyeniye - Bulletin of the Moscow State Technical University named after N. E. Bauman. Ser. Mechanical engineering*, 3, 3-14 [in Russian].
 23. Naglyuk, I.S. (2010). Izmeneniye tribologicheskikh svoystv motornykh i transmissionnykh masel pri ekspluatatsii [Change in tribological properties of motor and transmission oils during operation]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia: nauk. zhurnal - Bulletin of the Eastern Ukrainian National University named after V. Dalia: Science. magazine*. 6 (148), 135-138 [in Russian].
 24. Dmytrychenko, M.F., Biliakovich, O.M. & Savchuk, A.M. et al. (2015). Metodyka otsinky znosostiikosti trybospoluchen zalezchno vid tryvalosti ekspluatatsii olyv [Methodology for evaluating the wear resistance of tribocompounds depending on the duration of use of oils]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Seriya: Optyimizatsiia vyrobnychyykh protsesiv i tekhnichniy kontrol u mashynobuduvanni ta prykladobuduvanni : zbirnyk naukovykh prats - Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Series: Optimization of production processes and technical control in mechanical engineering and instrument engineering: a collection of scientific works*, 822, 92-97 [in Ukrainian].
 25. Naglyuk, I.S. (2012). Matematicheskie modeli sroka smeny motornogo i transmissionnogo masel pri ekspluatatsii avtomobiley [Mathematical models of the timing of changing motor and transmission oils when using cars]. *Visnyk SevNTU: Zb. nauk. prats. Seriya: Mashynoprykladobuduvannia ta transport - Bulletin of SevNTU: Coll. of science works Series: Mechanical engineering and transport*, Issue 135/2012, 160-163 [in Russian].

26. Nemirovskiy, Yu.V. & Yankovskiy, A.P. (2001). O vliyanii strukturyi armirovaniya na nesuschuyu sposobnost termouprugih metallokeramicheskikh vraschayuschihsya diskov [On the influence of the reinforcement structure on the bearing capacity of thermoelastic metal-ceramic rotating discs]. *Problemyi prochnosti – Problems tribology*, 4, 5-24 [in Russian].
27. Kuzhel, V.P. & Orynskyi, I.A. (2020). Analiz perevah ta nedolikh suchasnykh avtomatichnykh korobok peremykannia peredach [Analysis of advantages and disadvantages of modern automatic gearboxes]. Suchasni tekhnolohii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu - Modern technologies and prospects for the development of road transport: naukovi pratsi KhIII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, Zhytomyr, 26-28 zhovtnia 2020 roku [in Ukrainian].
28. Zaharik, Yu.M. & Zaharik, A.M. et al. (2005). Mnogofaktornoe modelirovanie raboty stsepleniya avtomobilya [Multifactor modeling of the car's clutch operation]. *Avtomobilnyi transport. Sb. nauch. trudov - Automobile transport. Sat. science labor, Issue 16*, 189-191 [in Russian].

Serhii Lysenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

The Influence of the Tribological Efficiency of Resource-Determining Joints of Transmission Parts on the Operational Reliability of Transport Vehicles

This work examines the conditions of tribological efficiency of couplings of TM transmission discs as resource-determining parts and its influence on the operational reliability of machines. The change in hydrodynamic friction, oil consumption, oil carrying capacity by rotating disks in both laminar and turbulent modes of transmission oil flow is substantiated. The nature of oil discharge from the working surface of the disk in laminar and turbulent modes is considered.

Based on the system of the Navier-Stokes equation, the change in the effective characteristics of the coupled transmission discs is substantiated: carrying capacity and oil consumption.

The nature of oil discharge from the working surface of the transmission disc is considered, taking into account the friction forces and inertia forces. The dependence of the moment of hydrodynamic resistance on a number of parameters, as well as the relative moment of resistance on the Reynolds and Froude criteria, was investigated as the efficiency of the coupled discs of the transmission of transport vehicles.

A qualitative graphical dependence of the moment of hydrodynamic resistance of tribocouplers of disks on the angular speed of their rotation is constructed, with the selection of characteristic zones, and a description of the physical picture of the processes in them is given.

The well-founded dependence of the moment of hydrodynamic resistance on a number of influencing parameters, as well as the relative moment of resistance in the multiplicative model representation through criterion dimensionless complexes.

The set of processes occurring in the tribo-coupling of disks depending on the angular speed of their rotation in five selected zones has been clarified. It is shown that the efficiency and reliability of the TM transmission depends on the total frictional force acting on the tribo-coupling of the discs, load and operating conditions.

tribological efficiency, disk coupling, hydrodynamic resistance, bearing capacity, laminar mode, turbulent mode, transmission, transport machine, operational reliability

Одержано (Received) 07.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 19.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

А.В. Гриньків, ст. викл., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: avgrinkiv@gmail.com

Можливості логістичних моделей вибору комплексу технічних впливів на забезпечення працездатності транспортних машин

В роботі на основі логістичного підходу, теорії нечітких множин і нечітких відносин між їх елементами розглянуто можливості логістичних моделей вибору комплексу технічних впливів на забезпечення працездатності транспортних машин. Якість забезпечення працездатності машин пов'язується з варіантом стратегій їх технічного обслуговування і ремонту. Проаналізовано п'ять логістичних моделей на шести варіантах забезпечення працездатності машин: модель максимального згортання, модель абсолютного рішення, модель основного параметра (фактора), модель компромісного рішення, модель еталонного порівняння.

Для кожної з моделей проведена формалізація поставленої задачі і розроблено покроковий алгоритм рішення, визначено переваги і недоліки, проведено порівняльний аналіз. Виявлено, що якість оптимізації поставленої задачі залежить від обсягів інформації і підходу, який реалізовано в конкретній логістичній моделі. Визначено, що при наявності достатньо повної інформації про досліджувані процеси можливо рекомендувати до реалізації на практиці логістичну модель еталонного порівняння як ефективну і більш оптимальну.

працездатність, транспортні машини, технічні впливи, логістичні моделі, нечіткі множини, оптимізація

Постановка проблеми. Розроблення і прийняття рішень по використанню концепції системного аналізу, як правило, здійснюється вибором оптимальної альтернативи серед безлічі допустимих засобів досягнення поставленої мети. Суб'єктивно такий підхід сприймається саме як мета, тобто мета полягає в оптимізації системи по одному або декілька із заданих критеріїв. При розгляді реальних складних систем технічного сервісу, як системи забезпечення працездатності транспортних машин (ТМ) певною стратегією технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р). Як правило, при цьому з'являється декілька цілей, причому вони можуть мати суперечливий характер [1].

Оптимізація функціонування систем технічного сервісу неможлива визначенням однієї мети або встановленням жорсткої ієрархії цілей. Це пояснюється тим, що для різних рівнів виконання завдання встановлюються свої критерії: для споживача послуг технічного сервісу – мінімум витрат для прийнятного рівня працездатності ТМ; для сервісного підприємства – мінімальна собівартість послуг, що надаються; для районного та обласного рівнів – забезпечення функціонування сільськогосподарського та іншого виробництва з належним рівнем механізації основних процесів і т.д [2].

Для вибору і обґрунтування системи забезпечення працездатності ТМ доцільним і ефективним є логістичні принципи і методи. Замість жорсткої детермінованої моделі використовується модель, спрямована на пошук компромісу між різними цілями знаходження рішень, які в тій чи іншій мірі задовольняють всім висунутим критеріям.

Такий підхід необхідний тоді, коли відчувається дефіцит інформації для лінійного ранжирування рішень і можливим залишається тільки групове ранжування. Однак слід відзначити, що при використанні компромісного підходу вибір найкращого варіанту можливий тільки в тих випадках, коли використовуються коректні логістичні моделі та алгоритми вибору [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема управління станом ТМ під час технічних дій тісно пов'язана із сучасною проблемою обробки великою за обсягом базою даних (інформації про стан) [1], то зростання складності управлінських ситуацій і систем управління вимагає застосування радикальних наукових рішень. Одними з таких варіантів рішення є логістичний підхід [3] та розподілене інтелектуальне мережеве управління, засноване на застосуванні кіберфізичного підходу при створенні, функціонуванні та удосконаленні логістичних транспортно-виробничих систем [4].

В системі технічного сервісу використовують інтелектуальне внутрішньомережеве моделювання [5-7].

Формування кіберфізичного та логістичного підходів дослідження технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту доцільним є при використанні методів теорії чутливості [8], особливо це стосується використання критеріїв статистичної інформативної та відносної чутливості [9,10], а також еволюційні обчислювання їх життєвого циклу на основі генетичних алгоритмів [11-14]. При цьому корисним є застосування теоретико-методологічних основ побудови логістичних транспортних і виробничих систем [15-17] та їх моделей. В системі технічного сервісу машин [18] увагу слід зосередити на розробці моделей стратегії технічного обслуговування та ремонту, які є найбільш ефективними з економічної точки зору [2]. Актуальними залишаються методи формування системи технологічного забезпечення працездатного стану ТМ на основі кіберфізичного підходу [19] та концептуального дослідження логістичних транспортних і виробничих систем [9]. Це передусім стосується логістичних підприємств агропромислового виробництва [10, 20]. Підвищується ефективність функціонування логістичних систем технічного сервісу при реалізації фізико-інформаційного підходу [21], автоматизації і інформатизації ТМ на основі розподільної системи управління мехатронними модулями [13].

Можлива організація логістичних центрів в Україні [22] на основі структурно-функціональних резервних схем процесу доставки із забезпеченням ефективності їх функціонування [23]. Кіберфізичний та логістичний підходи передбачають самоорганізацію транспортно-виробничих систем, в т.ч. систем технічного сервісу ТМ [24] та дослідження їх стану [25]. Слід також зазначити, що при моделюванні систем технічного сервісу використовуються результати впровадження кіберфізичних технологій та розроблення нової системи організації та управління логістичними потоками [26-30].

Постановка завдання. Метою даної роботи є виявлення можливостей логістичних моделей вибору комплексу технічних впливів на забезпечення працездатності транспортних машин.

Виклад основного матеріалу. Обґрунтуємо використання логістичного підходу до вибору підсистеми забезпечення працездатності ТМ при наявності декількох критеріїв на основі нечітких множин.

Постановку задачі представимо через множину можливих варіантів V організації ТО і Р ТМ з метою забезпечення їх працездатності:

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n\} \quad (1)$$

Кожен варіант характеризується певною сукупністю параметрів оцінки якості Q :

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_j, \dots, q_m\} \quad (2)$$

Між кожним членом множини V і кожним членом множини Q існують нечіткі відносини v_q або τ_{ij} . Відносини τ_{ij} відображають рівень відповідності i -го варіанта системи технічного сервісу вимогам до забезпечення працездатності ТМ за j -м параметром:

$$\tau_{ij} \in [0,1], i = \overline{1,n}, j = \overline{1,m}. \quad (3)$$

Після об'єднання всіх нечітких відносин v_q між v_i і q_j отримаємо матрицю нечітких відносин T розміром $n \times m$:

$$T = \{\tau_{ij} | i = \overline{1,n}, j = \overline{1,m}\}, \quad (4)$$

з якої потрібно вибрати кращий варіант v_{opt} з множини V .

Математичну постановку задачі вибору системи забезпечення працездатності ТМ (технічного сервісу) представимо у вигляді:

$$v_{opt} = opt(V, Q, T, M), \quad (5)$$

де M – використовувана модель вирішення задачі.

Для вирішення завдання вибору оптимальної і ефективної системи ТО і Р ТМ розглянемо шість варіантів стратегій ТО і Р ТМ в експлуатації: $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6$. Визначено три фактори виконання якості операцій:

q_1 – дотримання періодичності ТО і нормативного часу простою та ремонту;

q_2 – вартість технологічних процесів;

q_3 – забезпечення величини ресурсу обслуговуваних машин не менше призначеної заводом-виробником.

Результати оцінки кожного варіанта стратегій ТО і Р за вказаними факторами виконання якості операцій наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Оцінка рівня варіанту стратегій ТО і Р ТМ за факторами якості виконання операцій

Варіанти стратегій ТО і Р ТМ	Оцінювання варіантів за факторами якості виконання операцій		
	Дотримання періодичності виконання ТО та нормативного часу простою та ремонту, q_1	Вартість виконання технологічних процесів ТМ, q_2	Забезпечення величини ресурсу обслуговуваних ТМ не менш призначеної заводом-виробником, q_3
v_1	0,45	0,85	0,50
v_2	0,80	0,65	0,80
v_3	0,65	0,60	0,75
v_4	0,75	0,75	0,50
v_5	0,50	0,80	0,75
v_6	0,85	0,90	0,85

Джерело: розроблено автором

Зазначимо, що в залежності від логістичної моделі вибору комплексу технічних впливів на забезпечення працездатності ТМ, результати вирішення поставленого завдання можуть бути різними на одній і тій самій вихідній базі даних.

Крім цього найбільш часто зустрічаються ситуації, в яких потрібно розробляти і приймати управлінські рішення щодо вибору стратегії ТО і Р та комплексу технічних впливів. Кожній ситуації можливо поставити у відповідність певні логістичні моделі

рішення задачі:

- відсутність інформації по обмеженню на значень факторів працездатності ТМ і інформації про рівень їх важливості;
- наявна можливість вибору варіанту, що забезпечує значення всіх факторів працездатності ТМ не гірше необхідних;
- вказані обмеження за деякими основними факторами працездатності ТМ;
- наявна можливість ранжирування факторів працездатності ТМ за рівнем їх важливості і визначення частки впливу кожного фактору на спільне рішення;
- наявна можливість забезпечення значень факторів та їх ранжування.

Вирішення поставленого завдання здійснюється на основі логістичних моделей: максимінного згортання, абсолютного рішення, основного параметра (фактора), компромісного рішення, еталонного порівняння.

Сутність моделі максимінного згортання полягає в тому, що оптимальним вважається варіант, який має мінімальні недоліки за всіма факторами. Математична побудова моделі заснована на операції перетину нечітких множин:

$$C_q = q_1 \cap q_2 \cap \dots \cap q_j \cap \dots \cap q_m, \quad (6)$$

де C_q – кінцева оцінка якості варіанту з певною операцією перетину часткових факторів q_j , $j = \overline{1, m}$.

Технологічно операція перетину нечітких множин реалізується різними способами. Найчастіше цій операції відповідає взяття мінімуму:

$$\tau_{C_q}(v_i) = \min \tau_j, j = \overline{1, m}. \quad (7)$$

При цьому формалізована задача (5) набуває вигляду:

$$v_{opt} = \{v_i | v_i \in V; \tau_{C_q}(v_i) = \max \tau_{C_q}(v_i), i = \overline{1, n}\}. \quad (8)$$

Задачу (5) у формалізованому вигляді (8) вирішують за допомогою покрокового алгоритму логістичної моделі максимінного згортання:

1. Обрати варіанти v_i та для кожного з них за формулою (7) знайти значення кінцевого оцінювання якості $\tau_{C_q}(v_i)$.

2. Визначити максимальне значення кінцевого оцінювання якості: $\tau_{C_q}(v_i) = \max \tau_{C_q}(v_i), i = \overline{1, n}$.

Кінцеві оцінки якості варіантів стратегій ТО і Р за логістичною моделлю максимінного згортання становить:

$$\begin{aligned} \tau_{L_q}(v_1) &= \min\{\tau_{1j}; j = 1, 2, 3\} = \min(0,45; 0,85; 0,50) = 0,45; \\ \tau_{L_q}(v_2) &= \min\{\tau_{2j}; j = 1, 2, 3\} = \min(0,80; 0,65; 0,80) = 0,65; \\ \tau_{L_q}(v_3) &= \min\{\tau_{3j}; j = 1, 2, 3\} = \min(0,65; 0,60; 0,75) = 0,60; \\ \tau_{L_q}(v_4) &= \min\{\tau_{4j}; j = 1, 2, 3\} = \min(0,75; 0,75; 0,55) = 0,55; \\ \tau_{L_q}(v_5) &= \min\{\tau_{5j}; j = 1, 2, 3\} = \min(0,50; 0,70; 0,75) = 0,50; \\ \tau_{L_q}(v_6) &= \min\{\tau_{6j}; j = 1, 2, 3\} = \min(0,85; 0,90; 0,85) = 0,85; \end{aligned}$$

Максимальне значення кінцевої оцінки якості варіантів дорівнює:

$$\tau_{L_q}^{\max} = \max\{0,45; 0,65; 0,60; 0,55; 0,50; 0,85\} = \tau_{L_q}(v_6) = 0,85.$$

Таким чином, остаточним результатом розв'язання задачі є останній, шостий, варіант τ .

Дослідження свідчить, що для використання логістичної моделі максимінного згортання потрібен мінімальний обсяг вхідної інформації, а алгоритм її вирішення

достатньо простий. Крім цього слід зазначити, що використання цієї моделі завжди дає рішення. Разом з тим слід враховувати, що варіант, який має високі оцінки по ряду факторів і низьку оцінку, хоча б тільки по одному факторів, оцінюється, в кінцевому підсумку, як варіант з низьким рівнем якості, тобто модель є реалізацією песимістичного підходу і може ігнорувати хороші оцінки варіантів забезпечення працездатності ТМ.

При використанні логістичної моделі абсолютного рішення необхідно задати мінімально допустимі значення факторів якості q_j . При цьому математична побудова завдання у формалізованій формі матиме такий вигляд:

$$v_{opt} = \{v_1 | v_1 \in V; \tau_{ij} \geq \tau_j^{\min} \forall j = \overline{1, m}\}. \quad (9)$$

Алгоритм рішення задачі (9) за логістичною моделлю абсолютного рішення можливо представити наступним чином:

1. Встановити мінімальне допустиме значення $\tau_j^{\min}$ для фактору q_j $\tau_j^{\min} \in [0, 1], j = \overline{1, m}$.
 2. Розглянути варіанти v_i множини V , починаючи з першого варіанта v_1 .
 3. Перевірити умову $\tau_{ij} \geq \tau_j^{\min}$, починаючи з $j=1$. Якщо умова виконується, то переходимо до п.4, якщо ні до п.6.
 4. Визначити, чи всі параметри перевірені для варіанта v_i . Якщо $j < m$, то повторити п.3 для наступного параметра ($j=j+1$), інакше (всі параметри перевірені) переходимо до п.5.
 5. Включити варіант v_i в множину V .
 6. Визначити, чи всі параметри перевірені. Якщо $j < n$, то повторити п.2 для наступного параметра ($i=i+1$) інакше (всі параметри перевірені) переходимо до п.7.
 7. Перевірити на порожність множини V_{opt} . Якщо $V_{opt} = \emptyset$, тобто жоден варіант не відповідає всім обмеженням, то перейти до п.8, інакше перейти до п.9.
 8. Для виходу з положення використати два способи:
 - пом'якшуємо обмеження на один або кілька факторів працездатності ТМ і повернутися до п.2 для перегляду варіантів;
 - розширити множину V , тобто знайти нові варіанти: $v_{opt i} \in V$, та повернутися до п.2 для розгляду нових варіантів $v_{opt i}$.
 9. Якщо множина V містить тільки один варіант v_{opt} , то рішення задачі закінчується, в іншому випадку (є кілька варіантів) використати наступні шляхи:
 - вибирати один з оптимальних варіантів $v_{opt i}$ множини V і закінчити рішення задачі;
 - посилити обмеження на один або кілька факторів працездатності ТМ і повернутися до п.2 для перегляду варіантів, що входять в множину V , при цьому у п.3 перевірку провести тільки для тих факторів, у яких посилені обмеження.
- Використовуючи дані табл.1 для рішення завдання по логістичній моделі абсолютного рішення, встановлено наступні мінімальні допустимі значення факторів:

$$\tau_1^{\min} = 0,50; \quad \tau_2^{\min} = 0,65; \quad \tau_3^{\min} = 0,60.$$

Наведемо результат при перевірці варіантів за формулою (9):

- варіант v_1 (0,45; 0,85; 0,50) – не відповідає вимогам за факторами q_1 і q_3 ;
- варіант v_3 {0,65; 0,60; 0,75} – не відповідає вимогам по фактору q_2 ;
- варіант v_4 (0,75; 0,75; 0,55) – не відповідає вимогам по фактору q_3 . Всі ці три

варіанти видаляються з множини.

Результатом рішення є $v_{opt} = \{v_2, v_5, v_6\} = \{(0,80; 0,65; 0,80), (0,50; 0,70; 0,75), (0,85; 0,90, 0,75)\}$.

За фактором q_1 варіанти v_5 і v_6 мають однакові значення. Однак жоден з цих варіантів не може бути оцінений як більш кращий.

Ця логістична модель має основний недолік: не враховуються рівні важливості (вага) факторів. Можливий випадок, коли варіант буде задовольняти обмеженням по вагомим факторам, але не включається у множину V через те, що не виконується обмеження по менш вагомому фактору.

Формалізація завдань(5) за логістичною моделлю основного параметру(фактору) має наступний вигляд:

$$\begin{cases} V_{opt\ 0} = \{v_i | v_i \in V, i = \overline{1, n}\} \\ V_{opt\ j} = \{v_i | v_i \in V_{j-1}; \tau_{1j} \geq \tau_j^{\min}\} \\ j = \overline{1, m}. \end{cases} \quad (10)$$

Рішення завдання (10) через реалізацію логістичної моделі основного параметру (фактору) виконується за алгоритмом. У кожному пункті вибирають основний параметр, і пошук оптимального рішення ведеться тільки за основним параметром (фактором). Результат пункту (множина рішень) приймають за множину можливих рішень наступного пункту.

Після m кроку, якщо множина рішень $V_{opt\ m}$ має кілька варіантів, здійснити одну з двох дій:

– вибирати один з варіантів множини можливих рішень і закінчити рішення задачі (10);

– повернутися до п.1, при цьому початкову множину можливих рішень визначити наступним чином: $V_{opt\ 0} = V_{opt\ m}$ та посилити обмеження на значення факторів. Рішення необхідно проводити до того моменту, коли в шуканій множині рішень залишиться тільки один варіант.

Алгоритм рішення задачі (10) складається з пунктів:

0. (Підготовчий пункт) фактори множини Q сортувати по рівню їх важливості. При цьому відповідно змінити порядкові номери факторів, тобто перший фактор q_1 – самий важливий, q_2 – трохи менш важливий і т.д.

1. Оптимізувати множину $V_{opt\ 0}$ по основному фактору. На даному етапі самим важливим фактором є перший фактор, тобто q_1 . Встановити мінімальне допустиме значення по основному фактору $\tau_1^{\min}$. Пошук оптимального рішення виконати за формулою: $V_{opt\ 1} = \{v_i | v_i \in V_{opt\ 0}; \tau_{1j} \geq \tau_1^{\min}\}$.

2. Оптимізувати множину $V_{opt\ 1}$ за наступним основним фактором q_2 . Аналогічно п.1 встановити $\tau_2^{\min}$ та визначити множину $v_{opt\ 2}$.

3. Оптимізувати множину $V_{opt\ 2}$ по основному фактору q_3 .

... ..

$m-1$. Оптимізувати множину $V_{opt\ m-2}$ по основному фактору q_{m-1} .

m . Оптимізувати множину $V_{opt\ m-1}$ за основним фактором q_m .

На кожному j -му пункті ($j = \overline{1, m}$) можливі наступні варіанти:

– знайдено варіант, що задовольняє вимогам за всіма факторами. Рішення завдання закінчують на даному етапі;

– множина рішень не порожня ($V_{opt\ j} \neq \emptyset$) і не всі фактори розглянуті ($j < m$).

Перейти до наступного пункту ($j=j+1$);

– множина рішень порожня ($V_{opt\ j} = \emptyset$). При цьому або зм'якшити обмеження на даному етапі і повторюють перевірку, або повертаються до попереднього пункту ($j=j-1$) з пом'якшенням його обмеження.

Рішення завдання (10) логістичною моделлю основного параметра (фактора) здійснюється з використанням таблиці 1.

Мінімальні допустимі значення при цьому встановлюємо такими ж, як у попередній моделі. Крім цього, зазначимо, що найважливішим фактором є забезпечення величини ресурсу обслуговуваних ТМ q_3 , наступний фактор за рівнем важливості – вартість виконання технологічних процесів ТО і Р ТМ q_2 . Фактор q_1 – дотримання періодичності виконання ТО і нормативного часу простою в ТО і Р має найнижчий рівень важливості. Здійснимо оптимізацію по цим факторам q_1, q_2, q_3 :

1. Оптимізація по параметру q_1 : варіант v_1 виключаємо з множини рішень $\tau_{11} = 0,45 < \tau_1^{\min} = 0,50$, тобто результатом є: $V_{opt\ 1} = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$.

2. Оптимізація по параметру q_2 : варіант v_3 виключаємо з множини рішень $\tau_{32} = 0,60 < \tau_2^{\min} = 0,65$, тобто результатом є: $V_{opt\ 2} = \{v_1, v_2, v_4, v_5, v_6\}$.

3. Оптимізація по параметру q_3 : варіант v_4 виключаємо з множини рішень $\tau_{43} = 0,50 < \tau_3^{\min} = 0,60$, тобто результатом є: $V_{opt\ 3} = \{v_1, v_2, v_3, v_5, v_6\}$.

Дана ситуація аналогічна попередній, де застосовується модель абсолютного рішення. Важко віддати перевагу одному з варіантів v_2, v_5, v_6 .

Не дивлячись на те, що в модель включено апарат, що враховує рівень важливості факторів, модель не дає хорошого рішення у випадках, коли кінцева множина рішень $V_{opt\ m}$ містить кілька варіантів. Це пов'язано з тим, що при цьому жоден з них не може бути оцінений як кращий.

Основними перевагами даної моделі є врахування рівня важливості факторів і можливість коригування обмежень на значення факторів безпосередньо, що призводить до прискорення процесу вирішення задачі.

Якщо частинні критерії часто суперечливі і можливості одночасного задоволення їх вимог, як правило, обмежені, то при прийнятті рішень необхідно із залученням моделі компромісного рішення. При цьому слід орієнтувати на використання компромісного або інтегрального фактора, одержуваного в результаті згортання часткових факторів.

Задамося рівнями важливості факторів множини Q у вигляді вектора:

$$L = (l_1, l_2, \dots, l_j, \dots, l_m), \quad (11)$$

де l_j – рівень важливості фактора q_j ; l_j приймає значення від нуля (фактор не має впливу на вибір) до одиниці. Фактор здійснює максимальний вплив на вибір рішення v_i .

Після встановлення значень рівня важливості фактору q_j , здійснюють їх нормалізацію:

$$\tilde{l}_j = l_j / \sum_{l=1}^m l_l. \quad (12)$$

Інтегральний параметр якості варіантів v_i позначимо через функцію F :

$$F_2 = (f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_n), \quad (13)$$

де F_2 – значення інтегрального параметра якості для варіанта v_i .

Функцію F визначимо за такою залежністю:

$$F = L \cdot T,$$

або

$$(f_1, \dots, f_i, \dots, f_n) = \begin{pmatrix} \tau_{11} & \dots & \tau_{1m} \\ \dots & \tau_{ij} & \dots \\ \tau_{n1} & \dots & \tau_{nm} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} l_1 \\ \dots \\ l_m \end{pmatrix},$$

тобто

$$f_i = \sum_{j=1}^m (\tau_{ij} \cdot l_j). \quad (14)$$

Враховуючи зазначене вище завдання (5) при застосування логістичної моделі компромісного рішення перетвориться в наступну форму:

$$v_{opt} = \left\{ v_i \mid v_i \in V; f_i = \max \{ f_i \mid f_i \in F; i = \overline{1, n} \} \right\} \quad (15)$$

Логістичний алгоритм вирішення задачі (15) полягає в наступному.

1. Встановити рівні важливості параметрів l_j , $j = \overline{1, m}$.
2. Нормалізувати значення рівня важливості l_j за формулою (12).
3. Обчислити для кожного варіанту значення v_i інтегрального параметра f_i , $i = \overline{1, n}$ за формулою (14).
4. Визначити максимальне значення інтегрального параметра $f_i = \max \{ f_i \mid f_i \in F; i = \overline{1, n} \}$.

Варіант V_l – це рішення задачі (15).

Дана логістична модель не тільки враховує рівень важливості параметрів, але і частку впливу кожного параметра на якість спільного рішення, що усуває недоліки моделі рішення за основним фактором. Крім цього, модель завжди забезпечує наявність рішення задачі.

Рішення задачі за моделлю компромісного варіанту здійснимо з використанням даних таблиці 1.

Рівні важливості трьох факторів q_1 , q_2 , q_3 візьмемо з рішення задачі за попередньою моделлю. Після нормалізації вектор L має наступний вигляд:

$$L = (0,55; 0,35; 0,25)^T.$$

Вирахуємо значення інтегрального параметру, якості варіантів ТО і Р:

$$F = \begin{pmatrix} 0,45 & 0,85 & 0,50 \\ 0,80 & 0,65 & 0,80 \\ 0,65 & 0,60 & 0,75 \\ 0,75 & 0,75 & 0,50 \\ 0,50 & 0,80 & 0,75 \\ 0,85 & 0,90 & 0,85 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,55 \\ 0,35 \\ 0,25 \end{pmatrix},$$

або

$$F = \{0,683; 0,867; 0,755; 0,800; 0,792; 0,995\}.$$

$$f_{\max} = f_6 = 0,995.$$

Варіанта v_6 є оптимальним рішенням задачі за логістичною моделі компромісного варіанту.

Недоліком моделі є те, що високе значення інтегрального фактора f_i не гарантує

знаходження варіанту, що повністю відповідає всім висунутим вимогам. Низьке значення одного фактора (нижче, ніж потрібно при використанні моделі абсолютного рішення) може бути компенсовано високим значенням іншого значущого фактора, тобто не завжди досягається адекватність оцінки варіантів рішень.

Модель, що дозволяє усунути недоліки розглянутих вище моделей є модель еталонного порівняння. Її сутність полягає в побудові еталонного варіанту підсистеми обслуговування і ремонту ТМ. Фактори цього варіанту приймають мінімальні допустимі значення τ_0 ; $j = \overline{1, m}$. Кожен варіант v_i множини V порівнюємо з еталоном v_e . Якщо якості у варіанту v_j не гірше, ніж у еталону v_e за всіма параметрами, то варіант v_i , включаємо в множину рішень і для нього розраховуємо інтегральний параметр якості f_i . Для еталонного варіанту інтегральний параметр приймає нульове значення $f_e = 0$. Оптимальним буде рішення з максимальним значенням інтегрального параметра f_{max} .

Математична форма запису за логістичною моделлю виглядає наступним чином:

$$v_{opt\ i} = \{v_i | v_i \in V; \tau_{ij} \geq \tau_{0j}, j = \overline{1, m}\}$$

$$\tilde{f}_i = \max\{f_i | f_i \in F; i = \overline{1, n}\} \quad (16)$$

$$\text{де} \quad f_i = \sum_{j=1}^m (\tau_{ij} - \tau_{0j}) \cdot l_j. \quad (17)$$

Логістичний алгоритм вирішення задачі (16) полягає в наступному:

1. Формувати еталонний варіант v_e , тобто встановити мінімальні допустимі значення τ_{0j} для параметрів q_j , $j = \overline{1, m}$.

2. Встановити рівень важливості параметрів l_j , $j = \overline{1, m}$.

3. Нормалізувати значення l_j за формулою (12).

4. Порівняти варіант v_i множини V з еталонним варіантом v_e , починаючи з першого варіанту v_i ($i=1$). При цьому перевіряємо умову $\tau_{ij} \geq \tau_{0j}$, $j = \overline{1, m}$. Якщо виконуються не всі умови, то перейти до п.6, інакше (всі умови виконані) переходимо до кроку 5

5. Включити варіант v_i в множину V_{opt} та для даного варіанту визначити значення інтегрального параметру якості f_i за формулою (17).

6. Визначити чи всі варіанти перевірені. Якщо $i < n$, то повторити п.4 для наступного варіанту ($i = i+1$), інакше (всі варіанти перевірені) переходимо до п.7.

7. Перевірити порожність множини V_{opt} . Якщо $V_{opt} = \emptyset$, тобто якості у всіх варіантів множини V гірше, ніж у еталонного варіанта v_e , то перейти до п. 8, інакше перейти до п. 9.

8. Проаналізувати два способи виходу з положення: зм'якшуємо обмеження на один або кілька факторів шляхом перебудови еталонного варіанту v_e і повернутися до п.4 для перегляду варіантів; 2) розширити множину V , тобто знаходимо нові варіанти $V_{opt\ i} \in V$, і повернутися до п.4 для розгляду нових варіантів $V_{opt\ i}$.

9. Визначити максимальне значення інтегрального параметру $\tilde{f}_i = \max\{f_i | f_i \in F; i = \overline{1, n}\}$. Варіант v_i це рішення задачі (16).

При рішенні задачі за моделлю еталонного порівняння використовуємо дані таблиці 1.

Щоб не змінювати умови задачі, приймаємо еталонний варіант $v_e = (0,40; 0,60; 0,55)$ і вектор $L = (0,55; 0,35; 0,25)^T$.

Також як у випадках другої і третьої моделей, варіанти v_1 , v_3 і v_4 виключаємо з

множини рішень. Залишаються три варіанти: v_2 , v_5 і v_6 . Їх інтегральні параметри мають наступні значення:

$$\tilde{f}_2 = (0,80 - 0,40) \cdot 0,55 + (0,65 - 0,60) \cdot 0,35 + (0,80 - 0,55) \cdot 0,25 = 0,3000,$$

$$\tilde{f}_5 = (0,50 - 0,40) \cdot 0,55 + (0,80 - 0,60) \cdot 0,35 + (0,75 - 0,55) \cdot 0,25 = 0,1750,$$

$$\tilde{f}_6 = (0,85 - 0,40) \cdot 0,55 + (0,90 - 0,60) \cdot 0,35 + (0,85 - 0,55) \cdot 0,25 = 0,4275.$$

$$f_{\max} = f_6 = 0,4275.$$

Оптимальний результатом розв'язання задачі є варіант $v_6 = (0,85; 0,90; 0,85)$.

Основним недоліком цієї моделі є те, що для прийняття рішення потрібно значно більше інформації у порівнянні з іншими моделями. Модель еталонного порівняння є поєднанням моделі абсолютного рішення і моделі компромісного рішення. При наявності досить повної інформації про умови і процеси експлуатації ТМ повинна використовуватися саме ця модель. Вона дає рішення, яке більшою мірою відповідає вимогам завдання вибору раціональної системи ТО і Р транспортних машин.

Порівняння результатів рішення задачі вибору стратегії ТО і Р ТМ за логістичними моделями показує, що результати по набору раціональних варіантів відрізняються, незважаючи на те, що вихідні дані у всіх розрахунках не є суперечливими. Чи не повний збіг результатів пояснюється тим, що при вирішенні задачі різними методами використовуються неоднакові обсяги інформації, а також тим, що використовуються різні підходи до прийняття рішень. При наявності достатньо повної інформації про досліджувані процеси може бути рекомендована до застосування модель еталонного порівняння, яка дозволяє отримати рішення, яке більш адекватно відповідає умовам і вимогам завдання.

Висновки.

1. Обґрунтовано забезпеченість працездатності транспортних машин системою їх технічного обслуговування і ремонту на основі логістичного підходу та зроблено відповідну постановку задачі з використанням критеріїв та відносин елементів теорії нечітких множин.

2. Для вирішення завдання вибору оптимальної і ефективної системи технічного сервісу розглянуто шість варіантів стратегій технічного обслуговування і ремонту транспортних машин з використанням логістичних моделей: максимінного згортання, абсолютного рішення, основного параметра (фактору), компромісного рішення (варіанту), еталонного порівняння.

3. Для кожної з логістичних моделей наведені варіанти оптимальних рішень та трансформовано основну задачу у формалізованому вигляді.

4. З'ясовано, що кожну з розглянутих логістичних моделей можливо використовувати на одній і тій множині варіантів стратегій технічного обслуговування та ремонту транспортних машин.

5. Виявлено основні недоліки та переваги логістичних моделей та їх специфіку. Розроблені логістичні алгоритми розв'язання формалізованих задач.

6. Порівнянням результатів за різними варіантами рішення, щодо вибору стратегії технічного обслуговування і ремонту транспортних машин, визначено їх несуперечливість, незважаючи на неоднакові обсяги інформації. Якщо інформація достатньо повна, то для реалізації на практиці найбільш оптимальною є логістична модель еталонного порівняння.

Список літератури

1. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія / В.В. Аулін, Д.В. Голуб, А.В. Гриньків, С.В. Лисенко; під заг. ред. В.В. Ауліна. Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.
2. Преимущества интеллектуальной стратегии технической эксплуатации с точки зрения экономической эффективности. / В.В. Аулин та ін. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2018. Вип. 192. С. 29-40.
3. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем : монографія / В.В. Аулін та ін.; під заг. ред. В.В. Ауліна. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. 503 с.
4. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем : монографія / В. В. Аулін та ін.; під заг. ред. В. В. Ауліна. Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2020. 428с.
5. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Кіберфізичний підхід при створенні, функціонуванні та удосконаленні транспортно-виробничих систем. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2020. Вип. 3(34). С.331-343.
6. Кіберфізичні системи ж основа інтелектуалізації "Розумних" підприємств. / В.Ю. Мейтус та ін. *Управляющие системы и машины*. 2019. №4. С.14-26.
7. Техничко-економическое обоснование преимущества интеллектуальной стратегии технического обслуживания и ремонта легкового автомобиля. / В.В. Аулин, Т.Н. Замота, О.Н. Замота, А.В. Гриньків. *Вісник інж. академії України*. 2017. №4. С.50-56.
8. Аулін В.В., Гриньків А.В. Метод визначення тенденцій зміни технічного стану засобів транспорту з використанням критеріїв статистичної інформативності та відносної чутливості. *Крамаровські читання: зб. тез доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції, 22-23 лют. 2018 р., К.: Видавничий центр НУБіП України*, 2018. С. 132-135.
9. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Концептуальний підхід дослідження функціонування транспортних систем. *Перспективні напрями розвитку регіональних транспортних та логістичних систем: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 22-23 травня 2018 р. Харків: ХНАДУ*, 2018. С.14-17.
10. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Удосконалення системи транспортного обслуговування підприємств агропромислового виробництва. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж.міжвід.наук.-техн. зб.* 2017. Вип. 47, ч.ІІ. С. 3-10.
11. Аулин В.В., Панков А.А. Эволюционное вычисление жизненного цикла технических средств на основе генетических алгоритмов. *Вісник інж. академії України*. 2017. №2. С.116-119.
12. Aulin V.V., Pankov A.A. (2018). Avtomatizatsiya i informatizatsiya transportnyih sredstv na osnove raspredelennoy sistemy upravleniya s intellektualnyimi mehatronnyimi modulyami [Automation and informatization of vehicles based on a distributed control system with intelligent mechatronic modules]. Innovative technologies for the development and efficiency of road transport: *zbirnyk naukovykh materialiv mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii - a collection of scientific materials of the international scientific-practical Internet conference*, TsNTU m.Kropyvnytskyi, Ukraine, 14-15 lystopada 2018 roku. Kropyvnytskyi. S.97-100 [in Russian].
13. Аулин В.В., Панков А.А. Автоматизация и информатизация транспортных средств на основе распределенной системы управления с интеллектуальными мехатронными модулями. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту: збірник наукових матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, ЦНТУ м.Кропивницький, Україна, 14-15 листопада 2018 року. Кропивницький*. 2018. С.97-100.
14. Аулін В.В., Панков А.О., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Щеглов А.В. Розробка інтелектуального мехатронного модуля для системи управління дозуванням. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2019): збірник тез Дванадцятої міжнародної науково-практичної конференції, 21-22 травня 2019 року, Київ, Україна. К.: НАУ*, 2019. С.173-175.
15. Аулин В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Теоретико-методологічні основи побудови транспортно-логістичних систем. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: Матеріали VI-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 12-13 квітня 2018 року. Вінниця: ВНТУ*, 2018. С.9-10.
16. Аулін В.В. Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортно-логістичній системі АПК. *Міжвузівський збірник "Наукові нотатки"*. Луцьк: Луцький НТУ, 2018. №62. С.8-11.
17. Аулін В.В., Великодний Д.О., Голуб Д.В., Дьяченко В.О. Підвищення ефективності управління

- логістичним ланцюгом постачання в транспортній системі. *Крамаровські читання: зб. тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції*. 21-22 лют. 2019 р., м. Київ: НУБіП, 2019. С. 195-198.
18. Принципи побудови та функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу автотранспортної та мобільної сільськогосподарської техніки / Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. та ін. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2020. № 22. С. 162-174.
19. Аулін В.В., Великодний Д.О. Методи формування системи транспортно-технологічного забезпечення в АПК. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення: збірник наукових праць за матеріалами VIII-ї Міжнародної науково-практичної конференції*, 23-25 травня 2018р. Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2018. С. 15-17.
20. Aulin V., Velykodnyi D., Dyachenko V. Concept of development and formation of transport-logistic systems in the agroindustrial complex. *Modern Management: Logistics and Education. Monograph*. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2018. P.165-169.
21. Аулін В.В., Голуб Д.В. Реалізація фізико-інформаційного підходу дослідження проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування транспортних систем. *Вестник ХНАДУ*, 2018. вып. 81. С.21-28.
22. Aulin V., Pavlenko O., Velikodnyy D., Kalinichenko O, Hrinkiv A., Diychenko V., Dzyura V. Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference*, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine. С.120-134.
23. Аулін В.В., Голуб Д.В. Забезпечення ефективності функціонування транспортних систем шляхом підвищення надійності структурно-функціональних резервних схем процесу доставки. *Наука – виробництво 2019: зб. тез доповідей викладачів, аспірантів та співробітників І наукової конференції*, 18 квітня 2019 року. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С. 17-20.
24. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Принципи самоорганізації автомобільних транспортних систем. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали VIII-ої міжн. наук.-практичної інтернет-конф.*, 14-15 квітня 2020 року: зб. наук. праць / МОН України, ВНТУ [та ін.]. Вінниця: ВНТУ, 2020. С.17-19.
25. Аулін В.В., Гриньків А.В. Кіберфізичний підхід в дослідження стану технічних систем. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*, 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.168-169.
26. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Інтелектуальні транспортні системи як результат впровадження інноваційних ефективних технологій. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*, 15-17 квітня 2020 р. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.207.
27. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О., Кернус Р.О. Необхідність розроблення нової системи організації та управління логістичними потоками. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*, 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.236-237.
28. Khaitan et al. Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey, *IEEE Systems Journal*, 2014, 9(2), pp.1-16.
29. Jianjun S.et al.The analysis of traffic control Cyber-physical systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2013. Т. 96. С. 2487-2496.
30. Ван Чунжі, Яцишин С. П., Лиса О. В., Мідик А.-В. В. Кіберфізичні системи та їх програмне забезпечення. *Вимірювальна техніка та метрологія: міжвідомчий науково-технічний збірник*. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2018. Том 79. № 1. С. 34-38.

References

1. Aulin, V.V., Golub, D.V., Grinkiv, A.V. & Lisenko, S.V. (2017). *Metodologichni i teoretichni osnovi zabezpechennya ta pidvishennya nadiynosti funkcionuvannya avtomobilnih transportnih sistem: monografiya* [Methodological and theoretical bases of maintenance and increase of reliability of functioning of automobile transport systems]. Kropivnickij: Vidavnictvo TOV "KOD" [in Ukrainian].
2. Aulin, V.V., Zamota, T.N., Grinkiv, A.V., Zamota, O.M. & Chernay, A.E. (2018). Preimuschestva intelektualnoy strategii tehnikeskoy ekspluatatsii s tochki zreniya ekonomicheskoy effektivnosti [Advantages of intelligent strategy of technical operation from the point of view of economic efficiency].

- Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka - Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, Issue. 192, 29-40 [in Russian].*
3. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V., Lysenko, S.V., Holovaty, A.O. & Holub, D.V. (2021). *Teoretychni i metodolohichni osnovy lohistyky transportnykh i vyrobnychkh system [Theoretical and methodological foundations of the logistics of transport and production systems]* Kropyvnytskyi: Vydavets Lysenko V.F. [in Ukrainian].
 4. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V. & Holovaty, A.O. et al. (2020). *Metodolohichni osnovy proektuvannia ta funktsionuvannia intelektualnykh transportnykh i vyrobnychkh system [Methodological bases of designing and functioning of intelligent transport and production systems]* Kropyvnytskyi : Lysenko V. F. [in Ukrainian].
 5. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V. & Holovaty, A.O. (2020). Kiberfizychni pidkhid pry stvorenni, funktsionuvanni ta udoskonalenni transportno-vyrobnychkh system [Cyber-physical approach in the creation, functioning and improvement of transport and production systems]. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky- Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences, Issue. 3(34), 331-343 [in Ukrainian].*
 6. Meitus, V.Yu., Morozova, H.I., Taran, L.Yu., Kozlova, V.P. & Maidaniuk, N.V. (2019). Kiberfizychni systemy zh osnova intelektualizatsii "Rozumnykh" pidpriemstv [Cyberphysical systems are the basis of intellectualization of "Smart" enterprises]. *Upravliaiushchye systemy y mashyny - Control systems and machines, 4, 14-26 [in Ukrainian].*
 7. Aulin, V.V., Zamota, T.N., Zamota, O.N. & Grinkiv, A.V. (2017). *Tehniko-ekonomicheskoe obosnovanie preimuschestva intelektualnoy strategii tehnikeskogo obsluzhivaniya i remonta legkovogo avtomobilya [Feasibility study of the benefits of an intelligent strategy for maintenance and repair of passenger cars]. Visnyk inzh. akademii Ukrainy - Bulletin of Eng. Academy of Ukraine, 4, 50-56 [in Russian].*
 8. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V. (2018). Metod vyznachennia tendentsii zminy tekhnichnoho stanu zasobiv transportu z vykorystanniam kryteriiv statystychnoi informatyvnosti ta vidnosnoi chutlyvosti [The method of determining trends in the technical condition of vehicles using the criteria of statistical informativeness and relative sensitivity]. *Kramarov readings: zb. tez dopovidei V Mizhnarodnoi naukovotekhnichnoi konferentsii - collection. abstracts of the V International Scientific and Technical Conference, (22-23 liut. 2018 r.), Kyiv: Vydavnychiy tsentr NUBiP Ukrainy, 132-135 [in Ukrainian].*
 9. Aulin, V.V., Holub, D.V. & Hrynkiv, A.V. (2018). Kontseptualnyi pidkhid doslidzhennia funktsionuvannia transportnykh system [Conceptual approach to the study of the functioning of transport systems]. *Perspective directions of development of regional transport and logistics systems: materialy Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii - materials of the International scientific-practical conference, (22-23 travnia 2018 r). Kharkiv: KhNADU, 14-17 [in Ukrainian].*
 10. Aulin, V.V., Holub, D.V. & Hrynkiv, A.V. (2017). Udokonalennia systemy transportnoho obsluhovuvannia pidpriemstv ahropromyslovoho vyrobnytstva [Improving the system of transport services for agro-industrial enterprises]. *Zahalnodержавnyi mizhvidomchyi naukovotekhnichniy zbirnyk. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn - National interdepartmental scientific and technical collection. Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue. 47, part.II, 3-10 [in Ukrainian].*
 11. Aulin, V.V. & Pankov, A.A. (2017). Evolyutsionnoe vyichislenie zhiznennogo tsikla tehnikeskikh sredstv na osnove geneticheskikh algoritmov [Evolutionary calculation of the life cycle of technical means based on genetic algorithms]. *Visnyk inzh. akademii Ukrainy - Bulletin of Eng. Academy of Ukraine, 2, 116-119 [in Russian].*
 12. Aulin, V.V., Pankov, A.O., Hrynkiv, A.V., Holub, D.V. & Shcheglov, A.V. (2019). Rozrobka intelektualnoho mekhatronnoho modulia dlia systemy upravlinnia dozuvanniam. *Intehrovani intelektualni robototekhnichni komplekxy (IIRTK-2019): zbirnyk tez Dvanadtsiatoi mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii, (21-22 travnia 2019 roku, Kyiv) . Kyiv: NAU, 173-175 [in Ukrainian].*
 13. Aulin, V.V., Pankov, A.O., Zamot,a T.M., Lyashuk, O.L., Hrynkiv, A.V., Tykhyi, A.A. et al. (2019). Development of mechatronic module for the seeding control system. *INMATEH – Agricultural Engineering, vol. 59, 3, P. 181-188 [in English].*
 14. Aulin, V.V., Pankov, A.O., Zamota, T.M., Lyashuk, O.L., Hrynkiv, A.V., Tykhy,i A.A. et al. (2019). Development of mechatronic module for the seeding control system. *INMATEH – Agricultural Engineering, vol. 59, no.3, P. 181-188.*
 15. Aulin, V.V., Velykodnyi, D.O. & Diachenko, V.O. (2018). Teoretyko-metodolohichni osnovy pobudovy transportno-lohistychnykh system [Theoretical and methodological foundations of construction of

- transport and logistics systems]. Problems and prospects for the development of road transport: *Materialy VI-oї mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii - Proceedings of the VI International Scientific and Practical Internet Conference*, 12-13 kvitnia 2018 roku. Vinnytsia: VNTU, S.9-10 [in Ukrainian].
16. 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 agro-industrial complex]. *Mizhvuzivskyi zbirnyk "Naukovi notatky" - Interuniversity collection "Scientific Notes"*, 62, 8-11 [in Ukrainian].
 17. Aulin, V.V., Velykodnyi, D.O., Holub, D.V. & Dchenko, V.O. (2019). Pidvyshchennia efektyvnosti upravlinnia lohistychnym lantsiuhom postachannia v transportnii systemi [Improving the efficiency of logistics supply chain management in the transport system]. *Kramarov readings: zb. tez dopovidei VI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii - collection. abstracts of the VI International Scientific and Technical Conference*. 21-22 liut. 2019 r., m. Kyiv: NUBiP, S. 195-198 [in Ukrainian].
 18. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V., Lysenko, S.V. et al. (2020). Pryntsypy pobudovy ta funktsionuvannia kiberfizychnoi systemy tekhnichnoho servisu avtotransportnoi ta mobilnoi silskohospodarskoї tekhniky [Principles of construction and functioning of cyberphysical system of technical service of motor transport and mobile agricultural machinery]. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv – Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes*, 22, 162-174 [in Russian].
 19. Aulin, V.V. & Velykodnyi, D.O. (2018). Metody formuvannia cystemy transportno-tekhnologichnoho zabezpechennia v APK [Methods of formation of the system of transport and technological support in the agro-industrial complex]. *Transport and logistics: problems and solutions: zbirnyk naukovykh prats za materialamy VIII-yi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - a collection of scientific papers on the materials of the VIII International Scientific and Practical Conference*, 23-25 travnia 2018r. Odesa: KUPRIENKO SV, S. 15-17 [in Ukrainian].
 20. Aulin, V., Velykodnyi, D. & Dyachenko, V. (2018). Concept of development and formation of transport-logistic systems in the agroindustrial complex. *Modern Management: Logistics and Education*. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, P.165-169 [in English].
 21. Aulin, V.V. & Holub, D.V. (2018). Realizatsiia fizyko-informatsiinoho pidkhotu doslidzhennia problemy pidvyshchennia nadiinosti ta efektyvnosti funktsionuvannia transportnykh system [Implementation of the physical and information approach to the study of the problem of improving the reliability and efficiency of transport systems]. *Vestnik HNADU - Bulletin of KhNADU*, vyip. 81. S.21-28 [in Ukrainian].
 22. Aulin, V., Pavlenko, O., Velikodnyy, D., Kalinichenko, O., Hrinkiv, A., Diychenko, V. & Dzyura V. (2019). Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference*, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine. C.120-134 [in English].
 23. Aulin, V.V. & Holub, D.V. (2019). Zabezpechennia efektyvnosti funktsionuvannia transportnykh system shliakhom pidvyshchennia nadiinosti strukturno-funktsionalnykh rezervnykh skhem protsesu dostavky [Ensuring the efficiency of transport systems by increasing the reliability of structural and functional backup schemes of the delivery process]. *Science - production 2019: zb. tez dopovidei vykladachiv, aspirantiv ta spivrobotnykiv L naukovoї konferentsii - coll. abstracts of reports of teachers, graduate students and staff of the L scientific conference*, 18 kvitnia 2019 roku. Kropyvnytskyi: TsNTU, S. 17-20 [in Ukrainian].
 24. Aulin, V.V., Holub, D.V., Bilichenko, V.V. & Zamurenko, A.S. (2020). Pryntsypy samoorhanizatsii avtomobilnykh transportnykh system [Principles of self-organization of automobile transport systems]. *Problems and prospects for the development of road transport: materialy VIII-oї mizhn. nauk.-praktychnoi internet-konf. - materials of the VIII International scientific-practical Internet conference*, 14-15 kvitnia 2020 roku, VNTU, S.17-19 [in Ukrainian].
 25. Aulin, V.V. & Hrynkiv, A.V. (2020). Kiberfizychnyi pidkhid v doslidzhennia stanu tekhnichnykh system [Cyberphysical approach to the study of technical systems]. *Increase of Machine and Equipment Reliability: materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the International scientific-practical conference*, 15-17 kvitnia 2020 r. Kropyvnytskyi: TsNTU, S.168-169 [in Ukrainian].
 26. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V. & Holovatyi, A.O. (2020). Intelktualni transportni systemy yak rezultat vprovadzhennia innovatsiinykh efektyvnykh tekhnolohii [Intelligent transport systems as a result of the introduction of innovative efficient technologies]. *Increase of Machine and Equipment Reliability: materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the International scientific-practical conference*, 15-17 kvitnia 2020 r. – Kropyvnytskyi: TsNTU, S.207[in Ukrainian].
 27. Aulin V.V., Hrynkiv A.V., Holovatyi A.O., Kernus R.O. (2020). Neobkhdnist rozroblennia novoi

- systemy orhanizatsii ta upravlinnia lohistychnymy potokamy [The need to develop a new system of organization and management of logistics flows]. Increase of Machine and Equipment Reliability: *materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - materials of the International scientific-practical conference*, 15-17 kvitnia 2020 r. Kropyvnytskyi: TsNTU, S.236-237 [in Ukrainian].
28. Khaitan et al. Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey (2014), *IEEE Systems Journal*, 9(2), pp.1-16 [in English].
 29. Jianjun, S. et al. (2013). The analysis of traffic control Cyber-physical systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences. Issue. 96*, 2487-2496 [in English].
 30. Van Chunzhi, Yatsyshyn S.P., Lysa O.V. & Midyk A.-V.V. (2018.) Kiberfizychni systemy ta yikh prohramne zabezpechennia [Cyberphysical systems and their software]. Measuring equipment and metrology: *mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk – interdepartmental scientific and technical collection*, Vol 79, № 1, 34-38 [in Ukrainian].

Andrey Grinkiv, Senior Researcher, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Possibilities of Logistic Models for Choosing a Complex of Technical Influences on Ensuring the Operational Efficiency of Transport Vehicles

Based on the logistic approach, the theory of fuzzy sets and fuzzy relations between their elements, the paper examines the possibilities of logistic models for choosing a complex of technical influences on ensuring the operational efficiency of transport vehicles. The quality of ensuring the working capacity of machines is connected with the variant of their maintenance and repair strategies. Five logistic models were analyzed based on six options for ensuring machine performance: the model of maximum contraction, the model of the absolute solution, the model of the main parameter (factor), the model of a compromise solution, and the model of reference comparison.

Ensuring the operational efficiency of transport vehicles by the system of their technical maintenance and repair based on the logistic approach is substantiated, and the appropriate statement of the problem is made using the criteria and relations of the elements of the theory of fuzzy sets. It was found that each of the considered logistic models can be used on one and the same set of variants of strategies for maintenance and repair of transport vehicles. By comparing the results of different decision options regarding the choice of a strategy for maintenance and repair of transport vehicles, their consistency was determined, despite the unequal amount of information. If the information is sufficiently complete, then the logistic model of reference comparison is the most optimal for implementation in practice.

For each of the models, the task was formalized and a step-by-step solution algorithm was developed, advantages and disadvantages were determined, and a comparative analysis was carried out. It was found that the quality of optimization of the given task depends on the amount of information and the approach implemented in a specific logistic model. It was determined that if there is sufficiently complete information about the researched processes, it is possible to recommend the logistic model of reference comparison as effective and more optimal for implementation in practice.

performance, transport machines, technical influence, logistic models, fuzzy sets, optimization

Одержано (Received) 06.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 20.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 656.072

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.240-245](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.240-245)**Ю.В. Дзяди́кевич**, проф., д-р техн. наук, **Н.М. Фалович**, доц., канд. екон. наук,**П.В. Попович**, проф., д-р техн. наук, **О.С. Шевчук**, доц., канд. техн. наук*Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна**e-mail: yu.dziadykevych@wunu.edu.ua, n.falovych@gmail.com, p.popovych@wunu.edu.ua,**o.s.shevchuk@wunu.edu.ua***Л.Н. Чорній**, завідувач*Професійний ліцей Галицького коледжу імені В'ячеслава Чорновола, Тернопіль, Україна**e-mail: chorniyl@ukr.net*

Зарубіжна практика регулювання автомобільних перевезень

Метою написання статті є аналіз чинних нормативно-правових регулятивних процесів щодо забезпечення ефективного виконання транспортних перевезень з точки зору застосування успішного міжнародного досвіду та інтеграції із кращими європейськими практиками.

Наукова новизна статті полягає у запропонованому авторами структуруванню етапів розвитку і взаємодії української транспортної системи із європейськими партнерами.

Подальші дослідження в межах порушеної тематики повинні передбачати узгодження різних дій та заходів, запроваджених в Україні в межах інтеграції вітчизняної транспортної системи у загальноєвропейську мережу.

транспортна система, автомобільні перевезення, регулювання, інтеграція, співробітництво, міжнародний рівень

Постановка проблеми. Враховуючи статус транзитних країн, вигідне транспортно-географічне розташування – на перетині європейських та євразійських транспортних шляхів, міжнародних вантажних і транспортних коридорів, розвиток автомобільних доріг є пріоритетним напрямком транспортної політики України. Транспортна стратегія України на період до 2030 року, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р.

Стратегія визначає розвиток інтермодальних перевезень, створення мережі взаємопов'язаних логістичних центрів та інтермодальних терміналів на основних транспортних вузлах, прикордонних портах тощо. Правові питання здійснення та організації перевезень вантажів прямим змішаним транспортом у різний час були предметом обговорення в науковій та юридичній літературі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням вдосконалення транспортного законодавства вже приділили свою увагу деякі вітчизняні вчені, зокрема В. Й. Развадовський, І. В. Булгакова, Є. В. Довженко, Т. А. Колянковська, М. Л. Шелухін, Р. Я. Тюрин та інші, проте актуальним є дослідження питання щодо доцільності кодифікації транспортного законодавства як способу його вдосконалення з урахуванням досвіду інших країн.

Однак за сучасної ситуації розвитку українського транспортного ринку та побудови цілісної транспортної мережі, конкуренції між різними видами перевезень, міжнародного розвитку контейнеризації ці питання є особливо важливими та потребують перегляду.

Постановка завдання. Метою статті є виявлення проблем із правовим регулюванням перевезень вантажів прямими гібридними сполученнями та визначення напрямів удосконалення відповідного законодавства.

Виклад основного матеріалу дослідження. Питання двостороннього співробітництва Україна-ЄС у сфері транспорту обговорюється в рамках інституцій Асоціації: Ради асоціації, Комітету асоціації та на експертному рівні – Комітету асоціації в рамках Групи Підкомітету з економічного та інших галузевого співробітництва ЄС. Україна та ЄС співпрацюють у рамках різноманітних регіональних ініціатив, зокрема ТРАСЕКА, на міжнародному рівні в рамках міжнародних транспортних організацій, ратифікованих сторонами угод та конвенцій. Наприкінці 2011 року була створена ще одна полігональна форма транспортного співробітництва – Транспортна група Східного партнерства (тематична платформа № 2 «Економічна інтеграція та підхід до політики ЄС»), яка збирається двічі на рік.

Важливим кроком у зміцненні інтеграції ЄС з країнами Східного партнерства стало створення спільної транспортної мережі між ЄС та його східними сусідами під час зустрічі міністрів транспорту країн Східного партнерства в Люксембурзі 9 жовтня 2013 року. Регіональна транспортна мережа Східного партнерства, затверджена міністрами, визначає найважливіші транспортні сполучення між ЄС та його східними сусідами, зокрема Україною. Мережа розроблена відповідно до портфеля TEN-T Литви, Латвії, Польщі та інших країн-членів ЄС.

21 червня 2016 року в Роттердамі міністри транспорту країн Східного партнерства, країн-членів ЄС та Європейської комісії вирішили поширити Транс'європейську транспортну мережу (TEN-T) на сусідні країни ЄС, включаючи Україну. Транспортні зв'язки та вузли, показані на карті Транс'європейського транспортного коридору, базуються на інтегрованій базовій мережі, затвердженій Регламентом Європейського Парламенту та Ради № 1315/2013 про Керівництво щодо розвитку транс'європейського транспорту.

24 листопада 2017 року Міністр закордонних справ України П.Клімкін та Високий представник ЄС Ф.Могеріні підписали «Взаєморозуміння високого рівня між Україною та ЄС про поширення індикативних карт Європейської транспортної мережі TEN-T на Україну».

У грудні 2018 року було затверджено індикативний план інвестиційних дій Східного Європейського Союзу в рамках TEN-T, який включає пакет інвестиційних пропозицій та потреби цих країн у модернізації транспортної інфраструктури. У рамках програми східні країни розробляють проектні пропозиції щодо фінансування європейських та світових фінансових установ. Україна планує модернізувати транспортну інфраструктуру вартістю близько 4,5 млрд євро.

Однією з цільових форм співпраці з ЄС є щорічна Дунайська міністерська конференція. Останнє 4-е засідання відбулося в Брюсселі 3 грудня 2018 року, за результатами якого були підписані висновки щодо ефективного відновлення та обслуговування інфраструктури водних шляхів Дунаю та його судноплавних приток.

Міжнародна технічна допомога ЄС у транспортній сфері передбачає реалізацію проекту технічної допомоги ЄС «Підтримка виконання спільних угод та національних транспортних стратегій». Метою проекту є сприяння інтеграції та модернізації українського транспортного сектору та окремих підгалузей транспортного сектору, а також подальше оновлення реалізації національної транспортної стратегії відповідно до зобов'язань, передбачених у спільній угоді між Україною та Європейський Союз.

Результати які мають бути досягнуті по закінченню проекту:

Компонент 1. Гармонізація законодавства України та ЄС в транспортній галузі відповідно до Угоди про асоціацію:

- - адаптація, імплементація та застосування 5 пріоритетних директив і регламентів (Регламент ЄС) в транспортному секторі;
- - зміцнення інституційної спроможності на всіх видах транспорту відповідно до додатків 17 (морський транспорт) та 32 Угоди про асоціацію;
- - запровадження системи звітності та моніторингу прогресу виконання зобов'язань в рамках Угоди про асоціацію;
- - підвищення кваліфікації персоналу та підвищення інституційного потенціалу відповідних зацікавлених сторін, гармонізація законодавства та моніторинг імплементації Угоди про асоціацію в транспортному секторі;
- - налагодження і зміцнення співпраці з європейськими транспортними агентствами;
- - забезпечення прогресу у реалізації зобов'язань відповідно до Угоди про асоціацію та імплементації Національної транспортної стратегії і стратегічних планів для транспортних підгалузей.

Компонент 2. Транспортна стратегія України (НТС), разом зі стратегіями розвитку підгалузей будуть оновлені у відповідності до національних вимог та вимог ЄС

- - адаптація, імплементація та застосування 5 пріоритетних директив і регламентів (Регламент ЄС) в транспортному секторі;
- - зміцнення інституційної спроможності на всіх видах транспорту відповідно до додатків 17 (морський транспорт) та 32 Угоди про асоціацію;
- - запровадження системи звітності та моніторингу прогресу виконання зобов'язань в рамках Угоди про асоціацію;
- - підвищення кваліфікації персоналу та підвищення інституційного потенціалу відповідних зацікавлених сторін, гармонізація законодавства та моніторинг імплементації Угоди про асоціацію в транспортному секторі;
- - налагодження і зміцнення співпраці з європейськими транспортними агентствами;
- - забезпечення прогресу у реалізації зобов'язань відповідно до Угоди про асоціацію та імплементації Національної транспортної стратегії і стратегічних планів для транспортних підгалузей.
- Компонент 2. Транспортна стратегія України (НТС), разом зі стратегіями розвитку підгалузей будуть оновлені у відповідності до національних вимог та вимог ЄС
- - розробка плану дій з реалізації оновленої Національної транспортної стратегії і системи її моніторингу;
- - забезпечення правового регулювання мультимодальних перевезень;
- - розробка фінансових та адміністративних інструментів, необхідних для реалізації оновленої Національної транспортної стратегії;
- - встановлення сталого механізму для поліпшення координації та співробітництва в галузі транспорту;
- - підвищення прозорості та ефективності державного управління у транспортному секторі;
- - наближення політики, пов'язаної з розвитком національної транспортної мережі до транспортної політики ЄС.

Рисунок 1 – Результати проекту за його компонентами

Джерело: розроблено авторами

З січня 2015 року реалізується проект Twinning «Підтримка Міністерства інфраструктури України для підвищення безпеки дорожнього руху» з метою підвищення безпеки дорожнього руху та приведення національного законодавства у відповідність до норм і вимог ЄС. Бюджет проекту: 1 550 000 євро. Термін реалізації

проекту: 28 січня 2015 року - 28 жовтня 2016 року.

Мета проекту: підвищення безпеки комерційних перевезень автомобільним транспортом в Україні відповідно до технічних вимог ЄС та найкращих міжнародних практик з метою зменшення кількості ДТП та спричинених ними смертельних випадків.

За участі експертів на основі проекту Типового положення про Систему управління безпекою руху на автомобільному транспорті було підготовлено доопрацьований відповідно до європейських практик проект Положення про Систему управління безпекою.

Було проведено низку семінарів, в ході яких експерти презентували кращі практики розслідування ДТП в країнах ЄС, в тому числі із використанням сучасних технологій. Експерти також надали українськими колегам інформацію про функціонування баз даних ДТП в Європі та приклади відповідних шифрувальних книг. Водночас, на прохання Укртрансбезпеки проводиться серія практичних тренінгів у містах Київ, Львів, Одеса про застосування тахографів, виявлення протиправних маніпуляцій з ними та кріплення вантажів. Два тренінги вже відбулося та були високо оцінені учасниками.

Окремим важливим результатом проекту є організація навчальних поїздок українських делегацій до країн-партнерів проекту Твіннінг. В результаті однієї з таких поїздок Україні надано можливість брати участь в заходах Euro Controle Route у статусі гостя.

Висновки. Економічні методи формування конкурентного ринку транспортних послуг передбачають реалізацію механізмів податкової, тарифної та інвестиційної політики.

На підставі проведених досліджень встановлено, що державне регулювання автотранспортної системи в умовах ринкової економіки охоплює три моделі: імперативну, індикативно-інформаційну і економіко-параметричну.

Органічне поєднання методів державного регулювання в сфері автотранспортних перевезень забезпечить їх конкурентоздатність.

Прийняття комплексного законодавчого акту, що регулює діяльність усіх видів транспорту, відомого як «Закон про транспорт», сприятиме уніфікації термінології та вдосконаленню господарської практики застосування відповідного законодавства, усуненню внутрішніх суперечностей та дублювання законів і нормативних актів, упорядкування сучасної практики в цій сфері. Однак безпосереднім пріоритетом є розробка концептуальної основи для проекту транспортних правил. Єдиний транспортний кодекс має збалансувати державні та приватні інтереси, регулювати сучасні тенденції комерціалізації, оцифровки транспортних процесів, розвитку гібридного транспорту, регулювати правовий статус нових гравців ринку транспортних послуг України та зарубіжних країн.

Список літератури

1. 40% пріоритетних для держави інвестпроектів складають проекти у галузі інфраструктури та транспорту. 2020. 20 листопада. Офіційний веб-портал Міністерства інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/news/32396.html> (дата звернення: 29.04.2022).
2. Drones in the Transport System: Acceptability and Integration. International Transport Forum. URL: <https://www.itf-oecd.org/drones-transport-system-acceptability-integration> (дата звернення: 03.05.2022)
3. Богомолова Н.І. Особливості державного регулювання розвитку транспорту мегаполісу. *Зб. наук. праць ДЕТУТ. Серія "Економічні науки"*. 2015. № 33. С. 213-218.
4. Державне агентство автомобільних доріг України Укравтодор. URL: <https://ukravtodor.gov.ua/> (дата звернення: 03.05.2022).

5. Дзядикевич Ю.В., Куликовська І.М. Перспективи розвитку автотранспортної системи України. *Інноваційна економіка*. 2012. №4. С.16-19.
6. Закон України "Про автомобільний транспорт". № 22 Відомості Верховної ради України від 01.06.2001, №22.
7. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України. URL: <http://mtu.gov.ua/documents/358.html>
8. Поліщук О.М. Інноваційні перетворення на транспорті як чинник модернізації управління транспортними потоками великих міст. *Формування ринкових відносин в Україні*. 2015. № 7. С. 45-49. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/frvu_2015_7_13 (дата звернення: 06.05.2022).
9. Дослідження тенденцій розвитку ринку вантажних автомобільних перевезень у сучасних умовах / П.В. Попович, О.С. Шевчук, А.Й. Матвійшин, В.М. Лотоцька. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки*. 2016. № 2. С. 224-229. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu_2016_2_35 (дата звернення: 07.05.2022).
10. Проект Закону України "Про внесення змін до Господарського кодексу України (щодо узгодження з положеннями Цивільного кодексу України та деяких інших законодавчих актів) від 29 вересня 2020 р. Офіційний веб-портал Верховної Ради України. URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511 (дата звернення: 07.05.2022)
11. Рудченко О.Ю., Поліщук О.М. Механізм державного регулювання транспортної інфраструктури мегаполісів. *Університетські наукові записки*. 2017. № 6. С. 93-100.
12. Січкач Д. Транспортна галузь у 2020 році. Веб-портал Європейської Бізнес Асоціації. 2020. 22 грудня. URL: <https://eba.com.ua/transportna-galuz-u-2020-rotsi/> (дата звернення: 08.05.2022).
13. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.04.2018р. № 430-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> (дата звернення: 07.05.2022)

References

1. 40% priorityetnykh dlia derzhavy investproiektiv skladaiut' proiektu u haluzi infrastruktury ta transport. (2020). [40% of the state's priority investment projects are in the area of the infrastructure and transport]. November 20. The official web portal of the Ukraine Ministry of Infrastructure. *mtu.gov.ua*. Retrieved from <https://mtu.gov.ua/news/32396.html> [in Ukrainian].
2. Drones in the Transport System: Acceptability and Integration. International Transport Forum. *itf-oecd.org*. Retrieved from <https://www.itf-oecd.org/drones-transport-system-acceptability-integration>
3. Bohomolova, N.I. (2015). Osoblyvosti derzhavnoho rehuliuвання rozvytku transportu mehapolisu. [Features of the state regulation of the development of transport in the metropolis]. *Zb. nauk. prats' DETUT. Seriya "Ekonomichni nauky" – Coll. of scientific papers DETUT. Series "Economic Sciences"*. 33, 213-218 [in Ukrainian].
4. State agency of automobile roads of Ukraine Ukravtodor. The official website. *ukravtodor.gov.ua*. Retrieved from <https://ukravtodor.gov.ua/> [in Ukrainian].
5. Dziadykevych, Yu.V. & Kulykovska, I.M. (2012). Perspektyvy rozvytku avtotransportnoi systemy Ukrainy. [Prospects for the development of the Ukrainian transport system.]. *Innovatsijna ekonomika – Innovative economy*. 4, 16-19 [in Ukrainian].
6. Pro avtomobil'nyj transport. Zakon Ukrainy (2001). [About automobile transport. Law of Ukraine]. *Vidomosti Verkhovnoi rady Ukrainy*. No. 22 [in Ukrainian].
7. The Ministry of Infrastructure of Ukraine. The official website. *mtu.gov.ua*. Retrieved from <http://mtu.gov.ua/documents/358.html> [in Ukrainian].
8. Polischuk, O.M. (2015). Innovatsijni peretvorennia na transporti iak chynnyk modernizatsii upravlinnia transportnymi potokamy velykykh mist. [Innovative transformation in transport as a clerk of modernizing the management of transport flows of great cities]. *Formuvannia rynkovykh vidnosyn v Ukraini – Formation of market relations in Ukraine*, 7, 45-49. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/frvu_2015_7_13 [in Ukrainian].
9. 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. [Continued trends in the development of the market of vintage car transportation in modern minds]. *Visnyk Zhytomyrs'koho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya : Tekhnichni nauky – Bulletin of the Zhytomyr State University of Technology. Series: Technical sciences*, 2, 224-229. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu_2016_2_35 [in Ukrainian].
10. Pro vnesennia zmin do Hospodars'koho kodeksu Ukrainy (schodo uzgodzhennia z polozhenniamy Tsyvil'noho kodeksu Ukrainy ta deiakykh inshykh zakonodavchykh aktiv). Proiekt Zakonu Ukrainy. (2020). [Draft Law of Ukraine "On amendments to the State Code of Ukraine (with regard to the

- provisions of the Civil Code of Ukraine and other legislative acts)]. 29.09.2020. Verkhovna Rada Ukrainy. The official web-portal. Retrieved from http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511 [in Ukrainian].
11. Rudchenko, O.Yu. and Polischuk, O.M. (2017). Mekhanizm derzhavnoho rehuliuвання transportnoi infrastruktury megalopolisiv. [The mechanism of sovereign regulation of the transport infrastructure of megacities.]. *Universytets'ki naukovі zapysky – University scientific notes*, 6, 93-100[in Ukrainian].
 12. Sichkar, D. Transportna haluz' u 2020 rotsi (2020). [Transport branch at 2020]. Web portal of the European Business Association. Date 2020.22.12. Retrieved from <https://eba.com.ua/transportna-galuz-u-2020-rotsi/> [in Ukrainian].
 13. Pro skhvalennia Natsional'noi transportnoi stratchii Ukrainy na period do 2030 roku. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy. (2018). [About the praise of the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine]. No. 430-p dated April 30, 2015. (n.d.). zakon.rada.gov.ua Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> [in Ukrainian].

Yuriy Dzyadykevych, Prof., DSc., **Nataliia Falovych**, Associate Professor, Ph.D of Econ. Sci., **Pavlo Popovich**, Prof., DSc., **Oksana Shevchuk**, Associate Professor, Ph.D of tech. sci.

Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

Lubomyr Chorniy, Head

Vyacheslav Chornovil Galician College Vyacheslav Chornovil Galician College Vocational Lyceum, Ternopil, Ukraine

Foreign Practice of Regulating Road Transport

The purpose of this article is to analyze the current regulatory and regulatory processes to ensure the effective implementation of transport in terms of application of successful international experience and integration with European best practices.

The article uses general scientific methods: retrospective analysis, monographic method, methods of comparison and analysis.

The article considers important theoretical and practical aspects of Ukraine's transport system in the context of its interaction with international organizations, in particular, features of phased framework cooperation between Ukraine and the EU in the context of TRACECA regional initiative, Eastern Partnership Transport Group, joint transport network between the EU and its eastern neighbors, including Ukraine, including within the TEN-T portfolio. The authors of the article pay special attention to the processes of implementation of the system of indicative maps of the European transport network, as well as the indicative plan, which includes a package of investment proposals and the needs of these countries in modernizing transport infrastructure. Peculiarities and target conditions of introduction of elements of European experience in the activity of the transport system of Ukraine within the framework of the EU technical assistance project are substantiated. At the same time, the directions of the envisaged harmonization of the transport legislation of Ukraine to the terms of the Association Agreement with the EU are considered in detail, as well as the directions of updating the transport strategy of Ukraine in accordance with national and European requirements. The scientific novelty of the article lies in the authors' proposed structuring of stages of development and interaction of the Ukrainian transport system with European partners.

From a practical point of view, the article allows to better structure the integration of the Ukrainian transport system and its legal field into the system of the European transport network and European legislation.

Further research on the issues raised should include coordination of various actions and measures implemented in Ukraine in the framework of the integration of the domestic transport system into the European network.

transport system, road transport, regulation, integration, cooperation, international level

Одержано (Received) 19.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 26.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 656.072

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.246-253](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.246-253)**В.М. Никончук**, доц., д-р екон. наук*Національний університет водного господарства і природокористування, Рівне, Україна**e-mail: v.m.nikonchuk@nuwm.edu.ua*

Дослідження системи транспортного обслуговування пасажирів за показниками якості

У роботі обґрунтовано параметри якості системи транспортного обслуговування пасажирів. Запропоновано комплексний показник якості для оцінки якості пасажирських перевезень, який враховує загальні критерії якості перевізного процесу та якості системи обслуговування пасажирів. На основі визначених критеріїв якості транспортного обслуговування пасажирів проведено соціологічне опитування жителів міста Рівне. Проведені дослідження дали можливість виявити слабкі та сильні сторони транспортного забезпечення, ідентифікувати ключові критерії, що визначають якість його роботи.

громадський транспорт, транспортне обслуговування, критерії якості транспортного обслуговування, комплексний показник, рівень задоволеності транспортною послугою

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку суспільства висуває нові вимоги до транспортної системи міста. Населення міста потребує оптимізованих транспортних послуг, за допомогою яких можна було б отримати максимальну користь: мінімальна витрата часу та коштів, соціальна орієнтованість маршрутів тощо. Важливим фактором мобільності населення в місті є структура єдиної транспортної мережі. Ця структура визначається видами транспорту, що функціонують в місті. При впровадженні систем якості основною проблемою для перевізників, контролюючих органів і пасажирів є відсутність розробленої єдиної методології оцінки якості послуг з перевезення пасажирів. Тому обґрунтування факторів оцінки якості послуг перевізників є кроком до підвищення конкурентоспроможності пасажирських перевезень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженню якості транспортних послуг присвячені праці вітчизняних та іноземних дослідників. Зокрема, Барахін В.М., Диканя В.Л., Криворучко О.М., Кудінова Л.О., Кулаєва Ю.Ф., Лігума Ю.С., Міротіна Л.Б., Островського Н.Б., Рєви В.М., Спіріна Й.В., Сича Є.М., Трихункова М.Ф., Уліцької І.М., Шинкаренка В.Г., Штанова В.Ф. та інших. Проте накопичені теоретичні і практичні напрацювання вимагають подальшого розвитку та вдосконалення. Так, на сьогодні не визначено зміст об'єкта та суб'єкта при управлінні якістю транспортної послуги; вимагає удосконалення класифікація факторів, що формують якість транспортних послуг; відсутній методичний підхід до оцінки якості послуг громадського пасажирського транспорту, контролю та регулювання процесів і результатів формування якості транспортної послуги.

Постановка завдання. Метою даного дослідження є оцінка параметрів якості системи транспортного обслуговування пасажирів та надання рекомендацій щодо покращення роботи громадського транспорту.

Виклад основного матеріалу. На сьогоднішній день надання якісних послуг пасажирських перевезень є однією з вимог сучасних стандартів життя. Зазначимо, що на відміну від сфери товарного ринку, підвищення якості послуг пасажирського

транспорт не вимагає значних інвестиційних витрат [1,2]. Адже послуга пасажирського автомобільного транспорту корисна не як річ, а як певна діяльність, тому її якість може бути пов'язана лише з вдосконаленням самої діяльності. Наприклад, використання більш кваліфікованого, досвідченого персоналу може розглядатись як важливий фактор підвищення якості послуг пасажирського автомобільного транспорту. Залучення висококваліфікованих, досвідчених працівників вимагає певних додаткових витрат, але їх величина, як правило, значно нижче, ніж обсяг витрат, необхідних для підвищення якості продукту в сфері виробництва товарів. Впевнені позиції підприємства, що надає послуги з пасажирських автомобільних перевезень в конкурентному середовищі залежать не тільки від ціни і якості послуг, але і від іміджу перевізника.

Для оцінки рівня якості пасажирських перевезень сформовано систему показників, які визначають якість транспортної послуги та якість транспортного обслуговування.

Загальними показниками якості послуг пасажирського транспорту є безпека проїзду пасажирів; регулярність перевезень і зручність розкладу руху транспортних засобів; швидкість перевезень пасажирів, яка обумовлює час, який витрачається пасажиром на поїздку, характеризується виконанням графіків і розкладів руху транспортних засобів; умови перевезень пасажирів, культура їх обслуговування (комфорт, сервіс, санітарні умови, поважливе відношення персоналу, культура тощо).

Розрахунок загального показника якості (К_я) визначається як відношення величини витрат часу на поїздку при заданих теоретично абсолютно комфортних умовах поїздки $t_{перз}$, до фактичних витрат часу на поїздку в реальних умовах $t_{перф}$ [1]:

$$K_{я} = \frac{t_{перз}}{t_{перф}}, \quad (1)$$

Проте даний показник не враховував рівень задоволення потреб пасажирів в транспортному обслуговуванні. Згідно досліджень, якість транспортного обслуговування характеризується системою показників таких як наповнення рухомого складу; регулярність руху транспортних засобів; час, який витрачається пасажиром на пересування; можливість прямої, без пересадок, поїздки; безпека руху; інформованість пасажирів (оголошення зупиночних пунктів, вивішування схеми маршруту, наявність інформаційних розкладів на зупиночних пунктах) та інші.

Для більш детальної оцінки якості системи транспортного обслуговування громадським транспортом рекомендується визначати комплексний показник рівня пасажирського сервісу S , визначається залежністю [2]:

$$S = S_1^{k1} * S_2^{k2} * S_3^{k3} * S_4^{k4} * S_5^{k5} * S_6^{k6}, \quad (2)$$

де S_1 – надійність переміщення точно за графіком (час поїздки);

S_2 – доступність (частота руху громадського транспорту);

S_3 – безпека (імовірність безвідмовної роботи громадського транспорту);

S_4 – комфортність (якість поїздки);

S_5 – вартісний показник – величина транспортного тарифу;

S_6 – показник інформаційного сервісу (рівень інформаційного забезпечення);

$k1...k6$ – показники ступеня, який характеризує вагомість відповідного показника рівня сервісу.

Приведені характеристики транспортного обслуговування є як кількісними, так і якісними, і від правильності, точності і швидкості їх визначення залежить загальна ефективність пасажирських послуг. Саме тому актуальним є питання аналізу якості системи пасажирського транспорту з погляду якості перевізного процесу та якості системи обслуговування пасажирів.

Для оцінки якості транспортного обслуговування пасажирів нами було проведено соціологічне дослідження. У процесі дослідження було опитано 1107 жителів м. Рівне, які користуються послугами громадським транспортом. Серед опитаних респондентів 44,95 % становили чоловіки та 55,05% – жінки. Найбільша питома вага серед опитаних припадає на групи осіб віком від 23-39 років (34,96%) та 40-59 років (32,24%), які складають працездатне населення. Респонденти віком 16-22 становлять 10,12% від загальної кількості респондентів. Решта – 22,68% опитаних респонденти старше 60 років. Соціальний статус опитаних респондентів наступний: понад 46,88% - керівники/спеціалісти/службовці; 17,46% - самозайняті (ФОП) / робота з вільним графіком; 16,80% - пенсіонери; 9,39% - студенти; тимчасово не працюють - 7,74%. Результати опитування жителів рівного свідчать, що послугами маршрутних таксі користується 70%, а тролейбусами – 30%. Такий розподіл продиктований широкою маршрутною мережею маршрутних таксі та обмеженістю площі поширення тролейбусної мережею.

Проблема організації та реалізації пасажирських перевезень у Рівному в основному вирішена. У місті функціонує близько 14 юридичних та 130 фізичних осіб, які забезпечують перевезення на 1 автобусному, 8 тролейбусних та 36-ти маршрутах маршрутних таксомоторів. Міським пасажирським транспортом щомісячно перевозиться більш як 6 млн. пасажирів. У Рівному реалізована і успішно функціонує розподілена система перевезень, яка забезпечує сполучення між усіма мікрорайонами міста практично без пересадок. Проте наявний рухомий склад уже не відповідає потребам сьогодення. Простежується незначне оновлення рухомого складу, що пояснюється високою вартістю транспортних засобів, запасних частин і низьким тарифом за проїзд.

Для аналізу параметрів якості транспортних, що надаються населенню – показник, який має суб'єктивний характер, і може бути виражений кількісно через оцінку різних аспектів роботи громадського транспорту. Рівень задоволеності громадським транспортом встановлювався за окремими критеріями та в цілому за показниками: інформування пасажирів; стан зупинок; графіки руху; досвід використання громадського транспорту; мережа маршрутів; персонал (кондуктори / водії); вартість проїзду; загальний рівень задоволеності роботою транспорту. Респонденти оцінювали важливість певних аспектів роботи транспорту в балах: від 0 до 10: де 0 – дуже не задоволений; 10 – дуже задоволений.

Результати проведеного дослідження щодо оцінки якості системи міського пасажирського транспорту відображені нижче (рис. 1, 2, 3, 4, 5).



Рисунок 1 – Оцінка рівня задоволеності зупинками громадського транспорту за різними критеріями
Джерело: розроблено автором

Оцінка рівня задоволеності зупинками громадського транспорту проводилася за різними критеріями, а саме: рівень, освітленості, рівень чистоти, можливість захисту від дощу та вітру, можливість присісти на зупинці та рівень скупченості на зупинках. Розподіл оцінок у відповідях респондентів міститься в діапазоні від 5 до 8 балів. Серед усіх критеріїв Найменш задоволені користувачі, скупченням пасажирів на зупинках. В той же час оновлення зупинок в місті позитивно сприйнялося мешканцями, зокрема можливістю присісти або захиститися від негоди.



Рисунок 2 – Оцінка якості інформаційного забезпечення стосовно розкладів руху
Джерело: розроблено автором

Хороша зупинка повинна бути інформативною. Графіки руху громадського транспорту відображають регулярність сполучення, частоту руху транспортних засобів на маршруті, час початку та закінчення роботи маршруту.

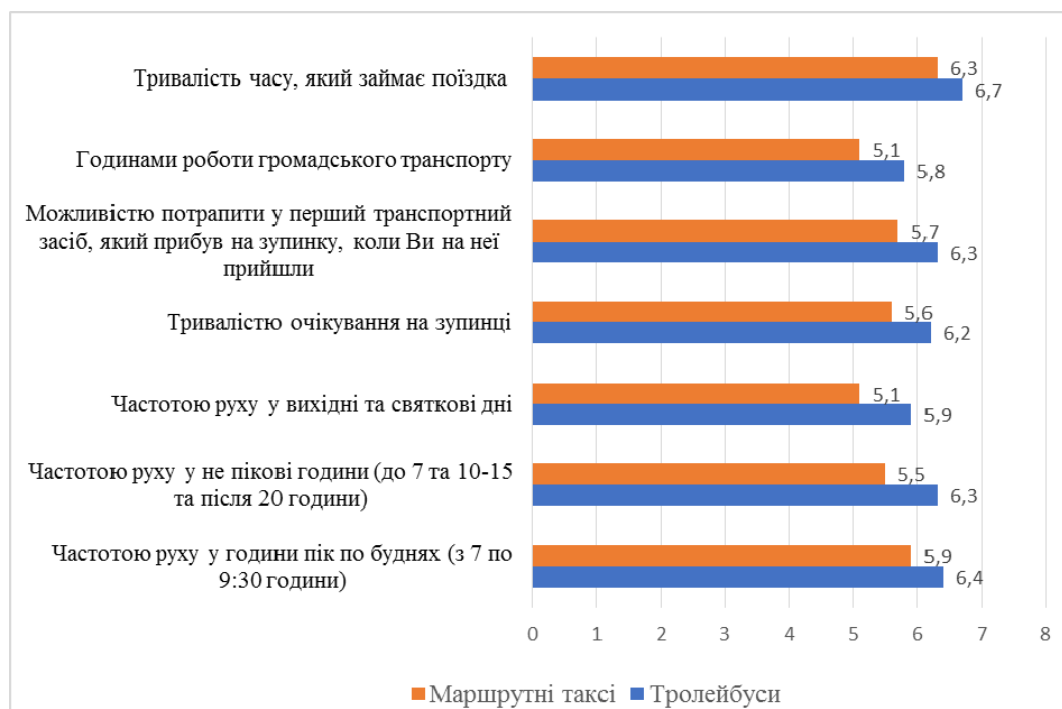


Рисунок 3 – Оцінка якості графіків руху за визначеними критеріями якості
Джерело: розроблено автором

Результати оцінки задоволеності графіками руху показали незадоволеність мешканців годинами роботи як маршрутних таксі (5,1 бала), так і тролейбусів (6,1 бала) у вечірній час та роботою у вихідні і святкові дні відповідно 5,1 та 5,9 бала.

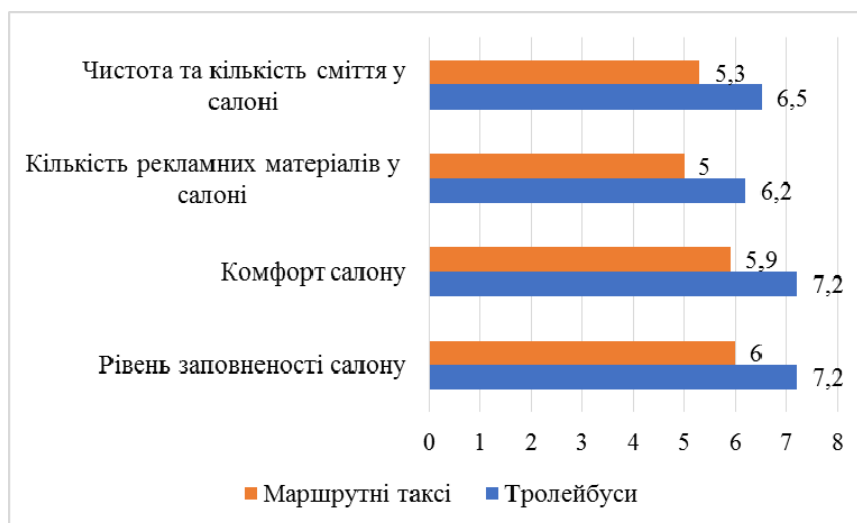


Рисунок 4 – Оцінка перебування у транспортних засобах за визначеними критеріями якості
Джерело: розроблено автором

Маршрутне таксі значно програє за цим показником тролейбусу. В цілому, за досвідом перебування в салоні тролейбусу отримав оцінку 6,8 бала, маршрутка - 5,5.

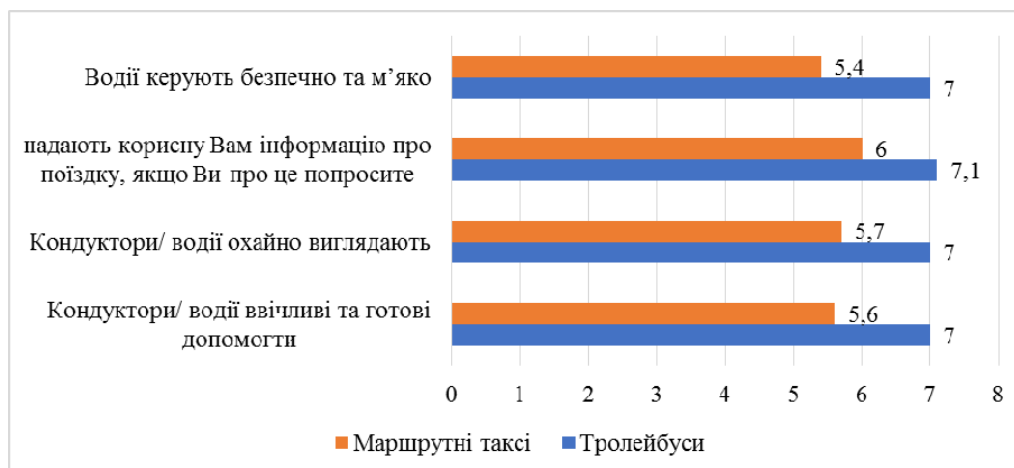


Рисунок 5 – Оцінка роботи персоналу громадського транспорту
Джерело: розроблено автором

Відповідно до аналізу зібраної інформації респонденти відмітили, що роботою персоналу тролейбусів задоволені найбільше. Так за шкалою від 0 до 10 за кожним критерієм більша частка відповідей тяжіє до оцінок від 7 до 9, тоді як роботою персоналу на маршрутних транспортних засобах мешканці не задоволені, про що свідчать оцінки, з тяжінням до негативних оцінок

Всі критерії та аспекти, використані для оцінки рівня задоволеності громадським транспортом є важливими для розуміння ставлення мешканців до роботи громадського транспорту, а отже, для вибору громадського транспорту як альтернативи у щоденних пересуваннях містом (рис. 6).



Рисунок 6 – Загальна оцінка рівня задоволеності громадським транспортом за окремими критеріями
Джерело: розроблено автором

За розрахунком середнього балу за окремими критеріями, як і встановлення середнього балу за відповідями респондентів на окреме питання анкети, користувачі віддають перевагу тролейбусам з середнім балом 6,3, проти 5,6 – для маршрутних таксі.

Підсумкові оцінки рівня задоволеності громадським транспортом за різними критеріями, дозволяють оцінити загальний рівень задоволеності транспортом міста Рівне за останні 6 місяців. На основі оцінки параметрів якості транспортного обслуговування нами виявлено слабкі та сильні сторони транспортного забезпечення; ідентифіковано ключові критерії, що визначають якість його роботи. Насамперед мешканці міста незадоволені вартістю проїзду як в тролейбусах, так і в маршрутних таксі. Низькі оцінки отримали графіки руху громадського транспорту. Більшість опитаних не можуть спланувати час поїздки через відхилення від графіку руху, зміни інтервалів руху транспортних засобів. При чому порушення графіку найчастіше спостерігається при користуванні маршрутним таксі. Через застарілий рухомий склад транспортних засобів значна мешканців міста незадоволені комфортом та безпечністю поїздки. Звичайно ситуація на тролейбусах дещо краща, ніж в маршрутних таксі.

Висновки. Таким чином, сучасна система громадського транспорту м. Рівне не може в повній мірі забезпечити відповідний рівень якості транспортного обслуговування пасажирів. Для підвищення рівня якісного надання транспортних послуг необхідно оновити рухомий склад, з належними технічними характеристиками; забезпечити відповідний стан салону транспортного засобу (санітарний стан, наявність сторонніх предметів в салоні, несправні пасажирські сидіння, рекламні оголошення); забезпечити професійно-кваліфікаційну відповідність персоналу, в тому числі етичне відношення працівників транспорту; забезпечити відповідність руху транспортних засобів згідно паспорту маршруту; розширити інформаційних послуги для жителів міста. Реалізація запропонованих заходів можлива при взаємодії та злагодженій роботі представників освіти, влади та бізнесу.

Список літератури

1. 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.
2. Филимонова І.Ю., Василенко Т.Є., Фесенко Д.В. Теоретичні аспекти оцінки якості роботи автобусів. *Вісті Автомобільно-дорожнього інституту*. 2011. Вип. 2(13). С. 15–20.
3. Боровик Н.А., Сив'юк Т.С. Оцінка якості та ефективності пасажирських перевезень у сучасних ринкових умовах. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія*. 2012. Вип. 9. С. 268–270.
4. Кучерук Г. Ю. Якість транспортних послуг: управління, розвиток та ефективність: монографія. Київ: РВЦ ДЕТУТ, 2011. 208 с.
5. Большаков А.М., Кравченко Е.А., Черникова С.Л. Повышение качества обслуживания пассажиров и эффективности работы автобусов. М.: Транспорт, 1981. 258 с.
6. Артемьев С.П., Донской В.М. Развитие и организация междугородных автомобильных перевозок. М.: Транспорт, 1984. 128 с.
7. Вдовиченко В.О. Методологічні основи формування системної ефективності громадського пасажирського транспорту в умовах сталого розвитку: монографія. Харків: ХНАДУ, 2017. 212 с.

References

1. Aulin, V.V. & Holub, D.V. (2008). Yakist perevezen pasazhyriv yak nevidiemna chastyna transportnoho protsesu. [The quality of passenger traffic is an integral part of the transport process]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho – Bulletin of the Kremenchug National University named after Mikhail Ostrogradsky*, Vol. 5, Part. 2, 80-84 [in Ukrainian].
2. Fylymonova, I.Yu., Vasylenko, T.Ye. & Fesenko, D.V. (2011). Teoretychni aspekty otsinky yakosti roboty avtobusiv [Theoretical aspects of bus quality assessment]. *Visti Avtomobil'no-dorozhn'oho instytutu – News of the Automobile and Road Institute*, Vol. 2 (13), 15–20 [in Ukrainian].
3. Borovyk, N.A. & Syv'iuk, T.S. (2012). Otsinka yakosti ta efektyvnosti pasazhyr'skykh perevezen' u suchasnykh rynkovykh umovakh. Estimation of quality and efficiency of passenger transportation in modern market conditions. *Upravlinnia proektamy, systemnyy analiz i lohistyka. Tekhnichna seriia. – Project Management, Systems Analysis and Logistics. Technical series*. Vol. 9, 268–270 [in Ukrainian].
4. Kucheruk, H.Yu. (2011). Yakist' transportnykh posluh: upravlinnia, rozvytok ta efektyvnist' [Quality of transport services: management, development and efficiency]. Kyiv: RVC DETUT [in Ukrainian].
5. Bol'shakov, A.M., Kravchenko, E.A. & Chernikova, S.L. (1981). Povyshenie kachestva obsluzhivaniya passazhirov i jeffektivnosti raboty avtobusov [Improving the quality of passenger service and the efficiency of buses]. Moscow: Transport [in Russian].
6. Artem'ev, S.P. & Donskoj, V.M. (1984). Razvitie i organizacija mezhdugorodnyh avtomobil'nyh perezovok [Development and organization of long-distance automobile transportation]. Moscow: Transport [in Russian].
7. Vdovychenko, V.O. (2017). Metodolohichni osnovy formuvannia systemnoi efektyvnosti hromads'koho pasazhyr'skoho transportu v umovakh staloho rozvytku: monohrafiia [Methodological bases of formation of system efficiency of public passenger transport in the conditions of sustainable development]. Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].

Viktoriya Nykonchuk, Assoc. Prof., DSc.

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

Research of Passenger Transport Service System by Quality Indicators

The parameters of the quality of the passenger transport service system are substantiated in the work. To assess the quality of passenger traffic, a comprehensive quality indicator is proposed, which takes into account the general criteria of the quality of the transportation process and the quality of the passenger service system.

The level of satisfaction with public transport was determined by individual criteria and in general by indicators: informing passengers; state of stops; traffic schedules; experience in using public transport; staff (conductors / drivers); fare; overall level of satisfaction with the work of transport.

On the basis of the defined criteria of quality of transport service of passengers the sociological interrogation of inhabitants of the city of Exactly is carried out. According to individual criteria and indicators in general, the level of satisfaction with public transport was assessed. As the assessment of the quality of transport services is subjective, we have proposed a rating scale for respondents: from 0 to 10 (where 0 means "Very dissatisfied" and 10 - "Very satisfied").

According to the results of the survey and the calculation of the average score according to certain criteria, the variation range of answers of the city residents was distributed on a scale from 0 to 10 points. When calculating the complex quality indicator, users preferred trolleybuses with an average score of 6.3, compared to 5.6 - for minibuses.

The conducted research made it possible to identify the weaknesses and strengths of transport support, to identify key criteria that determine the quality of its work.

To increase the level of satisfaction with public transport and ensure the quality of transport services, a number of measures have been proposed, the implementation of which is possible with the close cooperation of representatives of education, government and business.

public transport, transport service, criteria of transport service quality, complex indicator, level of satisfaction with transport service

Одержано (Received) 10.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 16.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 656.1

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.253-261](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.253-261)

Л.А. Тарандушка, доц., д-р техн. наук, **І.А. Шльончак**, доц., канд. техн. наук,
І.П. Тарандушка, ст. викл.

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна
e-mail: tarandushkal@ukr.net; 438knl@gmail.com; tarandushka@ukr.net

Оцінка якості обслуговування пасажирів міським транспортом загального користування в м. Черкаси

Досліджується проблема оцінювання якості транспортних послуг, що надаються населенню міським транспортом загального користування. Визначено найважливіші показники, що відображають якість транспортних послуг та запропонована методика оцінювання обслуговування пасажирів міським транспортом загального користування. Результати дослідження пропонується застосовувати в процесі оптимізації транспортної мережі м. Черкаси.

якість, показники якості, транспортні послуги, транспортна мережа

Постановка проблеми. Проблема якості перевезень пасажирів автомобільним транспортом вивчалася і знайшла конкретне відображення в працях багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених. В результаті розроблені основи комплексного управління якістю послуг і системи якості транспортних організацій, механізми і процеси управління якістю перевезень пасажирів. В цілому сформувалися загально-методичні підходи до управління якістю транспортного обслуговування пасажирів. Проте, нині немає чітких і однозначних рекомендацій по встановленню номенклатури і нормативних значень показників, що визначають якість транспортного обслуговування населення міським пасажирським транспортом. Загальною рисою робіт, що відображають нормування якості міського пасажирського транспорту (МПТ) є те, що представлений в них перелік показників якості і визначення його нормативних значень формуються тільки з урахуванням «думок фахівців», на основі попереднього досвіду, і відсутня прив'язка до фактичних показників якості.

Тому нормування показників якості і функціонування МПТ вимагає удосконалення.

© Л.А. Тарандушка, І.А. Шльончак, І.П. Тарандушка, 2022

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Міський пасажирський транспорт являється найбільш соціально значимою складовою міського транспортного комплексу. Виходячи з цього, підвищення якості транспортного обслуговування населення міським пасажирським громадським транспортом є важливим соціальним та економічним питанням. Методології оцінювання якості обслуговування пасажирів міським транспортом розглядалась в багатьох наукових працях.

В роботі Большакова А. М. [1] пропонується диференціальна оцінка якості у вигляді відношення нормативного рівня показника до фактичного (коефіцієнт відносного забезпечення нормативу). З метою проведення порівняльної оцінки якості перевезень встановлюється чотирьохрівнева система оцінок: зразковий, хороший, задовільний і незадовільний рівні якості. Найважливішим елементом оцінки якості обслуговування є інтегрована величина коефіцієнта якості, що містить в собі оцінки за показниками: наповнення автобуса; витрати часу на поїздку; регулярність руху рухомого складу; безпека руху пасажирів при перевезенні. Недоліком є важкий процес визначення нормативного рівня показника витрат часу на поїздку для різних міст.

Сидоров Є. А. [2] пропонує наступні показники якості: тривалість переміщення; комфортність; вартість переміщення. Недоліком є те, що не враховується час очікування транспортного засобу; не оцінюється робота пасажирських підприємств по дотриманню заданого інтервалу руху автобусів на лінії.

У роботі [3] якість обслуговування пасажирів МПТ визначається багатьма показниками: доступність; комфорт поїздки; мінімум витрат часу на пересування по місту; висока надійність роботи рухомого складу; регулярність сполучень при повному забезпеченні безпеки перевезень.

Науково-дослідний інститут автомобільного транспорту в 1987 р. створив комплексну систему управління якістю пасажирських перевезень (КС УЯПП). Вона передбачає впровадження системи показників для оцінки діяльності виробничо-технічною і експлуатаційною служб підприємства, ряду його структурних підрозділів. Показниками якості обслуговування пасажирів автобусів є: кількість пасажирів, що стоять, на 1 м² вільної площі підлоги; коефіцієнт використання місткості автобусів; регулярність перевезень; безпека руху рухомого складу. Ці показники, характеризуючи ефективність функціонування пасажирських підприємств, не повністю відображають міру задоволення потреб пасажирів в перевезеннях. Основні визначення і формулювання, що стосуються якості надання транспортних послуг, викладені в ISO 9000:2000.

Основними вимогами до послуг транспортних підприємств є: безпека послуг з перевезень пасажирів; надійність транспортного обслуговування; своєчасність перевезення пасажирів; своєчасність доставки вантажів (багажу); збереження перевезення вантажів (багажу); комфортність перевезення пасажирів; дотримання нормативних термінів доставки вантажу.

Артем'єв С. П. запропонував оцінювати якість обслуговування пасажирів на кожному маршруті за часом доби та днем тижня, показником регулярності руху Р транспортних засобів, оскільки порушення розкладу і графіків руху призводить до переповнювання транспортних засобів, збільшення витрат часу очікування, посадки, зниження швидкості сполучення[4].

А.В. Шабанов [5] розвиває поняття комплексного, інтегрованого показника якості, що враховує різні чинники сервісного обслуговування пасажирів такі, як: надійність переміщення згідно графіку (час поїздки); доступність (частота руху громадського транспорту); безпека (ймовірність безвідмовної роботи громадського транспорту); комфортність (якість поїздки); вартісний показник - величина транспортного тарифу; показник інформаційного сервісу (рівень інформаційного

забезпечення); показники міри, що характеризують вагу відповідного показника рівня сервісу.

Постановка завдання. Метою роботи є визначення важливих параметрів якості міського пасажирського транспорту загального користування з метою вдосконалення їх нормування та оптимізації оцінювання якості обслуговування пасажирів міським транспортом.

Виклад основного матеріалу. У зв'язку з тим, що нормативи показників якості не відповідають сучасним вимогам і регіональній особливості ринку транспортних послуг існує потреба в теоретичному обґрунтуванні нормативів показників якості роботи автомобільного транспорту. Використання науково обґрунтованих нормативів забезпечить можливість підвищення рівня якості надання транспортних послуг до реально необхідного.

У основі пропонованої методики нормування якості окрім аналізу нормативної документації і наукових робіт, лежить розробка анкет для споживачів послуг пасажирів міського пасажирського транспорту (МПТ) загального користування.

Існує багато методів досліджень, за допомогою яких можна виявити задоволеність споживачів якістю послуг. Проблема ж визначення задоволеності якістю транспортних послуг представляє особливу складність у зв'язку з тим, що повинна охоплювати значну кількість пасажирів. Тому, в даному випадку, прийнято метод опитування.

Опитування - це систематизований збір інформації за допомогою анкетування. Для отримання найбільш точних результатів необхідно використати тільки ретельно сформульовані питання. Крім того, мінімізація помилки досягається складанням досить великої за об'ємом вибірки респондентів, яка б відображала склад населення. Опитування полягає у зборі первинної інформації шляхом постановки питань відносно переваг та недоліків, що стосуються конкретної послуги. Існує досить багато способів проведення опитувань. Перевага, як правило, віддається опитуванню методом особистого інтерв'ю з респондентом або опитуванню по телефону, що дозволяє отримати достовірну інформацію про стан об'єкту дослідження.

При регулярному зборі даних в теплу пору року краще використати особисті інтерв'ю, наприклад, на зупинних пунктах, а в холодний час – по телефону. Це один з самих оперативних і недорогих методів.

У розвинених країнах (США, Великобританія, Франція, Німеччина, Італія) цей метод часто замінює особисті і поштові інтерв'ю. Основним інструментом, використовуваним в дослідженні, є анкета [6].

Для аналізу відповідей застосовувалася також шкала відповідей. В дослідженні задоволеності пасажирів якістю транспортного обслуговування пропонувалася оцінка параметрів якості по мірі важливості і міри реалізації відповідно до десятибальної шкали, де 0 - зовсім не важливо, 10 – дуже важливо.

Основною метою застосування методу відкритих питань є сегментація споживачів. У основі методу лежить ряд наукових досліджень в області процедур оцінки задоволеності /незадоволення споживачів послуг - методика SERVQUAL [7].

Головне завдання полягає в отриманні індексів задоволеності споживачів послуг МПТ загального користування на кожній стадії технологічного процесу, з метою оцінки результативного показника якості обслуговування, а також виявлення вузьких місць. Крім того, для отримання пропозицій по поліпшенню роботи транспорту загального користування в анкеті використовується метод відкритих питань.

Алгоритм оцінювання якості транспортної мережі за результатами опитування пасажирів складається з таких етапів:

1. Етап. Дослідження основних суб'єктів ринку транспортних послуг МПТ загального користування
2. Етап. Розробка необхідної первинної документації (анкет)
3. Етап. Визначення об'єму вибірки
4. Етап. Проведення досліджень – анкетування пасажирів
5. Етап. Оцінка результатів дослідження
6. Етап. Перенесення отриманих даних в інтегральну систему оцінки якості
7. Етап Розробка рекомендацій

Населення міста Черкаси складає 274108 осіб [8]. Характеристика вибіркової сукупності: об'єм вибіркової сукупності об'єктів дослідження складає 400 респондентів. Тип вибірки – імовірнісна. Згідно розрахункової таблиці В.І. Паніотто для об'єму генеральної сукупності 100000 достатній об'єм вибірки складає 398, для об'єму генеральної сукупності 10000 достатній об'єм вибірки складає 385 щоб забезпечити похибку 5 %. В нашому випадку при населенні міста 274108 осіб, де майже половина жителів користуються власним транспортним засобом вибірки в 400 осіб буде достатньо.

В ході дослідження було виявлено, що близько 39% пасажирів чекають транспорт більше 10 хвилин. Можна припустити, що головною причиною цієї проблеми є низька швидкість сполучення рухомого складу в пікові періоди перевезень у зв'язку з напруженим транспортним трафіком. З цього можна зробити висновок, що актуальним є завдання підвищення швидкості сполучення і регулярності роботи пасажирського транспорту. Також було виявлено, що 55% пасажирів проводять в транспортному засобі більше 30 хвилин за поїздки. Приблизно третина (30,5%) пасажирів відмічають незадовільну інформацію про рух громадського транспорту на зупинках громадського транспорту. 26,4% пасажирів відмічають незадовільний санітарний стан зупинних пунктів. Устаткування більшості проміжних зупинних пунктів пасажирів визнають задовільним, проте близько 19% пасажирів вважають цю проблему важливою, тобто завдання реконструкції деяких зупинних пунктів слід визнати актуальним.

Особливою проблемою є робота транспорту вечірньої пори доби. 33% пасажирів поставили в анкеті негативну оцінку цьому показнику функціонування транспортної системи міста. Такий параметр як комфортабельність транспортного засобу набрав найменшу кількість негативних оцінок (14,6%). Особливу увагу пасажирів приділяють незадовільній вентиляції салонів: 36,7% негативних оцінок. Один з напрямів підвищення комфортабельності громадського транспорту: забезпечення інформації в рухомому складі та підвищення культури обслуговування пасажирів.

Аналіз якості маршрутної мережі в м. Черкаси було проведено за найважливішими показниками для пасажирів.

Якість транспортного обслуговування населення при здійсненні регулярних пасажирських перевезень визначається підсумовуванням балів, присвоєних найважливішим показникам. За підсумками розрахунків, відповідно до табл. 1, формується висновок про рівень якості послуг, що надається транспортною мережею міста.

Таблиця 1 – Оцінка якості транспортного обслуговування населення

Сума балів, присвоєних показникам	Якість транспортного обслуговування населення
менше 39	незадовільна
39 - 65	мінімальна
65 - 104	середня
понад 104	висока

Джерело: розроблено авторами

Пропонуємо комплексну оцінку якості транспортного обслуговування, що базується на основі оцінки показників якості з детальним аналізом кожного.

Усі показники традиційно діляться на наступні складові.

Доступність транспортного обслуговування оцінюється за допомогою показників:

коефіцієнт територіальної доступності зупинних пунктів; коефіцієнт доступності зупинних пунктів, автовокзалів і автостанцій для маломобільних груп населення; коефіцієнт доступності транспортних засобів для маломобільних груп населення; коефіцієнт цінової доступності поїздок по маршрутах регулярних перевезень; коефіцієнт оснащення зупинних пунктів, автовокзалів і автостанцій засобами зорового інформування пасажирів; доля зупинних пунктів, що обслуговуються з мінімальною нормативною частотою [9].

1) Коефіцієнт територіальної доступності зупинних пунктів $k_{\text{дост зп}}$:

$$k_{\text{дост зп}} = \frac{Q_{\text{зп норм}}}{Q_{\text{зп}}}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{зп норм}}$ – кількість зупинних пунктів, що знаходяться в межах нормативних значень найкоротших відстаней пішохідних шляхів до зупинного пункту.

$Q_{\text{зп}}$ – загальна кількість зупинних пунктів.

2) Коефіцієнт доступності зупинних пунктів, автовокзалів і автостанцій для маломобільних груп населення $k_{\text{зп мгно}}$:

$$k_{\text{зп мгно}} = \frac{Q_{\text{зп ДБН}}}{Q_{\text{зп}}}, \quad (2)$$

$Q_{\text{зп ДБН}}$ – кількість зупинних пунктів, що відповідають ДБН В.2.2-17:2006. Доступність споруд для маломобільних груп населення.

3) Коефіцієнт доступності транспортних засобів для маломобільних груп населення $k_{\text{дост мгно}}$:

$$k_{\text{дост мгно}} = \frac{Q_{\text{тз мгно}}}{Q_{\text{тз}}}, \quad (3)$$

де $Q_{\text{тз мгно}}$ – кількість транспортних засобів, що оснащені пристроями для перевезення маломобільних груп населення та відповідають вимогам, встановленим у ДБН В.2.2-17:2006. Доступність будинків і споруд для маломобільних груп населення.

$Q_{\text{тз}}$ – загальна кількість транспортних засобів.

4) Коефіцієнт цінової доступності поїздок по маршрутах регулярних перевезень $k_{\text{д}}$:

$$k_{\text{д}} = \frac{B}{CД_{\text{ос}}}, \quad (4)$$

де B – середньомісячні витрати пасажирів на здійснення поїздок міським пасажирським транспортом, грн.

$CД_{\text{ос}}$ – середній дохід на одну особу даного регіону, грн.

5) Надійність транспортного обслуговування оцінюється за допомогою коефіцієнта дотримання розкладу маршрутів регулярних перевезень. Коефіцієнт дотримання розкладу маршрутів регулярних перевезень $k_{\text{розп}}$:

$$k_{\text{розп}} = \frac{Q_{\text{рр}}}{Q_{\text{р}}}, \quad (5)$$

де Q_{pp} – кількість рейсів при здійсненні перевезень пасажирів міським пасажирським транспортом згідно з розкладом, або в межах допустимих відхилень від розкладу руху.

Q_p – загальна кількість рейсів при здійсненні перевезень пасажирів міським пасажирським транспортом.

б) Комфортність транспортного обслуговування оцінюється за допомогою показників: коефіцієнт оснащення транспортних засобів засобами інформування пасажирів; доля транспортних засобів з нормативним рівнем шуму в салоні; доля рейсів з нормативною температурою в салоні транспортного засобу; коефіцієнт дотримання норм місткості; коефіцієнт пересадочності; доля транспортних засобів високих екологічних класів.

а) Коефіцієнт оснащення транспортних засобів засобами інформування пасажирів $k_{осттз}$

$$k_{осттз} = \frac{Q_{осттз}}{Q_{тз}}, \quad (6)$$

де $Q_{осттз}$ – кількість транспортних засобів, оснащених засобами інформування пасажирів.

б) Доля транспортних засобів з нормативним рівнем шуму в салоні $D_{тзш}$

$$D_{тзш} = \frac{Q_{тзнорм}}{Q_{тз}}, \quad (7)$$

де $Q_{тзнорм}$ – кількість транспортних засобів з рівнем шуму в салоні, відповідним вимогам, встановленим статтею 22 Закону України "Про автомобільний транспорт".

в) Доля рейсів з нормативною температурою в салоні транспортного засобу $D_{рнормтемп}$

$$D_{рнормтемп} = \frac{Q_{рнормтемп}}{Q_p} \cdot 100, \quad (8)$$

де $Q_{рнормтемп}$ – кількість виконаних рейсів з нормативною температурою у салоні [1];

Q_p – загальна кількість рейсів МПТ по маршрутах регулярних перевезень.

г) Коефіцієнт дотримання норм місткості $k_{міст}$

$$k_{міст} = \frac{Q_{рміст}}{Q_p}, \quad (9)$$

де $Q_{рміст}$ – кількість рейсів з дотриманням норм місткості [1].

д) Коефіцієнт пересадочності $k_{пер}$

$$k_{пер} = \frac{N_{пнорм}}{N_{п}}, \quad (10)$$

де $N_{пнорм}$ – чисельність пасажирів, що здійснюють нормативну кількість пересадок при переміщенні у будь-яку точку населеного пункту [2].

$N_{п}$ – загальна чисельність пасажирів, що здійснюють пересадки при переміщенні у будь-яку точку населеного пункту.

е) Доля транспортних засобів високих екологічних класів $D_{еко}$

$$D_{еко} = \frac{Q_{тзео}}{Q_{тз}}, \quad (11)$$

де $Q_{\text{тзек}} -$ кількість транспортних засобів екологічних класів ЄВРО-4 і вище, призначених для здійснення перевезень пасажирів і багажу автомобільним транспортом по маршрутах регулярних перевезень.

Середній інтервал руху автобусів на маршрутній мережі складає 2,5 хвилини. Причому в міжпикові періоди інтервал практично не змінюється, тобто в періоди зниження інтенсивності пасажирських потоків інтенсивність руху транспортних засобів не зменшується. На 1 км мережі пасажирського транспорту загального користування припадає 3 автобуса.

Для визначення транспортної доступності розглянемо розподіл перевезень по довжині поїздки. З рис. 1 видно, що в м. Черкаси близько 30% пасажирів витрачають на поїздку більше 40 хвилин при нормативі 10 - 20%, тобто маршрутна мережа м. Черкаси не цілком задовольняє вимоги транспортної доступності. Для виконання цього нормативу необхідно підвищувати швидкість сполучення на маршрутах пасажирського транспорту загального користування, тобто забезпечувати пріоритетний рух рухомого складу загального користування на вулично-дорожній мережі.

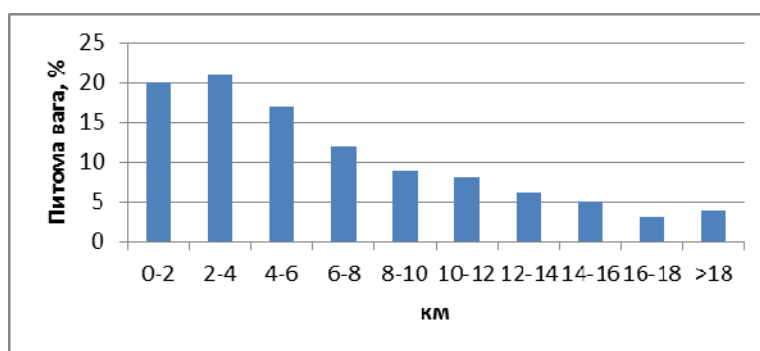


Рисунок 1 – Розподіл перевезень за довжиною поїздки

Джерело: розроблено авторами

Сьогодні маршрутна мережа м. Черкаси не задовольняє вимогам транспортної доступності: 25% пасажирів витрачають на поїздку більше 40 хвилин (при нормі 10 - 20%).

Швидкість пересування автобусів в середньому складає 21,5 км/год.

З більшою швидкістю пересування (до 33 км/год.) обслуговуються маршрути, значна частина яких проходить за межами густонаселеної частини м. Черкаси.

Надійність і регулярність руху визначається вірогідністю виконання поїздки і вірогідністю збоїв в розкладі руху [10]. Підвищення регулярності руху забезпечується централізацією і автоматизацією диспетчерського управління рухом, створенням резерву рухомого складу, переведенням водіїв на бригадну форму організації праці, раціональним стимулюванням водіїв і диспетчерів, підвищенням надійності рухомого складу в експлуатації, відповідністю провізної можливості маршруту до потреб в перевезеннях пасажирів. Регулярність руху оцінюється коефіцієнтом регулярності, N_p – відношення числа рейсів, передбачених розкладом руху N_p за певний період часу, до числа фактично виконаних рейсів за розкладом N_ϕ .

$$K_p = \frac{N_p}{N_\phi}. \quad (12)$$

Регулярний рейс – рейс з допустимим відхиленням від розкладу $\pm 2-5$ хв. Отримано показник якості K_p – від 0,83 до 1.

Середнє значення коефіцієнта регулярності складає 0,91, що говорить про високу якість транспортного обслуговування з точки зору регулярності руху. Дані показники вказують на високу якість перевезень.

Таблиця 2 – Результати оцінки якості міського пасажирського транспортного обслуговування в м. Черкаси

Коефіцієнти якості	Значення	Бал
$k_{\text{дост зп}}$	0,86	8
$k_{\text{зп мгн}}$	0,17	2
$k_{\text{дост мгн}}$	0,04	1
$k_{\text{міст}}$	0,5	5
$k_{\text{пер}}$	0,65	7
$k_{\text{д}}$	0,025	4
$k_{\text{роз п}}$	0,91	8
$k_{\text{оснтз}}$	0,9	9
$D_{\text{тзш}}$	35	4
$D_{\text{рнорм темп}}$	62	7
$D_{\text{еко}}$	70	8
Разом		63 – мінімальний рівень

Джерело: розроблено авторами

Висновки. Найголовнішою проблемою в транспортному обслуговуванні пасажирів м. Черкаси є непристосованість зупинних пунктів і транспортних засобів для маломобільних груп населення. Тому необхідно збільшувати кількість транспортних засобів, що обладнані пристосуваннями для перевезення мало мобільних груп населення. Також необхідно обладнувати зупинні пункти для зручності користування даним групам населення.

Наступною проблемою транспортного обслуговування в м. Черкаси є якість обслуговування. Низька якість обслуговування в першу чергу обумовлена:

- застосуванням рухомого складу, з неналежними технічними характеристиками (ресурс використання транспортних засобів давно вичерпався);
- невідповідним станом салону транспортного засобу (санітарний стан, наявність сторонніх предметів в салоні, несправні пасажирські сидіння і так далі);
- недостатньо ввічливим відношенням працівників транспорту, відсутністю додаткових інформаційних послуг, надання яких практикується в громадському транспорті розвинених країн;
- неприйнятним в деяких випадках інтервалом руху транспортних засобів по маршруту (час очікування автобуса в деяких випадках значно перевищує визначене розкладом внаслідок транспортних заторів на вулично-дорожній мережі);
- низьким технічним і санітарним станом зупинних пунктів (кінцевих і проміжних), відсутністю інформації про рух рухомого складу.

Список літератури

1. Большаков А. М. Повышение уровня обслуживания пассажиров автобусами на основе комплексной системы управления качеством: дис. канд. экон. наук. М., 1981. 174 с.
2. Сидоров Е. А. Экономическая и социальная эффективность использования автобусов большой вместимости при организации транспортного обслуживания населения в городах: дис. ... канд. экон. н. М., 1989. 214 с.
3. Варелопуло Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте . М.: Транспорт, 1990 208 с.
4. Артемьев С. П. Основы рентабельности городского общественного пассажирского транспорта . Пробл. качества работы и эффективности автомоб. трансп.: сб. науч. тр., 1985. С. 4–7.
5. Шабанов А. В. Региональные логистические системы общественного транспорта: методология формирования и механизм управления. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВЦ, 2001. 205 с.

6. Беликов И. В., Крысин Л. П. Социолінгвістика: учебник для бакалавриата и магистратуры / 2-е изд., перераб. и доп. М. : Издательство Юрайт, 2016. 337 с. Серия : Авторский ученик.
7. Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research / A. Parasuraman, Valarie A. Zeithaml, Leonard L. Berry. *Journal of Marketing*. 1985. Vol. 49 (4). P. 41–50. 75.
8. Головне управління статистики в Черкаській області: офіційний сайт. URL: <http://www.ck.ukrstat.gov.ua> (звернення 23.04.2022).
9. Гудков В.А., Бочкарёва М.М., Дулина Н.В. Качество пассажирских перевозок: возможность исследования методами социологии. ВолгГТУ. Волгоград, 2008. 163 с.
10. Дрючин Д.А., Шахалевич Г.А., Якунин Н.Н. Результаты технико-экономической оценки структуры производственной базы АТП. *Грузовое и пассажирское автохозяйство*. 2012. №1. С.63-69.

References

1. Bolshakov, A.M. (1981). Povyshenie urovnya obsluzhivaniya passazhirov avtobusami na osnove kompleksnoy sistemy upravleniya kachestvom [Improving the level of passenger service by buses based on an integrated quality management system]. *Candidate's thesis*. Moscow [in Russian].
2. Sidorov, E.A. (1989). Ekonomicheskaya i sotsialnaya effektivnost ispolzovaniya avtobusov bolshoy vmestimosti pri organizatsii transportnogo obsluzhivaniya naseleniya v gorodakh [Economic and social efficiency of the use of large-capacity buses in the organization of transport services for the population in cities]. *Candidate's thesis*. Moscow [in Russian].
3. Varelopulo, G.A. (1990). Organizatsiya dvizheniya i perevozok na gorodskom passazhirskom transporte [Organization of traffic and transportation in urban passenger transport]. Moscow: Transport [in Russian].
4. Artemev, S.P. (1985). Osnovyi rentabelnosti gorodskogo obschestvennogo passazhirskogo transporta [Fundamentals of profitability of urban public passenger transport]. *Probl. kachestva raboty i effektivnosti avtomob. transp. Sb. nauch. tr. – Problems of the quality of work and the efficiency of road transport: Sat. scientific works*, 4-7 [in Russian].
5. Shabanov, A.V. (2001). Regionalnyie logisticheskie sistemyi obschestvennogo transporta: metodologiya formirovaniya i mehanizm upravleniya [Regional logistics systems of public transport: methodology of formation and management mechanism]. Rostov n/D. Izd-vo SKNTs VSh [in Russian].
6. Belikov, I.V. & Kryisin, L.P. (2016). *Sociolinguistics: a textbook for undergraduate and graduate programs*. (2d ed.) Moscow : Izdatelstvo Yurayt [in Russian].
7. Parasuraman, A.A (1985). Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research. *Journal of Marketing*. Vol. 49 (4), P. 41–50. 75. [in English].
8. Holovne upravlinnia statystyky v Cherkas'kij oblasti: ofitsijnyj saj. [Main Department of Statistics in Cherkasy Region: official website]. [ck.ukrstat.gov.ua](http://www.ck.ukrstat.gov.ua). Retbieved from <http://www.ck.ukrstat.gov.ua>.
9. Gudkov, V.A., Bochkaryova, M.M. & Dulina, N.V. (2008). *Kachestvo passazhirskih perevozok: vozmozhnost' issledovaniya metodami sociologii* [The quality of passenger transportation: the possibility of research by methods of sociology]. VolgGTU. Volgograd [in Russian].
10. Drjuchin, D.A., Shahalevich, G.A. & Jakunin, N.N. (2012). Rezultatyi tehniko-ekonomicheskoy otsenki strukturyi proizvodstvennoy bazyi ATP. *Gruzovoe i passazhirskoe avtohozyaystvo*, 1 [in Russian].

Lyudmyla Tarandushka, Assoc. Prof., DSc., **Ihor Shlionchak**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ivan Tarandushka**, Senior Lecturer

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

Assessment of the Quality Passenger Service by Public Transport in Cherkasy

The problem of assessing the quality of public transport services provided to the population by public transport is investigated. The quality of passenger transport services by public transport is influenced by certain factors.

Many researchers have been working to identify a combination of factors that would have the most significant impact on the quality of services and by assessing which the level of quality of public transport services provided by public transport could be determined. The article identified the most important indicators that reflect the quality of transport services and proposed a method of assessing passenger service by public transport.

The most important problem in transport services for passengers in Cherkasy is the unsuitability of bus stops and vehicles for people with reduced mobility. Therefore, it is necessary to increase the number of vehicles equipped with devices for transporting less mobile population groups. The results of the study can be used to determine the level of quality of passenger transport services by public transport in any city and the specific results obtained in the city of Cherkasy are proposed to be used in the process of optimizing the transport network of the city.

quality, quality indicators, transport services, transport network

Одержано (Received) 16.05.2021

Прорецензовано (Reviewed) 21.05.2021

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 656.1

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.262-273](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.262-273)

Л.А. Тарандушка, доц., д-р техн. наук, Н.Л. Костьян, доц., канд. техн. наук,
І.П. Тарандушка, ст. викл., Ф. Яценко, М. Буханистий

*Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна,
e-mail: tarandushka@ukr.net; 438knl@gmail.com; tarandushka@ukr.net,
f.p.yatsenko.fktmd21@chdtu.edu.ua, m.o.bukhanystyi.fktmd21@chdtu.edu.ua*

Визначення оптимальної кількості транспортних засобів для функціонування каршерінгу в місті Київ в рамках вдосконалення транспортної системи міста

Досліджується проблема забезпечення якості транспортних послуг, що надаються населенню каршерінговою фірмою. Для формалізованого опису процесу функціонування каршерінгової фірми застосовувалась інформаційна, наукова та експериментальна бази, за допомогою яких стало можливим вирішити транспортні завдання в умовах постійного вдосконалення функціонування транспортної системи міста. Основною метою виконання даного дослідження з використанням математичного апарату – отримання результуючих показників, які дадуть рекомендації для покращення рівня обслуговування каршерінговою фірмою клієнтів з врахуванням можливих впливів певних параметрів системи. Для проведення дослідження застосовувалась математична модель, яка враховує основні показники, що впливають на визначення оптимальної кількості транспортних засобів фірми для забезпечення високого рівня обслуговування клієнтів каршерінгової компанії. В ході роботи було визначено найважливіші показники, що впливають на якість транспортних послуг та запропонована методика визначення оптимальної кількості транспортних засобів для якісного задоволення потреб клієнтів каршерінгової фірми. Отримано статистичні дані щодо потреб в каршерінгу в м. Київ на базі додатку Getmancar. Отримано функцію експоненційного розподілу часу поїздки від їх кількості протягом терміну дослідження, що склав 13 днів. Виконано необхідні розрахунки та отримано рекомендації щодо збільшення парку транспортних засобів каршерінгової фірми Getmancar до 293 шт. Це дасть змогу збільшити щільність транспортних засобів в районі, цим самим забезпечити 100 % ймовірність знаходження вільного транспортного засобу на відстані від 0,6 до 1,2 км. Отримані результати пропонується застосовувати в процесі оптимізації транспортної мережі м. Київ. Запропоновану методику рекомендовано застосовувати під час реорганізації транспортної системи міста, переплануванні міст, прогнозуванні результатів функціонування транспортної системи під час інтенсивного розвитку транспортної мережі.

якість, транспортні послуги, транспортна система

Постановка проблеми. Під час розвитку та укрупнення міст підвищення якості функціонування транспортної системи є однією з пріоритетних задач, яку необхідно вирішувати. Для формалізованого опису процесу функціонування міського транспортного потоку широко використовують моделювання. Існує величезна інформаційна, наукова, та експериментальна база, за допомогою якої можливо вирішувати транспортні завдання в умовах постійного вдосконалення функціонування транспортних систем міст. Вирішення таких завдань неможливе без використання математичного моделювання процесів, що виникають при взаємодії споживачів з існуючою транспортною мережею міста. Головна мета використання математичного апарату – отримання результуючих показників після моделювання функціонування певного об'єкту з врахуванням можливих впливів певних параметрів системи. До основних математичних моделей, що практично використовуються для проведення

аналізу функціонування транспортних мереж міст та регіонів, можна віднести три основні групи: прогнозні, імітаційні, оптимізаційні. В результаті використання цих моделей можна прогнозувати зміни показників функціонування транспортної мережі міста, з врахуванням змін транспортного попиту або транспортної пропозиції. Такі моделі можна застосовувати під час реорганізації транспортної системи міста, переплануванні міст, прогнозуванні результатів функціонування транспортної системи під час інтенсивного розвитку транспортної мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковці, що досліджують транспортну мережу міста [1-3] розглядають її, як систему масового обслуговування (СМО), яка призначена для обслуговування певного потоку замовлень, що поступають на вхід системи і можуть бути як регулярними так і випадковими.

В загальному випадку обслуговування замовлень може бути постійним, заздалегідь спланованим та випадковим. В схемі СМО, яку використовує [4] для опису функціонування транспортної мережі міста (рис.1) можна виділити «Потік замовлень на вході системи», «Чергу», «Канали обслуговування», «Потік замовлень, що не було виконано», «Потік замовлень, що було виконано».

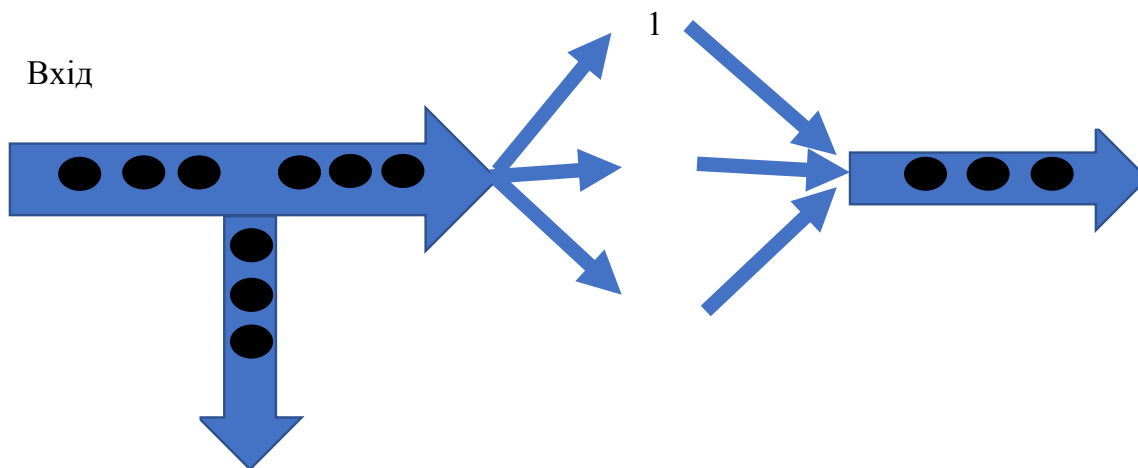


Рисунок 1 – Схема функціонування транспортної мережі міста (СМО)

Джерело: розроблено авторами

СМО працює наступним чином. Коли з'являється замовлення, воно виконується необхідним каналом обслуговування та подається на вихід системи. Випадковий характер потоку замовлень може призводити до появи черги, а відповідно і до потоку замовлень, що не було виконано за певних причин, а також до появи недовантаження каналів обслуговування.

Це означає, що транспортна мережа міста, залежно від своїх параметрів: характеру потоку замовлень, кількості каналів обслуговування, їх продуктивності, способу організації роботи має певну ефективність функціонування (рівень пропускної здатності). Тобто, метою системи масового обслуговування є визначення певних рекомендацій, що приведуть до збільшення пропускної здатності мережі міста з мінімальними витратами за допомогою визначення залежності ефективності функціонування транспортної мережі від параметрів системи. Тому стає необхідним провести аналіз випадкових процесів, що відбуваються в СМО «Транспортна мережа міста» за допомогою математичного апарату. Математичний аналіз суттєво спрощується, якщо СМО розглядати за певних умов.

Спочатку необхідно розглянути класифікацію систем масового обслуговування. За кількістю каналів СМО поділяються на одноканальні та багатоканальні. Припустимо, що кожен канал одночасно може обслуговувати тільки одне замовлення та кожне замовлення обслуговується тільки одним каналом. Багатоканальні системи можуть складатись з однорідних каналів або різнорідних, які мають відмінність у часі обслуговування одного замовлення.

За дисципліною обслуговування СМО поділяються на три класи [5]:

1). СМО з відмовами, в яких замовлення, що поступило на вхід системи отримало відмову в зв'язку з зайнятістю всіх каналів обслуговування. Для того, щоб це замовлення було виконане необхідно, щоб воно знову надійшло на вхід системи.

2). СМО з очікуванням. В таких системах, замовлення, що надійшло під час зайнятості всіх каналів обслуговування стає в чергу і коли звільняється канал обслуговування відбувається виконання замовлення.

3). СМО змішаного типу. Це системи в яких на замовлення, що знаходяться в черзі, накладаються певні обмеження.

В СМО з очікуванням та в СМО змішаного типу обслуговування може виконуватись як по черзі так і у випадковому порядку.

Якщо процеси, що відбуваються в транспортній системі міста представити, як марківські випадкові процеси, то математичний аналіз роботи СМО значно спрощується [6]. Це означає, що стан системи, в яких відбуваються марківські випадкові процеси, в майбутньому залежить тільки від стану системи в теперішньому і не залежить від стану системи в минулому. Для марківського випадкового процесу майбутній стан залежить від минулого через теперішній стан (рис.2).

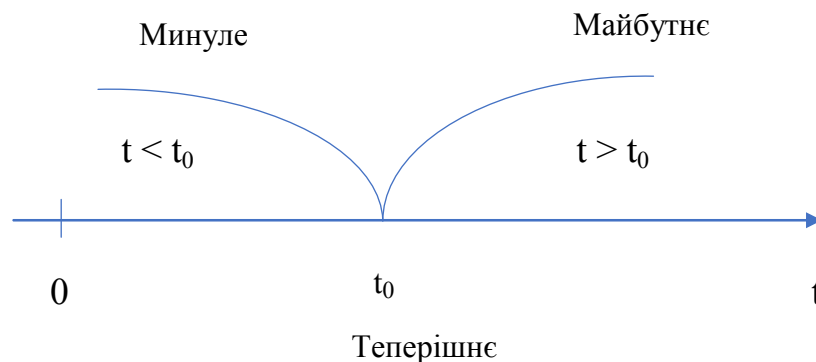


Рисунок 2 – Схематичне зображення марківського процесу

Джерело: розроблено авторами

Постановка завдання. Метою роботи є визначення важливих параметрів, що впливають на рівень задоволеності клієнтів каршерінгової фірми з метою вдосконалення їх нормування.

Виклад основного матеріалу. Статистичний дані щодо потреб в каршерінгу в м. Київ на базі додатку Getmancar було зібрано з 07.11.2021 р. до 19.11.2021р., з 8.00 до 23.00.

Зона використання автомобіля – місто Київ, але починати або завершувати аренду можна тільки центральними районами міста (рис.3).

Існує 3 види тарифів в додатку Getmancar:

- Похвилинний – 7,99 грн./хв., очікування 1,29/хв;
- Погодинний – 79 грн./год.;
- Добовий – 1199 грн./добу.

Таблиця 1 – Вихідні дані міста Київ [8]

№	Район	Населення, осіб	Площа, м ²	Середня кількість автомобілів, що обслуговують район
1	Печерський	144785	27	4
2	Дніпровський	348804	67	10
3	Оболонський	317419	110	16
4	Деснянський	362127	148	22
5	Дарницький	320234	134	20
6	Голосіївський	239340	156	23
7	Солом'янський	351169	40	6

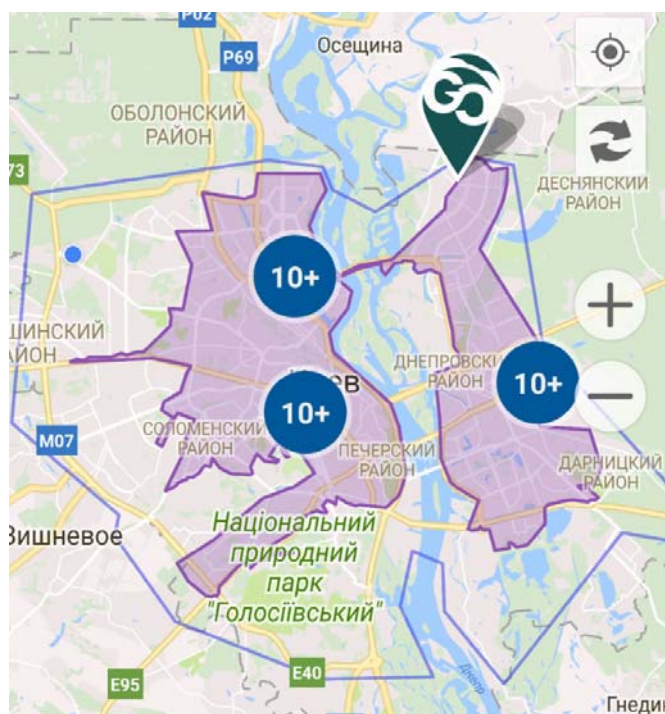


Рисунок 3 – Схема районів початку та завершення аренди авто в м. Київ

Джерело: [8].

Провівши аналіз часу використання автомобіля отримуємо наступну гістограму (рис.4)

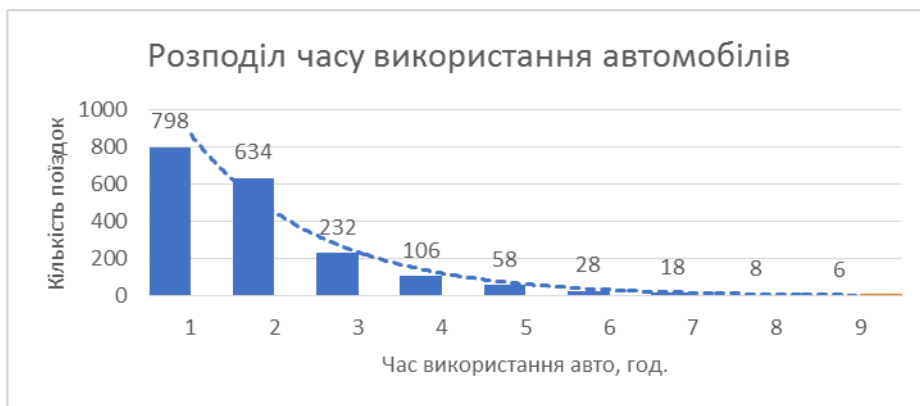


Рисунок 4 – Розподіл часу використання автомобілів Getmancar

Джерело: розроблено авторами

Середня кількість вільних та зайнятих автомобілів в районі представлені в табл. 1

Таблиця 1 - Середня кількість вільних та зайнятих автомобілів в районі

№ району	1	2	3	4	5	6	7
Середнє значення вільних ТЗ	2,5	1,57	1,3	5,21	5,01	4,81	2,68
Середнє значення зайнятих ТЗ	0,53	0,23	0,48	1,40	1,09	1,59	0,86

Джерело: розроблено авторами

Поїздки тривалістю до 1 години є найпопулярнішими. Функція експоненціального розподілу має вигляд:

$$f(x) = \begin{cases} 1 - e^{-0,65x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Метою задоволення попиту на каршерінгові послуги є забезпечення розподілу автомобілів по районах міста в кроковій доступності клієнтів (600 м). Для математичного оцінювання розподілу об'єктів на площині скористаємося методом «Найближчого сусіда». Даний метод описує три типи розподілу об'єктів: рівномірний, випадковий та груповий. Для визначення розподілу транспортних засобів каршерінгової фірми по території міста доцільно використовувати випадковий розподіл.

Відповідно до даного методу середня відстань до найближчого вільного транспортного засобу в районі при випадковому розподілі об'єктів розраховується за формулою [7]:

$$\bar{r} = \frac{1}{N\sqrt{\rho}}, \quad (2)$$

ρ – щільність транспортних засобів каршерінгу в районі;

N – середня кількість вільних транспортних засобів в районі;

Дисперсія випадкового розподілу:

$$\sigma = \frac{0,26136}{\sqrt{N\rho}}. \quad (3)$$

Функція нормального розподілу (ймовірність розташування транспортного засобу в кроковій доступності):

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}. \quad (4)$$

x – максимальна відстань крокової доступності, м;

μ – мінімальна відстань крокової доступності, м;

На прикладі Деснянського району побудуємо математичну модель для оцінки потреб каршерінгу. Так як кількість транспортних засобів каршерінгу, що обслуговують м. Київ складає 100 шт, то щільність транспортних засобів, що покривають місто складає $\rho = 0,12$ авт./км².

Таблиця 2 – Характеристики для моделювання по Деснянському району

Населення, тис.ос	362
Щільність ТЗ каршерінгу	362
Відстань, км	0,6
Площа, км ²	148

Джерело: розроблено авторами

Тоді середня відстань між найближчими вільними транспортними засобами, дисперсія та ймовірність розташування транспортного засобу, що знаходиться в кроковій доступності 0,6 км розраховується:

$$\bar{r} = \frac{1}{1\sqrt{0,12}} = 3, \text{ км.} \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{0,26136}{\sqrt{1 \cdot 0,12}} = 0,74 \quad F(x) = \int_0^x \cdot 6 \frac{1}{0,74\sqrt{2 \cdot 3,14}} \cdot 2,72 \frac{-(0,6-0)^2}{2} = 0,23.$$

Таблиця 3 – Результати розрахунку

Середня кількість вільних автомобілів	$\bar{r}$	σ
1	3	0,74
2	1,5	0,53
3	0,96	0,44
4	0,72	0,38
5	0,58	0,34

Джерело: розроблено авторами

Середня кількість вільних ТЗ в Деснянському районі складає 5 авт. Тому отримуємо графічну залежність ймовірності знаходження вільного ТЗ в Деснянському районі, за умови, якщо вільних автомобілів – 5, а клієнт погоджується пройти до автомобіля від 0,1 км до 0,6 км.

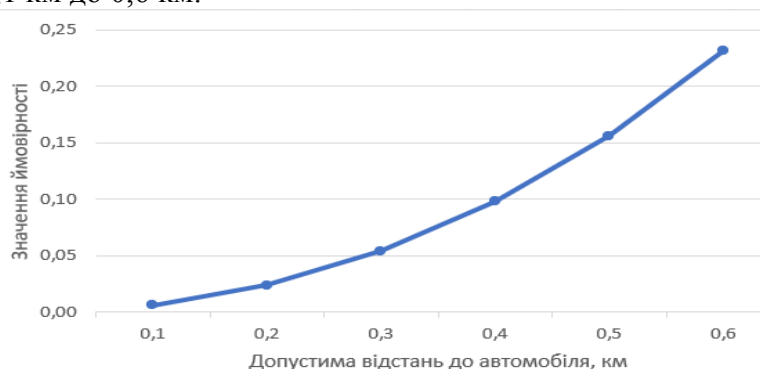


Рисунок 5 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в Деснянському районі на відстані від 0,1 до 0,6 км

Джерело: розроблено авторами

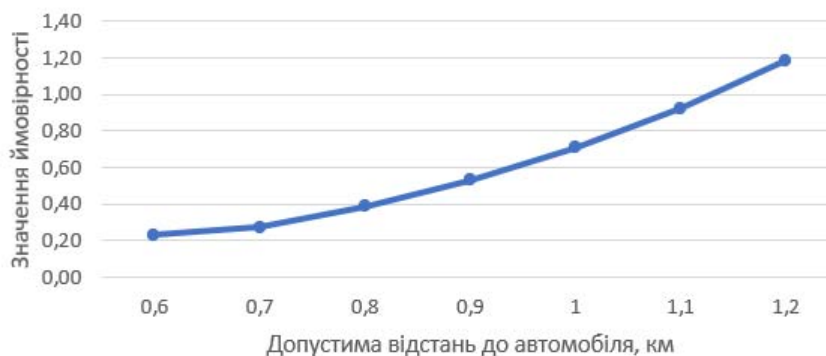


Рисунок 6 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в Деснянському районі на відстані від 0,6 до 1,2 км

Джерело: розроблено авторами

Проведемо аналогічні розрахунки для 1, 2, 3, 4 вільних автомобілів в районі відповідно та результати занесемо в табл.4

Таблиця 4 – Результати розрахунку ймовірності існування вільного автомобіля від середньої кількості вільних автомобілів в районі та допустимої відстані до автомобіля

Середня кількість вільних автомобілів в районі	Допустима відстань до автомобіля	Значення ймовірності $F(x)$
1	0,1	0,027
	0,2	0,01
	0,3	0,02
	0,4	0,04
	0,5	0,07
	0,6	0,11
	0,7	0,12
	0,8	0,18
	0,9	0,24
	1,0	0,33
	1,1	0,42
	1,2	0,54
2	0,1	0,0038
	0,2	0,02
	0,3	0,03
	0,4	0,06
	0,5	0,10
	0,6	0,15
	0,7	0,17
	0,8	0,25
	0,9	0,34
	1,0	0,45
	1,1	0,59
	1,2	0,76

Продовження таблиці 4

3	0,1	0,0045
	0,2	0,02
	0,3	0,04
	0,4	0,08
	0,5	0,12
	0,6	0,18
	0,7	0,21
	0,8	0,30
	0,9	0,41
	1,0	0,55
	1,1	0,71
	1,2	0,91
4	0,1	0,01
	0,2	0,02
	0,3	0,05
	0,4	0,09
	0,5	0,14
	0,6	0,21
	0,7	0,24
	0,8	0,35
	0,9	0,48
	1,0	0,63
	1,1	0,82
	1,2	1,06
5	0,1	0,01
	0,2	0,02
	0,3	0,05
	0,4	0,10
	0,5	0,16
	0,6	0,23
	0,7	0,27
	0,8	0,39
	0,9	0,53
	1,0	0,71
	1,1	0,92
	1,2	1,18

Джерело: розроблено авторами

Якщо в районі вільний 1 автомобіль, то ймовірність знаходження вільного автомобіля в залежності від відстані, яку погоджується пройти клієнт зображено на рис.7-8.

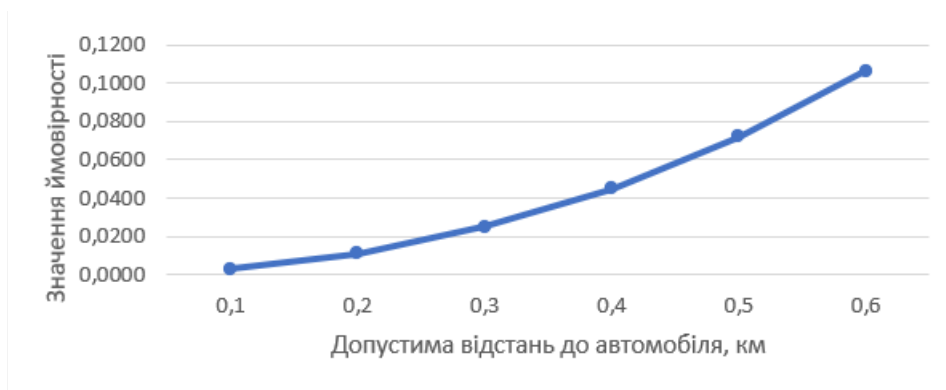


Рисунок 7 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в районі, де є 1 вільний ТЗ на відстані від 0,1 до 0,6 км

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 8 – Графічна залежність ймовірності існування вільного в районі, де є 1 вільний ТЗ на відстані від 0,6 до 1,2 км

Джерело: розроблено авторами

Якщо в районі вільних 2 автомобілі, то ймовірність знаходження вільного автомобіля в залежності від відстані, яку погоджується пройти клієнт зображено на рис.9-10.

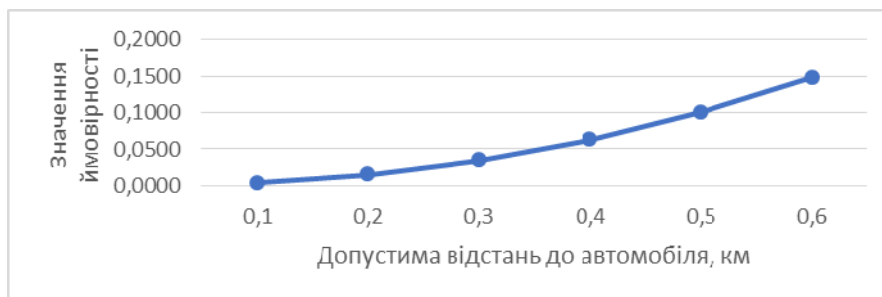


Рисунок 9 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в районі, де є 2 вільних ТЗ на відстані від 0,1 до 0,6 км

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 10 – Графічна залежність ймовірності існування вільного в районі, де є 2 вільних ТЗ на відстані від 0,6 до 1,2 км

Джерело: розроблено авторами

Якщо в районі є 3 вільних автомобілі, то ймовірність знаходження вільного автомобіля в залежності від відстані, яку погоджується пройти клієнт зображено на рис.11-12.



Рисунок 11 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в районі, де є 3 вільних ТЗ на відстані від 0,1 до 0,6 км

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 12 – Графічна залежність ймовірності існування вільного в районі, де є 3 вільних ТЗ на відстані від 0,6 до 1,2 км

Джерело: розроблено авторами

Якщо в районі є 4 вільних автомобілі, то ймовірність знаходження вільного автомобіля в залежності від відстані, яку погоджується пройти клієнт зображено на рис.13-14.

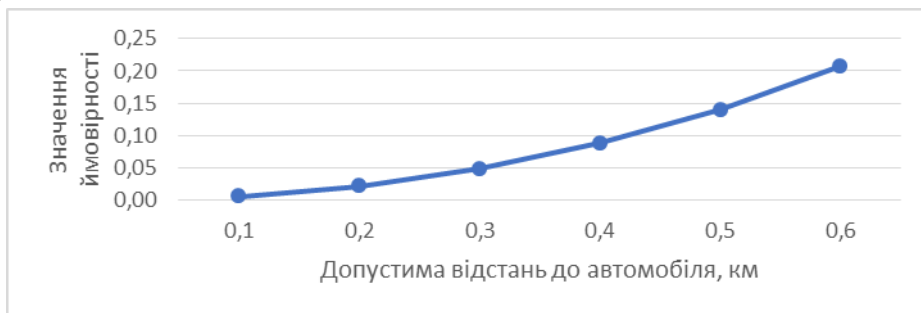


Рисунок 13 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в районі, де є 4 вільних ТЗ на відстані від 0,1 до 0,6 км

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 14 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в районі, де є 4 вільних ТЗ на відстані від 0,6 до 1,2 км

Джерело: розроблено авторами

Після виконання аналізу розроблених графіків залежності ймовірності існування вільного ТЗ в районі на відстані від 0,6 до 1,2 км зрозуміло, що для оптимального забезпечення потреб в автомобілях з каршерінгу на відстані 1,2 км необхідно забезпечити 100% ймовірність знаходження вільного ТЗ за умови існування 1 вільного ТЗ в районі. Для цього необхідно збільшити кількість автомобілів, тобто підвищити щільність їх розташування.

Виконавши необхідні розрахунки, було визначено, що при збільшенні кількості ТЗ служби каршерінгу до 293 шт, щільність розташування ТЗ по місту Київ підвищується до $\rho = 0,43$, тоді графік залежності ймовірності існування вільного ТЗ в районі, де є 1 вільний ТЗ на відстані від 0,6 до 1,2 км має вигляд (рис. 15):



Рисунок 15 – Графічна залежність ймовірності існування вільного ТЗ в районі, де є 1 вільний ТЗ на відстані від 0,6 до 1,2 км

Джерело: розроблено авторами

Даний графік підтверджує 100% ймовірність існування вільного ТЗ на відстані 1,2 км в районі, де на даний момент існує всього 1 вільний ТЗ.

Висновки. Для оптимізації роботи каршерінгової фірми Getmancar в місті Київ було проведено дослідження щодо задоволеності потреб їх клієнтів. Було визначено, що основними параметрами, що впливають на якість обслуговування клієнтів є кількість вільних транспортних засобів в кроковій доступності клієнтів у відповідному районі міста. В результаті виконання розрахунків було визначено, що при збільшенні кількості ТЗ служби каршерінгу до 293 шт, щільність розташування ТЗ по місту Київ підвищується до $\rho = 0,43$. Це забезпечує 100% ймовірність знаходження вільного ТЗ (за умови існування 1 вільного ТЗ в районі) на відстані від 0,6 до 1,2 км.

Список літератури

1. Організація та логістика перевезень: підручник / М.С. Ізтелеуова, І.В. Грицук, П.М. Арімбекова, Л.А. Тарандушка . Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021 . 264 с.
2. Давідіч Ю. О. Фалецька Г. І. Конспект лекцій з дисципліни «Моделювання транспортних систем» (для магістрів усіх форм навчання спеціальності 275 – Транспортні технології) / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 71 с.
3. Богатчук І.М. Організація пасажирських автомобільних перевезень: практикум . Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, 2017. 40 с.
4. Козаченко Д.М., Вернигора Р.В., Малашкін В.В.. Основи дослідження операцій у транспортних системах: приклади та задачі: навчальний посібник для ВНЗ . К.: ПрофКнига, 2019. 277с.
5. Руденко В.М. Математична статистика: навч. посіб. К.: Центр учбової літератури, 2021. 304 с.
6. Parasuraman A. A., Valarie A. Zeithaml, Leonard L. Berry. Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research . *Journal of Marketing*. 1985. Vol. 49 (4). P. 41–50. 75.
7. Снитюк В.Є. Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми: навчальний посібник . К.: "Маклаут", 2008. 364 с.
8. Каршерінг Getman: сайт. URL: <https://getmancar.com.ua> (дата звернення: 07.11.21).

References

1. Izteleuova, M.S., Hrytsuk, I.V., Arimbekova, P.M. & Tarandushka, L.A. (2021). *Orhanizatsiia ta lohistyka perevezen* [Organization and logistics of transportation]. Kherson : OLDI-PLIUS [in Ukrainian].
2. Davidich, Yu.O. (2019) Konspekt lektsii z dystsypliny «Modeliuvannia transportnykh system» [Synopsis of lectures on the discipline "Modeling of transport systems"]. Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova [in Ukrainian].
3. Bohatchuk, I.M. (2017). *Orhanizatsiia pasazhyrskykh avtomobilnykh perevezen* [Organization of passenger automobile transportation]. Ivano-Frankivsk: Vydavnytstvo IFNTUNH [in Ukrainian].
4. Kozachenko, D.M. (2019). *Osnovy doslidzhennia operatsii u transportnykh systemakh : pryklady ta zadachi* [Basics of operations research in transport systems: examples and problems]. Kyiv: ProfKnyha [in Ukrainian].
5. Rudenko, V.M. (2021). *Matematychna statystyka* [Mathematical statistics]. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury [in Ukrainian].
6. Parasuraman, A. A (1985). Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research. *Journal of Marketing*, Vol. 49 (4), P. 41–50 [in English].
7. Snytiuk, V.Ie. (2008). *Prohnozuvannia. Modeli. Metody. Alhorytmy* [Prognostication. Models. Methods. Algorithms]. Kyiv: "Maklout" [in Ukrainian].
8. Karsherin Getman: sait [Carsharing Getman: site]. *getmancar.com.ua*. Retrieved from <https://getmancar.com.ua>.

Lyudmyla Tarandushka, Assoc. Prof., DSc., **Nataliia Kostian**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ivan Tarandushka**, Senior Lecturer, **F. Yatsenko**, **M. Bukhanystyi**
Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

Determination of Optimal Number Vehicles for the Functioning of Carsharing in Kyiv Within the Framework of Improving the Transport System

The problem of ensuring the quality of transport services provided to the population by a car-sharing firm is studied. For a formalized description of functioning process car-sharing company, information, scientific and experimental bases were used, with the help of which it became possible to solve transport problems in the conditions of constant improvement of the city's transport system. The main purpose of this study using a mathematical apparatus is to obtain the resulting indicators, which will provide recommendations for improving the level of customer service by car-sharing companies, taking into account the possible effects of certain system parameters.

A mathematical model was used to conduct the study, which takes into account the main indicators that affect the determination of the optimal number of vehicles of the company to ensure a high level of customer service of the car-sharing company. In the course of the work, the most important indicators influencing the quality of transport services were identified and a method for determining the optimal number of vehicles to qualitatively meet the needs of customers of a car-sharing company was proposed. Statistical data on car-sharing needs in Kyiv were obtained on the basis of the Getmancar application. The function of exponential distribution of travel time from their number during the study period of 13 days was obtained. Necessary calculations were performed and recommendations were received to increase the fleet of car-sharing vehicles from Getmancar to 293 units. This will increase the density of vehicles in the area, thus ensuring a 100% probability of finding a free vehicle at a distance of 0.6 to 1.2 km.

It is proposed to apply the obtained results in the process of optimization of the transport network of Kyiv. The proposed method is recommended to be used during the reorganization of the city transport system, urban redevelopment, forecasting the results of the transport system during the intensive development of the transport network.

quality, quality indicators, transport services, transport network

Одержано (Received) 24.11.2021

Прорецензовано (Reviewed) 06.12.2021

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 656.078.12

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.274-283](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.274-283)**Н.М. Фалович**, доц., канд. екон. наук, **В.А. Фалович**, проф., д-р екон. наук,**О.С. Шевчук**, доц., канд. техн. наук, **П.В. Попович**, проф., д-р техн. наук,**П.Б. Прогній**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Мельниченко**, ст. викл.*Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна**e-mail: n.falovych@gmail.com, e-mail: falovych@gmail.com, e-mail:**oksana_shevchuk84@ukr.net, e-mail: ppopovich@ukr.net, e-mail:**oksana_shevchuk84@ukr.net, e-mail: v.melnychenko@wunu.edu.ua*

Логістична інфраструктура Тернопільської області

В статті досліджено транспортну мережу Тернопільської області. Проаналізовано наявну транспортну мережу за усіма видами транспорту, які функціонують в області, зокрема, залізничний, автомобільний, авіаційний, річковий, трубопровідний в розрізі обсягів перевезень. Проаналізовано динаміку обсягів пасажирообороту області за видами транспорту у період з 2016 по 2020 роки та зроблено висновки щодо його функціонування. Здійснено аналіз обсягів вантажних перевезень в Тернопільській області за видами транспорту у період 2016-2020 роки. Охарактеризовано транспортну галузь в розрізі залізничного, автомобільного, авіаційного та трубопровідного комплексу щодо наявності автопарку, станцій, залів очікування та іншої необхідної інфраструктури.

транспортна інфраструктура, залізничний транспорт, автомобільний транспорт, авіаційний транспорт, трубопровідний транспорт, пасажирооборот, вантажооборот

Постановка проблеми. Аналіз і оцінка логістичної інфраструктури регіону, що включає систему засобів просторово-часового перетворення логістичних потоків (матеріальних, інформаційних, фінансових, людських), а також сукупність підприємств різних організаційно-правових форм і є необхідною умовою її функціонування та розвитку.

Оцінка існуючого стану НТС повинна базуватися на системі об'єктивних і суб'єктивних показників, які характеризують рівень логістичної інфраструктури, організації ефективного інвестиційного процесу щодо сфери логістики, створення й функціонування ринкових інститутів логістичної спрямованості як найбільш значущих складових загальної ринкової інфраструктури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В сучасній практиці широко використовуються нові методи та технології розвитку транспортної системи в регіонах, що ґрунтуються на логістичних концепціях. Проте, особливості логістичної інфраструктури регіонів, а також механізми її функціонування є не достатньо вивченими. Проблемами обґрунтування понятійного апарату, його складовим та, взаємозв'язок між ними досліджували відомі вітчизняні та зарубіжні вчені, такі, як: П.В. Попович [5], О.С. Шевчук [6], В.А. Фалович [8], Г.С. Прокудін [7] та інші. У наукових публікаціях залишаються мало дослідженими функціональні особливості логістичної інфраструктури регіонів та механізми управління ними.

Постановка завдання. Метою дослідження є аналіз і оцінка регіональних особливостей функціонування автомобільного, залізничного, річкового, трубопровідного та авіаційного транспорту Тернопільської області.

Виклад основного матеріалу. Логістична інфраструктура Тернопільської області представлена залізничним, автомобільним, річковим, трубопровідним та авіаційним видами транспорту.

Основними чинниками, що відображають особливості формування транспортної інфраструктури Тернопільської області є такі:

1. Розташування в центрі Західного регіону України, а також близькість до кордонів з країнами ЄС забезпечує унікальне економіко-географічне положення області.

2. Вигідні фізико-географічні та сприятливі природно-кліматичні умови для розвитку транспортної інфраструктури (більшість області - рівнинна територія, лише на півночі розташовані Кременецькі гори).

3. Наявність необхідної кількості транспортної, складської інфраструктури, ліній зв'язку та електропередач.

4. Економічний потенціал регіону сприяє розвитку транспортної інфраструктури, що забезпечує перевезення пасажирів та сировини, матеріалів, готової продукції в необхідних обсягах.

5. Через область проходять міжнародні транспортні магістралі, що сприяє розвитку інфраструктури прилеглих територій.

6. Близькість до великих центрів ділового співробітництва та прикордонних міст.

Залізничний транспорт в Тернопільській області широко використовується як у внутрішніх, так і в міжнародних зв'язках. У 2020 році в структурі вантажообороту його частка становила 22 %, а пасажирообороту – 2 %. Якщо порівнювати ці дані з обсягами перевезень у 2016 році (24% і 7% відповідно), то можна зробити висновок про суттєвий вплив карантинних обмежень під час пандемії COVID-19 на обсяги перевезень залізничним транспортом. У 2016 р. ним перевезено 4598,4 тис. тон вантажів і 5793, 2 тис. пасажирів, а у 2020 році 5341, 9 тис. тон і 889, 3 тис пасажирів відповідно (табл.1).

Таблиця 1 – Кількість перевезених пасажирів за видами транспорту в Тернопільській області за 2016-2020 роки, тис. осіб

Рік	Вид транспорту			
	Залізничний	Річковий	Автомобільний	Тролейбусний
2016	5793,2	49,0	53922,4	24371,5
2017	2644,2	26,9	51281,5	22454,4
2018	2208,4	31,1	45079,1	16897,2
2019	2366,7	37,0	47441,9	14319,2
2020	889,3	16,0	31891,6	7982,4

Джерело: розроблено на підставі [2]

Залізничний комплекс Тернопільської області налічує 14 підприємств. Основні з них: локомотивне депо Тернопіль, пасажирське вагонне депо Тернопіль, вагонне депо Тернопіль, станція Тернопіль, вокзал станції Тернопіль, Тернопільська дистанція колії, дистанція сигналізації зв'язку. На базі колишнього рефрижераторного депо організовано ремонт пасажирських вагонів та іншої залізничної техніки, в локомотивному депо налагоджено ремонт дизель-поїздів, оновлюється колійне господарство, запроваджуються нові технології роботи на всіх підприємствах. Зазначені підприємства належать до Львівської залізниці.

За даними Тернопільської обласної державної адміністрації [4] до складу Тернопільської дирекції залізничних перевезень входить 43 станції та 43 зали очікування пасажирів. Розгорнута довжина колій становить 777,3 км, експлуатаційна довжина колій відповідно – 686,6 км., електрифіковано – 139 км колій. Щільність залізничної мережі на території області становить 45,9 км на 1 тис. кв. км, що значно перевищує такий же показник в Україні (37,6 км). Найбільша щільність залізниць у

центральної частині області, а найменша – у північній. Найважливіша магістраль (Львів-Київ) перетинає область із заходу на схід. Міжобласне значення має залізниця Тернопіль-Чернівці. Залізничний вузол міста Тернополя надає можливість сполучення практично з усіма обласними центрами України та країнами ближнього зарубіжжя. З Тернополя курсують поїзди у таких основних напрямках: Львів, Хмельницький, Чортків, Ланівці, Рогатин. Перевезення в межах області здійснюється за напрямками Тернопіль-Ланівці, Тернопіль-Підволочиськ, Тернопіль-Бережани, Тернопіль-Заліщики тощо. Ділянка залізниці Львів-Підволочиськ електрифікована. Через територію області курсують поїзди майже у всі сусідні країни. Залізнична станція «Тернопіль» здатна пропускати близько 17 тис. пасажирів і 1,2 тис.тон вантажів на добу.

Автомобільний транспорт Тернопільської області представлений мережею автомобільних доріг загального користування, що становить 5000,1 км, із них 4976,2 км (99,5 %) з твердим покриттям [1].

У середньому на 1 тис. кв.км. території припадає 405 км автомобільних шляхів, а із твердим покриттям – 358 км (в Україні ці показники становлять відповідно 270 і 247 км).

За даними Укравтодору протяжність автомобільних доріг Тернопільської області представлено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Автомобільні дороги Тернопільської області [1]

№ п/п	Індекс	Найменування автомобільної дороги	Протяжність, км
<i>Міжнародні автомобільні дороги</i>			
1	M-12	Стрий - Тернопіль - Кіровоград - Знам'янка (через м. Вінницю)	106,4
2	M-19	Доманове (на м. Брест) - Ковель - Чернівці - Тереблече (на м. Бухарест)	200,7
Разом			307,1
<i>Національні автомобільні дороги</i>			
1	P-24	Татарів - Косів - Коломия - Борщів - Кам'янець - Подільський	51,1
2	P-26	Острог - Кременець - Почаїв - Радивилів	70,3
3	P-32	Кременець - Біла Церква - Ржищів	30,9
4	P-39	Броди - Тернопіль	40,7
5	P-41	Обхід м. Тернополя	14,5
6	P-43	/M-19/ - Ланівці - /P-32/	56,2
Разом			263,7

Джерело: розроблено на підставі [1]

Загальна протяжність автомобільних доріг державного значення в області становить 1485,2 км. Загальна протяжність автомобільних доріг загального користування місцевого значення Тернопільської області станом на 01.01.2016 року становить 324,7 км. Протяжність районних автомобільних доріг загального користування місцевого значення Тернопільської області станом на 01.01.2016 року становить 203 км. Всього районних доріг місцевого значення 3194,7 км., в тому числі з твердим покриттям 3170,8 км.

Серед областей України Тернопільська займає 20 місце за загальною протяжністю доріг з чорним покриттям, 1 місце із забезпеченості дорогами з твердим покриттям на 1000 м. кв. території. Перевезення вантажів і пасажирів здійснюють понад 130,1 тис. автомобілів. Із них 68% – вантажні автомобілі. Обсяги вантажних перевезень всіма видами транспорту представлені в табл.3.

Таблиця 3 – Обсяг перевезених вантажів за видами транспорту, тис. тон

Рік	Вид транспорту	
	Залізничний	Автомобільний
2016	4598,4	14672,7
2017	4854,3	16657,9
2018	5162,6	18427,1
2019	5528,9	16209,3
2020	5341,9	18620,2

Джерело: розроблено на підставі [2]

Автобусні маршрути пролягають в усі кінці області, ними курсує понад 2,5 тис. автобусів і мікроавтобусів. Міський електротранспорт працює лише в м. Тернополі. Довжина тролейбусних маршрутів сягає 70 км. Динаміка пасажирообороту в Тернопільській області у 2016 і 2020 роках представлена на рис.1 та на рис.2.



Рисунок 1 – Структура пасажирообороту Тернопільської області за 2016 рік

Джерело: розроблено на підставі [2]

Для порівняння на рис.2 представлено структуру пасажирообороту Тернопільської області за видами транспорту у період карантинних обмежень.

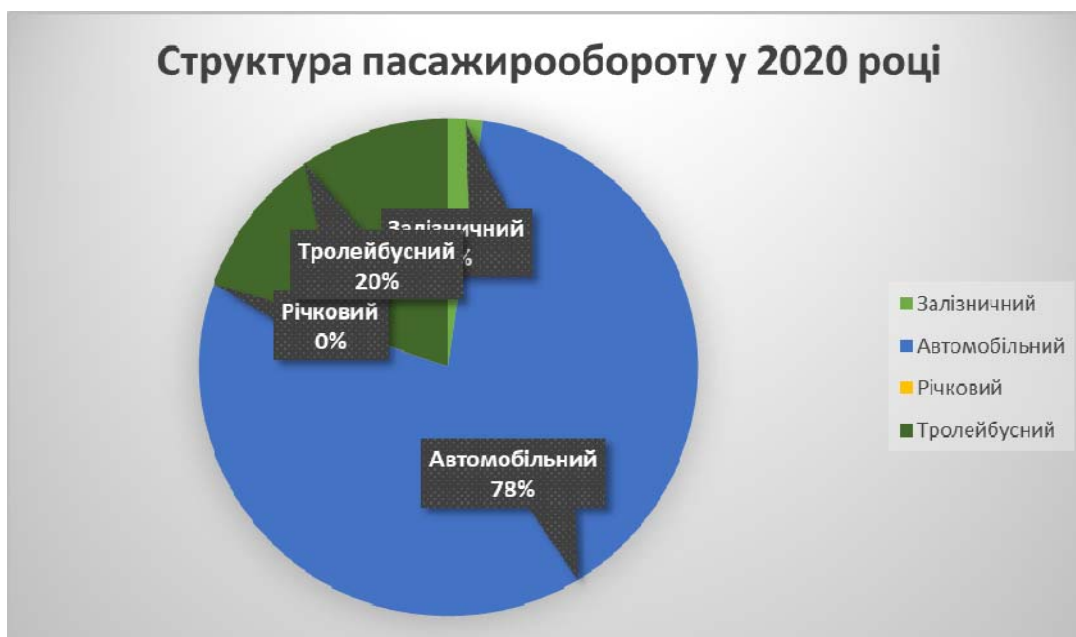


Рисунок 2 – Структура пасажирообороту в Тернопільській області у 2020 році
Джерело: розроблено на підставі [2]

У 2016 році тролейбусами перевезено 24371,5 тис. пасажирів, а у 2020 році 7982,4 тис. пасажирів, що становить на 33% менше вказаного періоду (рис.3). Тролейбусний парк в Тернополі представлений 1 тролейбусним депо, 55 пасажирськими тролейбусами, 1 службовим тролейбусом. Моделі тролейбусів, що є в експлуатації: Škoda 9Tr, Škoda 14Tr, Škoda 15Tr, ЛАЗ-52522, ЛАЗ Е183; 3 автобуси ІнтерЛАЗ 13.5 ЛЕ, 21 автобус MAN A21 NL xx3 Lion's City, 20 автобусів МАЗ-206. Існує тролейбусна лінія з Тернополя до його передмістя – Великої Березовиці.

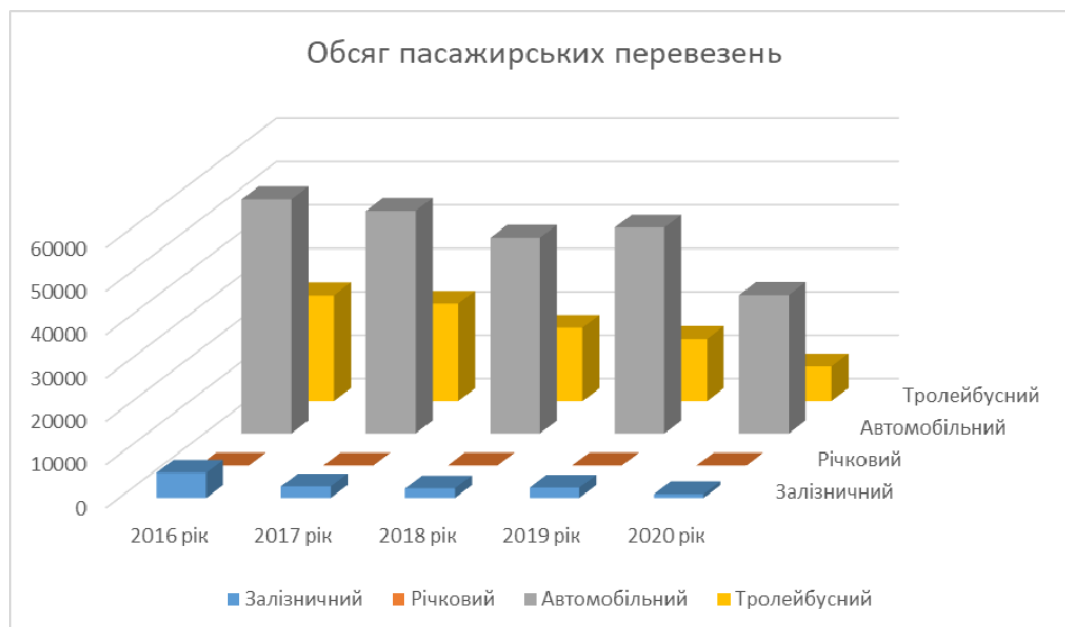


Рисунок 3 – Обсяги пасажирських перевезень в Тернопільській області
Джерело: розроблено на підставі [2]

Здійснивши аналіз пасажирообороту в Тернопільській області за останні 5 років, можна зробити висновок про значні втрати транспортної галузі у цій сфері, що пов'язано з багатьма об'єктивними причинами (рис. 4)

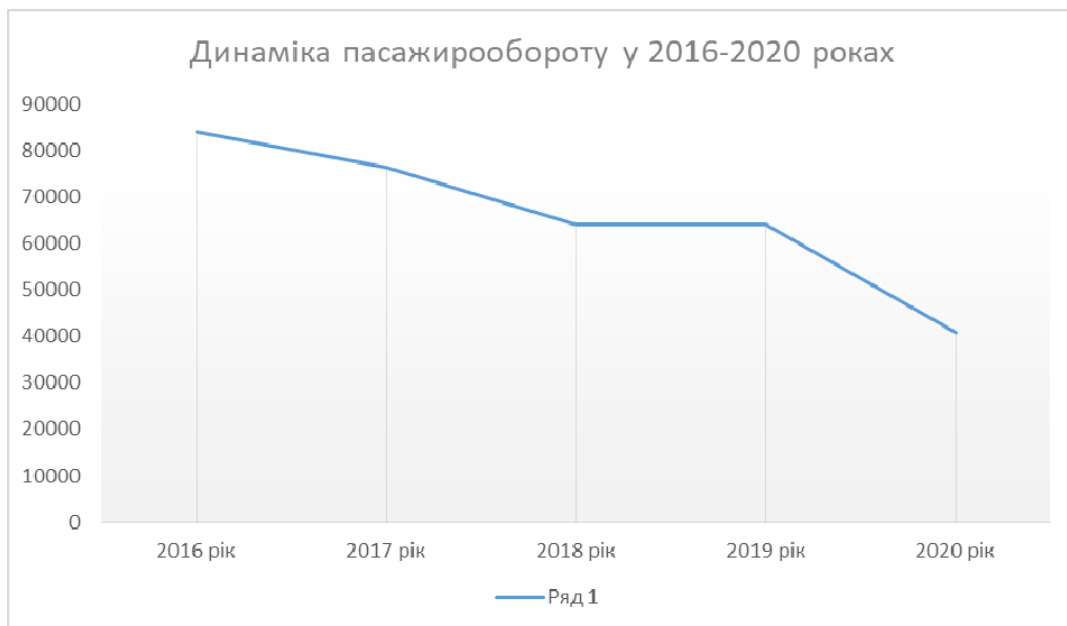


Рисунок 4 – Динаміка пасажирообороту в Тернопільській області всіма видами транспорту
Джерело: розроблено на підставі [2]

Річковий транспорт, один з основних видів транспорту, що здійснює перевезення вантажів та пасажирів внутрішніми водними шляхами Тернопільської області, що на р. Дністер нижче від м. Заліщики. Ним здійснювалися перевезення в основному будівельних матеріалів (гравій, галька), які добувалися із дна цієї річки. Структуру вантажообороту за видами транспорту представлено на рис. 5.

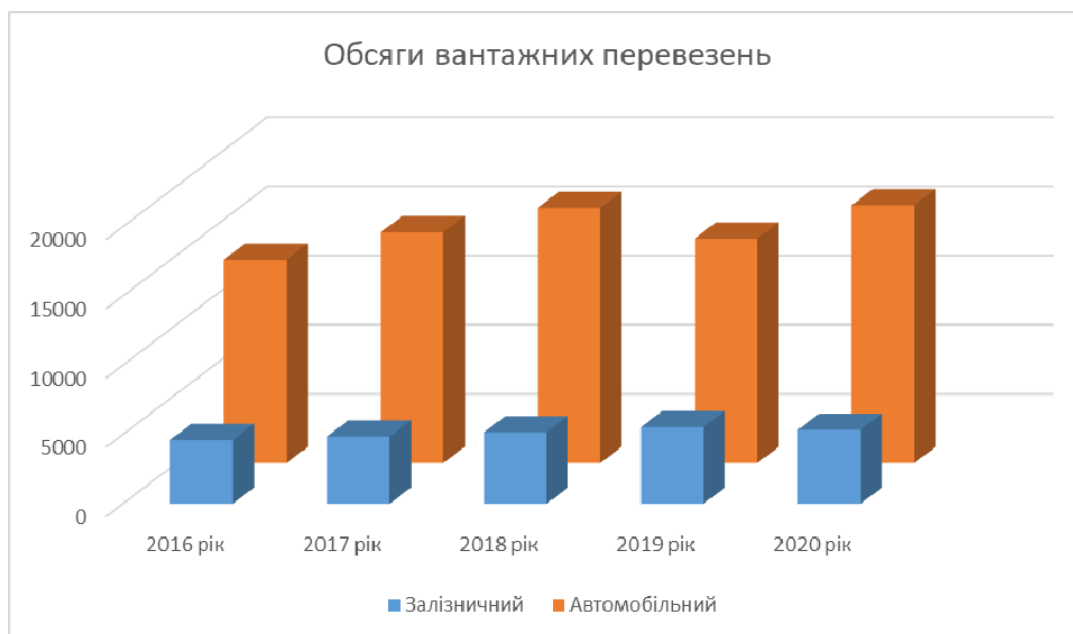


Рисунок 5 – Обсяги вантажообороту в Тернопільській області за видами транспорту
Джерело: розроблено на підставі [2]

Як бачимо, за останні 5 років вантажні перевезення річковим транспортом в тернопільській області не здійснювалися. Щодо структури вантажних перевезень області за видами транспорту у 2020 році, то вона представлена на рис.6.

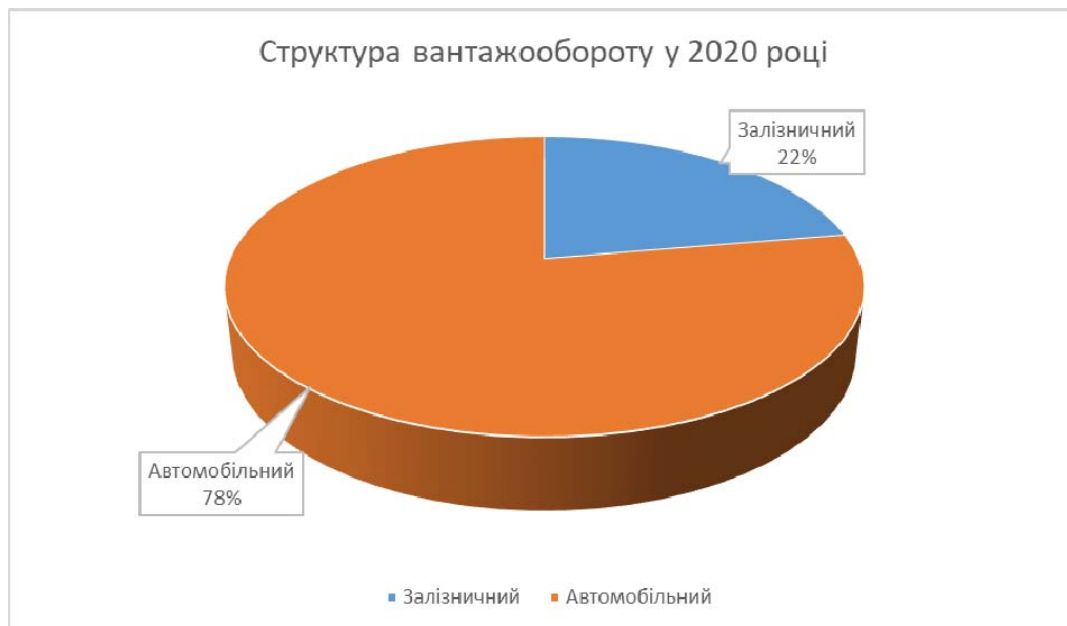


Рисунок 6 – Структура вантажообороту в Тернопільській області за видами транспорту
Джерело: розроблено на підставі [2]

Далі варто розглянути динаміку вантажообороту в Тернопільській області усіма видами транспорту (рис.7).

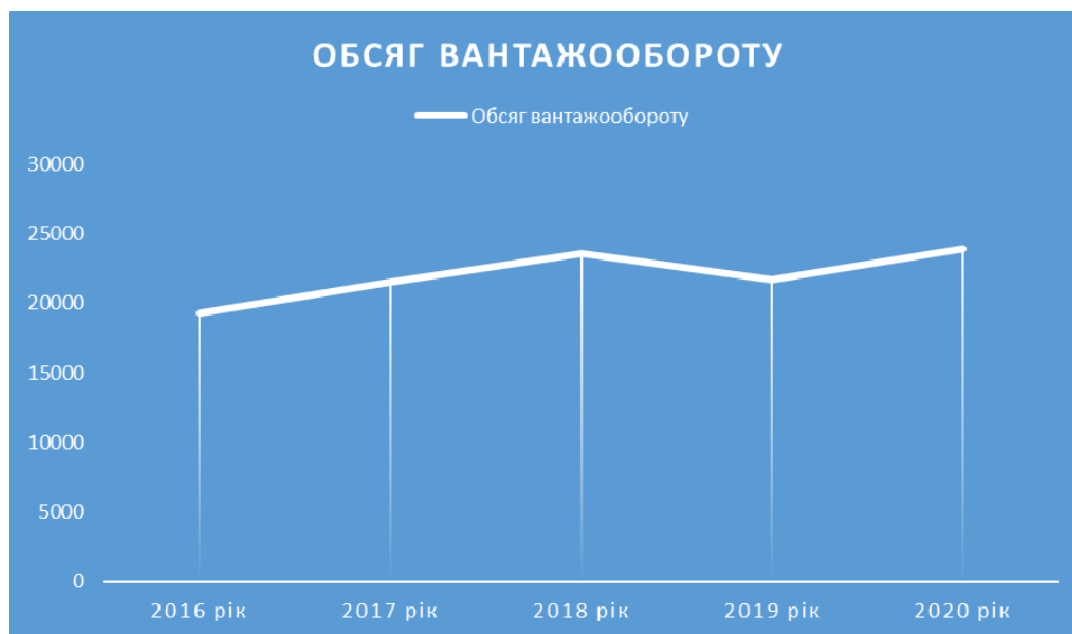


Рисунок 7 – Динаміка обсягів вантажообороту в Тернопільській області у 2016-2020 роках
Джерело: розроблено на підставі [2]

Як бачимо на рис.8, обсяги вантажних перевезень у 2016-2020 роках мали позитивну динаміку, на відміну від обсягу пасажирських перевезень. Тобто, карантинні обмеження, спричинені пандемією COVID-19 є основною причиною негативної

динаміки пасажирообороту області. Причому, на обсяги вантажообороту вони практично не вплинули (рис.8).

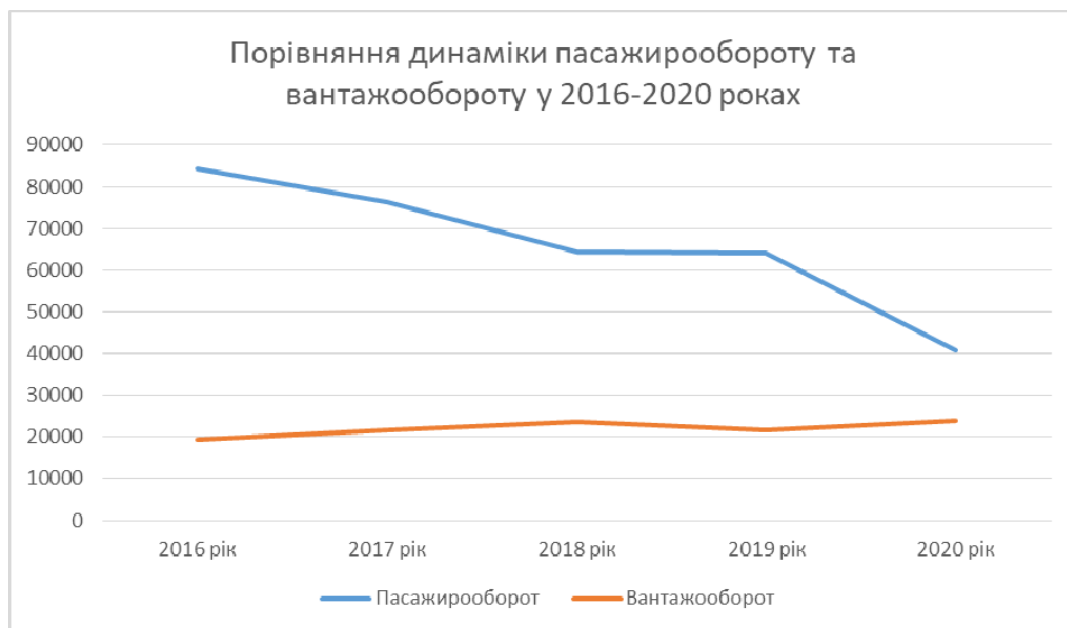


Рисунок 8 – Порівняльна характеристика динаміки вантажообороту та пасажирообороту в Тернопільській області за 2016-2020 роки

Джерело: розроблено на підставі [2]

Територію Тернопільщини перетинають нафтопровід «Дружба», газопроводи «Союз» (Оренбург – західний кордон), Уренгой-Помари-Ужгород, Дашава-Київ, Торжок-Долина.

Авіаційний транспорт області представлений Тернопільським обласним комунальним підприємством «Фірма Тернопіль-авіаавтотранс» та включає в себе аеропорт «Тернопіль», що належить до 4 класу і має аеровокзал, пропускною спроможністю 100 пас/год, пункт пропуску через державний кордон. Він призначений для здійснює, насамперед, перевезення пасажирів, а також пошти і вантажів, які швидко псуються. Авіаційний транспорт в основному використовувався в області для перевезення пасажирів. На даний час він не функціонує. Аеропорт «Тернопіль», що знаходиться за межами міста на відстані двох кілометрів, має злітно-посадкову смугу з штучним покриттям розміром 2000м x 42 м. і може обслуговувати повітряні судна з максимальною злітною масою до 61 тони (літаки типу Л-410, Ан-24, Ан-26, Ан-12, Як-40, Як-42, Іл-18, ТУ-134, та гвинтокрилів усіх типів). Його пропускна здатність становить 100 пасажирів за 1 год. Аеропорт забезпечений митним та прикордонним обслуговуванням по виклику. Виконуються чартерні, нерегулярні польоти по перевезенню пасажирів, вантажів в усі країни світу, крім країн, до яких застосовуються санкції ООН. Найближчі міжнародні аеропорти: Київ (500 км), Львів (120 км), Івано-Франківськ (170 км). В області є 2 аеродроми (Борщів і Мельниця-Подільська), 1 вертодром (с. Лопушне Кременецького району). Вони використовуються дуже рідко.

Всі ці види транспорту тісно пов'язані між собою і утворюють транспортну систему області, яка є складовою частиною транспортної системи України.

Висновки. Таким чином, проведений аналіз дозволяє зробити висновки про те, що формування логістичної інфраструктури Тернопільської області на основі врахування її особливостей повинно бути спрямоване на створення належних умов для реалізації його потенціалу розвитку та є метою наших майбутніх досліджень.

Транспортна галузь Тернопільської області сформувалася завдяки вигідному транспортно-географічному розташуванню, а саме, знаходиться у центрі Західної України на перетині міжнародних магістралей. Через область проходять залізничні та автомобільні міжнародні транспортні коридори у напрямках Берлін-Одеса та Балтійське-Чорне море. Це створює можливості для вигідного розташування логістичних центрів, оптових ринків, транспортних компаній. Тернопільщина володіє достатньо багатим природно-ресурсним потенціалом, який при відповідних умовах може перетворитись у добрі стартові умови для подальшого розвитку області.

Список літератури

1. Укравтодор: веб сайт . URL: <http://www.ukravtodor.gov.ua/> (дата звернення: 04.05.2022).
2. Держкомстат України: веб сайт . URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 04.05.2022).
3. Міністерство інфраструктури України : веб сайт. URL: <http://www.mintrans.gov.ua> (дата звернення: 04.05.2022).
4. Тернопільська обласна державна адміністрація : веб сайт. URL: <http://sed.te.gov.ua/main/ua/304.htm> (дата звернення: 09.05.2022).
5. Попович П. Аналітичні технології в забезпеченні економічної ефективності логістичних систем. *Вісник ХНТУСГ*. 2016. Вип. № 169. С. 223-225.
6. Попович П.В., Шевчук О., Мурований І. Підвищення ефективності технологій перевезень організаційними шляхами надання транспортних послуг. *Вісник ХНТУСГ*. 2017. Вип. № 184. С. 124-130.
7. Прокудін Г.С., Омаров Д.М., Прокудін О.Г. Підвищення продуктивності та якості автобусних пасажирських перевезень в місцях-конгломераціях. *Вісник Національного транспортного університету*. 2016. № 1. С. 378-387.
8. Фалович В.А., Фалович Н., Семенюк С. Засади розвитку координування як емерджентної якості ланцюга поставок інвестиційних товарів. *Галицький економічний вісник*. 2021. Т. 69, № 2. С. 146–152.
9. Фалович В.А. Використання засобів логістичної інфраструктури в ланцюгу поставок. *Економіка та суспільство (Електронне наукове фахове видання)*. 2017. Вип. №10. С. 389–395. URL: http://economyandsociety.in.ua/journal/10_ukr/68.pdf (дата звернення: 10.05.2022).
10. Фалович В. А. Структурування ланцюга поставок у контексті ідентифікації джерел формування емерджентних властивостей . *Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Логістика»*. 2017. № 862. С. 213-232.
11. Попович П.В., Шевчук О.С. Організація діяльності автомобільного транспорту як функції безпеки дорожнього руху . *Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти: матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції)*, (м. Кривий Ріг, 17 листопада 2017 року). Кривий Ріг, 2017. С. 180-184.

References

1. Ukravtodor Ministerstvo infrastuktury Ukrainy : veb sajт. [Ukravtodor : website]. *ukravtodor.gov.ua*. Retrieved from <http://www.ukravtodor.gov.ua/> [in Ukrainian].
2. Derzhkomstat Ukrainy Ministerstvo infrastuktury Ukrainy : veb sajт. [Derzhkomstat of Ukraine : website]. *ukrstat.gov.ua*. Derzhkomstat Ukrainy. Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua> [in Ukrainian].
3. Ministerstvo infrastuktury Ukrainy : veb sajт. [Ministry of Infrastructure of Ukraine : website]. *mintrans.gov.ua*. Ministerstvo infrastuktury Ukrainy. Retrieved from <http://www.mintrans.gov.ua> [in Ukrainian].
4. Ternopil's'ka oblasna derzhavna administratsiia : veb sajт. [Ternopil Regional State Administration : website]. *sed.te.gov.ua*. Ternopil's'ka oblasna derzhavna administratsiia. URL: <http://sed.te.gov.ua/main/ua/304.htm> [in Ukrainian].
5. Popovych, P. (2016). Analitychni tekhnolohii v zabezpechenni ekonomichnoi efektyvnosti lohistychnykh system [Analytical technologies in ensuring the economic efficiency of logistics systems]. *Visnyk KhNTUSH – Bulletins KhNTUA, Issue 169*, 223-225. [in Ukrainian].
6. Popovych, P.V., Shevchuk, O. & Murovanyj, I. (2017). Pidvyshchennia efektyvnosti tekhnolohii perevezen orhanizatsiinymy shliakhamy nadannia transportnykh posluh. [Improving the efficiency of

- transportation technologies through organizational means of providing transport services]. *Visnyk KhNTUSH – Bulletins KhNTUA, Issue 184*, 124-130 [in Ukrainian].
7. Prokudin, H.S., Shevchuk, O. & Murovanyj, I. (2016). Pidvyshchennia produktyvnosti ta yakosti avtobusnykh pasazhyrskykh perevezhen v mistsiakh-konhlomeratsiakh. [Improving the productivity and quality of bus passenger traffic in conglomerates]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu – Bulletin of the National Transport University, 1*, 378-387. [in Ukrainian].
 8. Falovych, V.A., Falovych, N. & Semeniuk, S. (2021). Zasady rozvytku koordynuvannia yak emerdzhentnoi yakosti lantsiuha postavok investytsiinykh tovariv. [Principles of development of coordination as an emergent quality of the supply chain of investment goods]. *Halytskyi ekonomichnyi visnyk – Galician Economic Herald, Vol. 69, 2*, 146–152. [in Ukrainian].
 9. Falovych, V.A. (2017). Vykorystannia zasobiv lohistychnoi infrastruktury v lantsiuha postavok. [Use of logistics infrastructure in the supply chain]. *Ekonomika ta suspilstvo (Elektronne naukove fakhove vydannia) – Economy and society (Electronic scientific publication, Issue 10*, 389–395. from http://www.ukrstat.gov.ua/http://economyandsociety.in.ua/journal/10_ukr/68.pdf [in Ukrainian].
 10. Falovych, V.A. (2017). Strukturuvannia lantsiuha postavok konteksti identyfikatsii dzherel formuvannia emerdzhentnykh vlastyvostei [Structuring the supply chain in the context of identifying sources of emergent properties]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnikha» «Lohistyka» – Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic" "Logistics"., 862*, 213-232 [in Ukrainian].
 11. Popovych, P.V. & Shevchuk, O.S. (2017). Orhanizatsiia diialnosti avtomobilnoho transportu yak funktsii bezpeky dorozhnoho rukhu [Organization of road transport activities as a function of road safety]. *Kryvyi Rih* [in Ukrainian].

Nataliia Falovych, Assoc. Prof., Ph.D econ. sci., **Volodymyr Falovich**, Prof., DSc., **Oksana Shevchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Pavlo Popovich**, Prof., DSc, **Pavlo Progniy**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vasil Melnichenko**, lecturer

Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

Logistics Infrastructure of Ternopil Region

A study of the transport network of Ternopil region was conducted. The existing transport network for all types of transport operating in the region, in particular, railway, road, aviation, river, pipeline in terms of traffic volumes is analyzed. The dynamics of passenger traffic in the region by mode of transport in the period from 2016 to 2020 is analyzed and conclusions are drawn on its operation. An analysis of the volume of freight traffic in the Ternopil region by mode of transport in the period 2016-2020. The transport industry is characterized in terms of railway, automobile, aviation and pipeline complex in terms of the availability of fleet, stations, waiting rooms and other necessary infrastructure.

The logistics infrastructure of Ternopil region is represented by rail, road, river, pipeline and air transport.

The main factors that reflect the peculiarities of the formation of transport infrastructure of Ternopil region are as follows:

1. Location in the center of the Western region of Ukraine, as well as proximity to the borders with EU countries provides a unique economic and geographical position of the region.
2. Favorable physical-geographical and favorable natural and climatic conditions for the development of transport infrastructure (most of the region is a flat area, only in the north are the Kremenets Mountains).
3. Availability of the required amount of transport, warehousing infrastructure, communication lines and power lines.
4. The economic potential of the region contributes to the development of transport infrastructure that provides transportation of passengers and raw materials, finished products in the required volumes.
5. International transport highways pass through the region, which contributes to the development of the infrastructure of the surrounding areas.
6. Proximity to major centers of business cooperation and border cities.

Railway transport in Ternopil region is widely used in both domestic and international relations. In 2020, its share in the structure of freight turnover was 22%, and passenger turnover - 2%. If we compare these data with the volume of traffic in 2016 (24% and 7%, respectively), we can conclude that the quarantine restrictions during the COVID-19 pandemic have a significant impact on the volume of rail transport.

transport infrastructure, railway transport, road transport, air transport, pipeline transport, passenger turnover, freight turnover

Одержано (Received) 20.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 27.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 338.47.656: 65.015.11: 331.101.1

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.284-291](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.284-291)

О.В. Чорна, канд. екон. наук, **П.Б. Прогній**, канд. техн. наук, **П.В. Попович**, проф., д-р техн. наук, **О.С. Шевчук**, доц., канд. техн. наук, **Н.М. Фалович**, доц., канд. екон. наук, **М.В. Буряк**, доц., канд. техн. наук

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

e-mail: kaf_tl@wunu.edu.ua, ekaf_tl@wunu.edu.ua, ppopovich@ukr.net, oksana_shevchuk84@ukr.net, n.falovych@gmail.com, burjak74@ukr.net

Забезпечення якості роботи підприємств автомобільної інфраструктури з позиції ергономіки

В статті визначено важливу роль автомобільної інфраструктури в транспортній системі, ідентифіковано її складові, окреслено напрями застосування ергономіки в системі автомобільних перевезень, розкрито багаторівневу структуру в системі «водій-автомобіль-дорога-автомобільна інфраструктура», в межах системи встановлено спіральний характер еволюції її елементів, яка передбачає постійне повторення дій та заходів, спрямованих на покращення умов праці, що відбувається щоразу на вищому рівні, обґрунтовано, перспективні напрями розвитку автомобільної інфраструктури.
автомобільний транспорт, інфраструктура, система, водій, автомобіль, дорога, середовище, ергономіка

Постановка проблеми. Автомобільний транспорт є важливим елементом суспільного та економічного розвитку. Він обслуговує економічні процеси, що включають механічний рух населення, постачання сировини, матеріалів, товарів та послуг, а також виступає одним із факторів соціальної взаємодії між людьми. Від ефективності використання автомобільного транспорту залежать важливі суспільні та економічні показники, серед яких обсяг пропозиції товарів та їх конкурентоспроможність, рівень собівартості, мобільність населення тощо. Зважаючи на свої особливості (універсальність, мобільність, гнучкість, доступність) автомобільний транспорт забезпечує інтеграцію усієї транспортної системи в єдине ціле.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження діяльності підприємств автомобільної інфраструктури з позиції ергономіки є предметом дослідження багатьох науковців, серед яких найбільш цінними є праці пов'язані із висвітлення аспектів функціонування автомобільного транспорту [2; 10], формування і використання транспортної інфраструктури [1] тощо. Окремої уваги заслуговують наукові роботи, спрямовані на вивчення теоретичних і практичних аспектів ергономіки на підприємствах автомобільного транспорту й інфраструктури [3; 4; 5; 6; 7; 9]. Системний характер ергономіки і її суттєвий вплив на удосконалення умов праці й підвищення результати діяльності вказують на високий рівень актуальності згаданих розробок. Однак, зважаючи на тісну взаємозалежність елементів системи, а також високий рівень ентропії процесів в середовищі автомобільних транспортних перевезень, виникає потреба постійного моніторингу зміни та динаміки стану підприємств автомобільної інфраструктури, а також визначення ключових напрямів і перспектив покращення якості їх роботи з точки зору використання наукового та методичного апарату ентропії. Таким чином, питання удосконалення діяльності підприємств автомобільної інфраструктури в контексті використання методів ергономіки залишаються не до кінця дослідженими, зважаючи на високий ступінь динаміки в середині ергономічних систем досліджуваної сфери.

© О.В. Чорна, П.Б. Прогній, П.В. Попович, О.С. Шевчук, Н.М. Фалович, М.В. Буряк, 2022

Постановка завдання. Метою статті є формування та обґрунтування теоретичних засад забезпечення якості роботи підприємств автомобільної інфраструктури з позиції ергономіки та обґрунтування перспектив її розвитку. Для досягнення зазначеної наукової мети, в статті сформовано наступні завдання:

- розкрити сутність ключових дефініцій дослідження;
- встановити характер взаємодії елементів автомобільної інфраструктури з позиції ергономіки;
- обґрунтувати теоретичні засади забезпечення якості роботи підприємств автомобільної інфраструктури за рахунок використання методів ергономіки;
- розкрити перспективи подальшого розвитку автомобільної інфраструктури в контексті динамічної зміни науково-технічного середовища з позиції ергономіки.

Виклад основного матеріалу. Автомобільна інфраструктура є важливим елементом цілісної транспортної інфраструктури, яка обслуговує потреби суспільства та економіки, створюючи і забезпечуючи умови для швидкого, комфортного та ефективного фізичного переміщення пасажирів та вантажів у просторі. Серед основних термінів Закону України «Про автомобільний транспорт» непрямо ідентифікується поняття автомобільної інфраструктури, відповідно до чого до її складових елементів відносять всі види автомобільних доріг, «автовокзали, автостанції, автобусні зупинки, місця посадки та висадки пасажирів, стоянки таксі і транспортних засобів, місця навантаження та розвантаження вантажних автомобілів, зони габаритно-вагового контролю, інші об'єкти, що використовуються автомобільними перевізниками для забезпечення діяльності автомобільного транспорту» [8]. Доповнюючи наведений перелік зазначимо, що до об'єктів автомобільної інфраструктури також можуть бути віднесені засоби управління і зв'язку, місця тимчасового зберігання вантажів (склади і термінали), інженерні мережі й транспортні комунікації.

Основні функції підприємств автомобільної інфраструктури полягають у наступному:

- інженерному облаштуванні доріг, що включає створення і технічного обслуговування дорожнього покриття, формування системи зв'язку і комунікацій, створення умов для безпеки руху, включаючи освітлення, огороження тощо;
- обслуговування руху автомобілів, що включає їх технічний сервіс, забезпечення набору необхідних послуг для водіїв і пасажирів, включаючи місця відстою і відпочинку, створення та обслуговування пунктів пропускнуго і транспортного контролю;
- естетичне оформлення шляхів сполучення, що охоплює декоративне озеленення, архітектурне оформлення;
- інформаційне обслуговування руху, що проявляється у формуванні сервісів просторового позиціонування і диспетчеризації, інформаційного супроводу, включаючи використання сучасних мультимедійних каналів зв'язку і форм передачі інформації [1, с.10].

Виконуючи вказані функції підприємства автомобільної інфраструктури сприяють організації дорожнього руху, розв'язуючи завдання «технічного, економічного, біологічного, соціального, ергономічного, юридичного і прогностного характеру» [7, с. 52]. При цьому, вирішення ергономічного завдання дозволяє упорядкувати взаємодію водіїв із дорогою, транспортним засобом і середовищем руху автомобіля.

Визнано, що водій виступає ключовим елементом транспортної системи. Від його емоційного та психофізичного стану залежить можливість використання технічних можливостей автомобіля і навколишнього середовища. Не зважаючи на зовні

спокійне виконання своєї роботи, насправді «водій автомобіля один раз на дві години потрапляє в критичну ситуацію в процесі дорожнього руху, щохвилини бере участь як мінімум у десяти взаємодіях з іншими учасниками руху, здійснює до ста дій очима, руками, ногами, головою й усім тілом» [9, с. 11]. В таких умовах важливо, щоб взаємодія водія із транспортним засобом та середовищем сприяла зменшенню навантаження на нього за рахунок кращої ергономіки робочого місця в автомобілі, а також забезпечення максимально сприятливих ергономічних умов з боку середовища.

Ергономіка в автотранспорті розглядається як наука «про системну оптимізацію трудової діяльності людини й умов її здійснення в системах «водій-автомобіль-навколишнє середовище» (ВАС) [2, с. 9]. При цьому, цілями ергономіки виступають: розробка конкретних конструкторських рішень при проектуванні робочого місця, а також визначення раціональних умов трудової діяльності за рахунок узгодження усіх елементів системи ВАС. Їх оптимізація дозволяє створити умови для збереження здоров'я і особистого розвитку водія, сприяє підвищенню продуктивності праці, безпеки і надійності системи в цілому. При цьому, до уваги береться не тільки технічна складова взаємодії, але й людський фактор, який вивчає можливість керування емоційними станами водія, врахування його інтелектуальних і фізичних можливостей, антропометричних особливостей» [10, с. 129] з метою «створення оптимальних умов високоякісної, високоефективної й безпомилкової діяльності водія у системі ВАС» [3, с. 29; 6, с. 92].

І. Линник [5, с. 62], досліджуючи ергономіку взаємодії елементів в межах системи «ВАС», вказує на її еволюцію, і наводить ретроспективний набір систем, що розвиваються із найпростішого співвідношення «людина-машина» до складної багаторівневої системи, яка в контексті теми дослідження розглядається як «водій-автомобіль-дорога-автомобільна інфраструктура» (ВАДІ). Зважаючи на багаторівневність і структурні особливості, така модель може бути представлена у вигляді рис. 1.



Рисунок 1 – Графічна інтерпретація системи «водій-автомобіль -дорога-автомобільна інфраструктура» (ВАДІ)

Джерело: розроблено на підставі [5]

Відповідно до пропонованої графічної інтерпретації системи «ВАДІ» в центрі системи людина – «водій», який безпосередньо взаємодіє і забезпечує управління автомобілем. Більшість аспектів ергономіки, які прямо стосуються водія, закладені на

цьому рівні, а саме: організація робочого простору (габарити салону, крісло водія), розташування елементів управління транспортним засобом, наявність панелей і доступ до джерел інформації щодо руху автомобіля (панель приборів автомобіля, ширина огляду, дзеркала і монітори). Зазначені аспекти формують комфортність умов управління автомобілем, забезпечують високий рівень контролю над технічним засобом, а також сприятливий психоемоційний стан водія для виконання ним своїх робочих обов'язків.

Велика кількість автомобілів та їх взаємодія в просторі формують наступний рівень системи – «дорога». На даному рівні задовольняються базові потреби водія і технічні вимоги автомобіля. При цьому, якість дорожнього покриття, а також належна організація сполучення в просторі перебуває у прямій залежності із якістю виконання водієм своїх прямих обов'язків (можливість доставити пасажирів чи вантаж до визначеного пункту, дотримання необхідного швидкісного режиму і термінів доставки, пошук найбільш оптимального варіанту серед наявних альтернатив).

Загалом, розуміння якості роботи будь якого господарюючого суб'єкта є досить умовним. Воно в значній мірі залежить від підходу або контексту. В більшості випадків, індикаторами оцінки якості роботи підприємства виступають економічні показники, такі, як рівень прибутковості чи рентабельності, ціна акцій компанії, продуктивність праці чи фондовіддача. В контексті маркетингового сприйняття якості, її основними індикаторами виступає відповідність параметрів товару чи послуги певним стандартним чи еталонним нормам. З позиції менеджменту якість роботи підприємства визначається його спроможністю досягати поставлених цілей. Схоже бачення притаманне екологічному (мінімальна шкода довкіллю або покращення його стану), соціальному (максимально активна взаємодія груп суспільства для вирішення спільних завдань, мінімальний рівень соціального напруження і конфліктів) чи інноваційному (збільшення кількості розроблених, впроваджених та освоєних інновацій) підходам

Особливість ергономічного підходу полягає в тому, що він інтегрує в собі усі складові системи взаємодії «ВАДІ». Відповідно до цього, підприємства автомобільної інфраструктури утворюють найвищий рівень взаємодії в системі. Вони забезпечують ергономічні потреби усіх елементів нижчого рівня – обслуговування шляхів сполучення, технічних вимог автомобілів і потреб водія. При цьому, успішність діяльності підприємств даної сфери з точки зору ергономіки оцінюється безпосередньо водієм і відображається на роботі всієї системи. Це проявляється у збільшенні розміру пасажиро- і вантажопотоку, пропускній здатності шляхопроводів, здатності обслуговувати нові потреби сфери вантажних та пасажирських перевезень, а також виконання цих завдань на принципово новому вищому рівні якості – із вищим рівнем комфорту і надійності, з вищою швидкістю, кращою координацією, більшими можливостями щодо логістично-інформаційного супроводу автомобільних перевезень.

Варто зазначити, що наведена на рисунку система є відкритою і високо динамічною на кожному рівні. При цьому, являючись єдиним цілим, вона характеризується високим ступенем ентропії, що проявляється у розбалансуванні стану системи в контексті її еволюції. В даному контексті кожен рівень та елемент системи еволюціонує по різному, одночасно впливаючи на інші елементи. В таких умовах, «компонент системи, що висунувся вперед, стає лідером в еволюції. Як тільки протиріччя (різниця швидкостей зміни стану) між можливостями провідного компонента і можливостями інших компонентів усуваються, передове значення провідного компонента губиться і на його місце висувається інший» [5, с. 64].

Узагальнюючи процеси в системі «ВАДІ» відзначимо, що саме її існування

передбачає постійне покращення умов праці працівників, за рахунок удосконалення ергономіки автомобілів, доріг та автомобільної інфраструктури. При цьому, як уже було зазначено, цей процес є безперервним, зважаючи на існування двох пов'язаних процесів – стрибкоподібного покращення одного елементу, що супроводжується поступовим вирівнюванням стану інших елементів. Відповідно до цього, безперервне покращення системи відбувається через розбалансування її елементів із наступним досягненням рівноваги, що постійно повторюються. Такі дії системи «ВАДІ» формують свого роду спіральну тенденцію розвитку, яка встановлює обмеження системи і умовно охоплює наступну послідовність:

- 1¹. Фіксується погіршення емоційного чи психофізичного стану працівника;
- 2¹. Відбувається покращення умов праці;
- 3¹. Завдяки вжитим заходам досягається зменшення навантаження на працівника і ріст продуктивності праці;
- 4¹. Зростання продуктивності дозволяє доручати працівнику виконання нових завдань, що призводить до збільшення інтенсивності праці;
- 1². Через зростання інтенсивності навантаження у працівника погіршується емоційний чи психофізичний стан.
- 2². Відбувається покращення умов праці і т.д.

Прикладом такого спірального обмеження в контексті нашого дослідження є поступове вивільнення працівника в якості водія і заміна його функцій системою автономного дистанційного управління автомобілем. В результаті таких дій водій набуває статусу оператора, проте, замість одного автомобіля, він отримує можливість керувати декількома транспортними засобами одночасно. Окреслений напрям еволюції системи потребує суттєвого технічного забезпечення саме на рівні автомобільної інфраструктури, що, фактично визначає подальші перспективи її розвитку і передбачає удосконалення наступних аспектів інфраструктури:

- навігація і глобальне позиціонування – чітка орієнтація в просторі під час руху, що включає можливість отримання інформації щодо можливості задоволення додаткових фізіологічних, енергетичних, ремонтно-технічних, інформаційних, логістичних та інших потреб;
- автономність – використання в роботі автомобілів великої кількості датчиків та їх активна взаємодія із дорожнім середовищем, що дозволяє суттєво знижувати навантаження на водія в процесі руху, включаючи використання елементів автопілоту;
- зв'язок та мультимедіа – активна взаємодія водія із транспортним засобом, дорожнім та навколишнім середовищем через мультимедійні засоби (дисплеї, звукові повідомлення, спеціальні сигнали тощо), які дозволяють контролювати технічний стан автомобіля і активно взаємодіяти із навколишнім середовищем за рахунок елементів автомобільної інфраструктури.

Серед інших перспективних напрямів, які в найближчому майбутньому визначатимуть успішність діяльності підприємств автомобільної інфраструктури – відповідь на виклики, які постають серед людством і в найбільшій мірі стосуються наступного:

- екологічності транспорту, що передбачає поступовий перехід на альтернативні джерела енергії із відповідним ергономічним забезпеченням транспортної інфраструктури;
- інклюзивності транспорту, що передбачає руйнування будь-яких бар'єрів у користуванні автотранспортом людей із особливими потребами і потребує відповідних змін в ергономіці інфраструктури;
- комфорту, що виходить за межі поїздки і передбачає задоволення потреб

водіїв та пасажирів, які не стосуються безпосередньо їх транспортування і передбачають доступ до інших елементів їхньої життєдіяльності, включаючи навчання, хатні справи, роботу тощо. Такі дії потребують відповідного технологічного забезпечення, які передбачають взаємодію автомобільної інфраструктури із іншими ергономічними системами життєдіяльності людини.

Висновки. Встановлено, що підприємства автомобільної інфраструктури виконують важливу роль в системі автомобільних перевезень. Завдяки їхній діяльності, забезпечується експлуатаційне, технічне, інженерне, управлінське та інформаційне забезпечення транспортних процесів. З точки зору ергономії, автомобільна інфраструктура виступає невід'ємним елементом системи «водій-автомобіль-дорога-автомобільна інфраструктура». Відповідно до цього, успішне налаштування елементів інфраструктури та їх удосконалення справляють позитивний вплив на усі інші елементи системи і сприяють більшій надійності, комфорту і продуктивності роботи водія.

В межах встановлених закономірностей та особливостей визначено ключові перспективні напрями розвитку автомобільної інфраструктури, що передбачає зростання автономності транспортних засобів, активнішого використання мультимедійних інструментів і елементів глобального позиціонування, зростання рівня інклюзивності та екологічності, а також забезпечення комфорту водіїв і пасажирів, що виходить за межі поїздки автомобілем. Саме ці дії, в перспективі сприятимуть підвищенню якості роботи підприємств автомобільної інфраструктури і досягненню вищого рівня ергономіки автотransпортних систем, що сприятиме зростанню можливостей усієї системи «ВАДІ» щодо організації і обслуговування транспортних потреб суспільства.

Список літератури

1. Ачкасова С. А., Федорук М. Е. Пріоритетність альтернативних підходів щодо розвитку автомобільної інфраструктури. *Економіка і суспільство*. 2016. Вип. 7. С. 9-13.
2. Давідіч Ю. О., Куш Є. І., Понкратов Д. П. Ергономічне забезпечення транспортних процесів : навч. посібник. Харків, Україна: ХНАМГ, 2011.
3. Кульбашна Н. І. Ергономічне забезпечення умов руху на суміжних ділянках доріг. дис. канд. техн. наук. ХНУМГ ім. О.Бекетова. Харків, 2017.
4. Кульбашна Н. І., Сорока К. О., Линник І. Е. Системний підхід в ергономічному забезпеченні умов руху на дорозі. *Кібернетика і системний аналіз*. 2019. Том. 55. № 3. С. 90-99.
5. Линник І. Е. Теоретичні основи прогнозування еволюції ергономічної системи «Водій – транспортний засіб – транспортна мережа – середовище. дис. докт. техн. наук. ХНАМГ, Харків. 2012.
6. Мигаль Г. В., Протасенко О. Ф. Нові поняття сучасної ергономіки. *Відкриті інформаційні і комп'ютерні інтегровані технології*. 2018. Вип. 79. 162-170.
7. Прасоленко О. В., Афанасьєва І. А. Конспект лекцій з дисципліни «Ергономіка» (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 275 – Транспортні технології). Харків, Україна : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021.
8. Закон України «Про автомобільний транспорт». № 2344-III від 05.04.2001. Верховна Рада України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/go/2344-14> (дата звернення:)
9. Сьомка С. В. *Ергономіка та ергодизайн : підручник*. Київ, Україна: НАКККіМ, 2017.
10. Шевченко О. О., Циркуленко С. С. Аналіз ергономічних показників транспортних засобів, які використовуються в національній поліції України. *Підготовка поліцейських в умовах реформування системи МВС України*. Харків, Україна, 2018.
11. Фалович В. А., Фалович Н., Семенюк С. Засади розвитку координування як емерджентної якості ланцюга поставок інвестиційних товарів. *Галицький економічний вісник*. 2021. Том 69. № 2. С. 146-152.

References

1. Achkasova, S. A. & Fedoruk, M. E. (2016). Priorytetnist' al'ternatyvnykh pidkhodiv schodo rozvytku avtomobil'noi infrastruktury [Priority of alternative approaches to the development of automotive infrastructure]. *Ekonomika i suspil'stvo – Economy and Society*, Issue 7, 9-13 [in Ukrainian].
2. Davidich, Yu. O., Kush, Ye. I. & Ponkratov D. P. (2011). *Erhonomichne zabezpechennia transportnykh protsesiv* [Ergonomic support of transport processes]. Kharkiv, Ukraina: KhNAMH [in Ukrainian].
3. Kul'bashna, N. I. (2017). *Erhonomichne zabezpechennia umov rukhu na sumizhnykh diliankakh dorih* [Ergonomic provision of traffic conditions on adjacent sections of roads]. Ph.D. Thesis. KhNUMH im. O.Beketova. Kharkiv [in Ukrainian].
4. Kul'bashna, N. I., Soroka, K. O. & Lynnyk, I. E. (2019). Systemnyj pidkhid v erhonomichnomu zabezpechenni umov rukhu na dorozh [System approach in ergonomic provision of traffic conditions on the road]. *Kibernetika i systemnyj analiz – About Cybernetics and Systems Analysis*, Vol. 55, 3, 90-99 [in Ukrainian].
5. Lynnyk, I. E. (2012). Teoretychni osnovy prohnozuvannia evoliutsii erhonomichnoi systemy «Vodij – transportnyj zasib – transportna merezha – seredovysche» [Theoretical foundations of forecasting the evolution of the ergonomic system "Driver - vehicle - transport network – environment"]. *Doktor's thesis*. KhNAMH, Kharkiv [in Ukrainian].
6. Myhal', H. V. & Protasenko, O. F. (2018). Novi poniattia suchasnoi erhonomiky [New concepts of modern ergonomics]. *Vidkryti informatsijni i komp'uterni intehrovani tekhnolohii – Open information and computer integrated technologies*, Issue. 79, 162-170 [in Ukrainian].
7. Prasolenko, O. V. & Afanas'ieva, I. A. (2021). *Konspekt leksij z dystsypliny «Erhonomika» (dlia studentiv dennoi ta zaочноi form navchannia spetsial'nosti 275 – Transportni tekhnolohii)*. [Synopsis of lectures on the subject "Ergonomics" (for full-time and part-time students majoring in 275 - Transport Technology)]. Kharkiv, Ukraina: KhNUMH im. O. M. Beketova [in Ukrainian].
8. Pro avtomobil'nyj transport. Zakon Ukrainy. Verkhovna Rada Ukrainy. [On Road Transport. Law of Ukraine]. (n.d.). № 2344-III. dated april 04. zakon.rada.gov.ua. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/go/2344-14> [in Ukrainian].
9. S'omka, S. V. (2017). *Erhonomika ta erhodyzajn* [Ergonomics and ergodesign]. Kyiv, Ukraina: NAKKKiM [in Ukrainian].
10. Shevchenko, O. O. & Tsyrukulienko, S. S. (2018). Analiz erhonomichnykh pokaznykiv transportnykh zasobiv, iaki vykorystovuiut'sia v natsional'nij politzii Ukrainy [Analysis of ergonomic indicators of vehicles used in the national police of Ukraine]. *Pidhotovka politsejs'kykh v umovakh reformuvannia systemy MVS Ukrainy*. Kharkiv, Ukraina, 2018 [in Ukrainian].
11. Falovych, V. A., Falovych, N. & Semeniuk, S. (2021). Zasady rozvytku koordynuvannia iak emerdzhennoi iakosti lantsiuha postavok investysijnykh tovariv [Principles of coordination as an emergent quality of the supply chain of investment goods]. *Halyts'kyj ekonomichnyj visnyk – Galician economic journal*, Vol. 69, 2, 146-152 [in Ukrainian].

Olga Chorna, Phd econ. sci., **Pavlo Prohnii**, PhD tech. sci., **Pavlo Popovich**, Prof., DSc, **Oksana Shevchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Natalia Falovych**, Assoc. Prof., PhD econ. sci., **Mykola Buryak**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

Ensuring the Quality of Work of Automotive Infrastructure Enterprises in Terms of Ergonomics

The article identifies the important role of automotive infrastructure in the transport system, identifies its components, outlines the application of ergonomics in the road transport system, reveals the multilevel structure in the system "driver-car-road-car infrastructure", within the system established the spiral nature of its elements. which provides for the constant repetition of actions and measures aimed at improving working conditions, which is happening at the highest level, justified, promising areas of automotive infrastructure.

An integral part of road transport is the road infrastructure, which provides favorable conditions for the proper implementation of transport companies' mission. Despite the fact that the road infrastructure is not directly involved in transportation, its role is equally important, because it creates the minimum and additional conditions for road transport to perform its function - to ensure efficient, comfortable and safe transportation of passengers and goods.

In the conditions of dynamic development, an important task of the automobile infrastructure enterprises is to establish effective system interaction by coordinating the actions of all components of road transport processes within a single system. The use of a systematic approach in this case allows to ensure the high quality of enterprises in the field by combining the production potential of man, technical means and the

environment. These elements form a holistic system "man-machine-environment" (LTS) [6, p.163], which is the subject of study of ergonomic science and has significant potential in terms of improving the quality of the system.

The article defines that the peculiarity of the system is its tendency to entropy, resulting in the evolution of its elements. At the same time, the improvement of one of the elements unbalances the system and leads to the evolution of its other subsystems, which again stabilizes its state, but at a higher level. It is substantiated that such development of the studied processes is characterized by a spiral tendency of development, according to which the actions and reactions of the elements of the system are constantly repeated, but each time at the highest level.

road transport, infrastructure, system, driver, car, road, environment, ergonomics

Одержано (Received) 10.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 23.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 336.2:339.5

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.291-298](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.291-298)

І.В. Берестов, доц., канд. техн. наук, **О.С. Пестременко-Скрипка**, канд. техн. наук, **Г.І. Шелехань**, доц., канд. техн. наук, **Т.Т. Берестова**, ст. викл.

*Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна
e-mail: i.berestov@i.ua, ksju2910@gmail.com, shelekhan@email.ua, btt1960@i.ua*

Цифровізація процесів митного контролю та митного оформлення вантажів на залізничному транспорті

Статтю присвячено дослідженню щодо організації раціонального митного контролю, обробки та пропуску поїздів на прикордонних передавальних станціях України при обслуговуванні міжнародних вагонопотоків. Ефективність організації міжнародних перевезень вантажів значно залежить від злагодженої організації роботи станції, яка здійснює повний перелік операцій у взаємодії з митною та іншими державними контролюючими службами. Для якісної роботи та швидкої переробки вагонів виникає необхідність в покращенні інформаційної складової перевізного процесу. Таку можливість дає використання електронного декларування.

цифровізація, митний контроль, митне оформлення, міжнародні вантажні перевезення, залізничний транспорт, прикордонні передавальні станції, електронне декларування, система управління ризиками

Постановка проблеми. Для нарощування експортних можливостей української економіки Україна та Польща здійснюватимуть спільний митний контроль та планується створення спільного залізничного підприємства [1]. Тому діючі пункти пропуску потребують модернізації, встановлення сучасних інформаційних технологій для скорочення часу проведення митних та прикордонних процедур при здійсненні міжнародних вантажних перевезень залізничним транспортом. Впровадження інноваційних технологій має забезпечити автоматизоване обладнання для перевірки вантажів при перетині митного кордону, створення та здійснення сканування всіх необхідних митних документів в електронному вигляді, визначення митної вартості та коду товару за допомогою технології штучного інтелекту і таке інше. ІТ-спеціалісти Держмитслужби України наразі працюють над концепцією впровадження та

забезпечення виконання «Стратегії здійснення цифрового розвитку, цифрових трансформацій і цифровізації системи управління державними фінансами на період до 2025 року», розпочато розроблення механізму подання заявок на включення до реєстру авторизованих економічних операторів, а також процес впровадження програмного забезпечення національної електронної транзитної системи (NCTS), представленого Європейським Союзом [2]. Таким чином існує необхідність вдосконалення процедур митного контролю та оформлення при перевезенні міжнародних вантажів залізничним транспортом на теренах цифровізації митного простору держави.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми інформатизації, автоматизації та цифровізації митної системи України є предметом дослідження багатьох науковців, практиків та спеціалістів таких, як Копняк К., Покинйчереда В. [3], Івашова Л.М., Кийда Л.І. [4, 5], Назарова І.Я. [6], Семеног А.Ю. [7], Разумей М.М. [8]. Слід зазначити, що вчені все більше цікавляться інноваційним розвитком митної політики на основі підвищення рівня його інформатизації відповідно до сучасних прагнень розвинених країн. У той же час, охоплюють переважно авторські дослідження та публікації з питання вдосконалення митної політики у сфері автоматизації та спрощення митних процедур для іноземних суб'єктів господарювання. Питання спрощення та інформатизація митних процедур у контексті митного контролю міжнародних вантажів на залізничному транспорті вивчені недостатньо. Дослідження розвитку технологій та засобів електронного обміну даними, що забезпечують інформаційне супроводження перевезень вантажів в міжнародному сполученні є перспективним. Система електронного обміну даними повинна відповідати міжнародній транспортній інфраструктурі, базуватися на узгоджених технічних параметрах і задовольняти потреби сумісності технологій перевезень як критерій інтеграції національної транспортної системи в світову систему [9].

Постановка завдання. Метою дослідження є обґрунтування пріоритетів цифровізації процесів митного контролю для прискорення виконання митних формальностей з міжнародним вантажопотоком на залізничному транспорті.

Виклад основного матеріалу. Повномасштабна цифровізація митної системи є досить складною для України, але пріоритетною та актуальною для подальшого економічного розвитку. Майбутня ІТ-система матиме значний вплив на оптимізацію митних процедур з високим рівнем клієнтоорієнтованості. На даний час були випущені ІТ-продукти, такі як [10]:

- запуск оновленого веб-порталу ДМС України, де посилено захист інформаційних даних, підвищена надійність служби, дизайн оптимізовано для потреб користувачів і є можливість отримувати деякі послуги віддалено;
- розробка карти об'єктів митної інфраструктури, що містить повну інформацію на пунктах пропуску, внутрішніх місцях митного оформлення та міжнародного поштового обміну;
- діяльність Business Intelligence (BI), тобто інтерактивний аналітичний проект де міститься наявна статистика України щодо торгівлі з іншими країнами;
- запровадження онлайн-калькулятора митної вартості, який надає достовірну інформацію на мінімальне, середнє та максимальне значення автомобілів за останні кілька років;
- діяльність системи онлайн-скарг, що забезпечує спілкування в електронному вигляді та формується за короткий час.

Продовжується діяльність з розвитку нейронної мережі, яка дозволить автоматизувати роботу процесу визначення та перевірки класифікаційного коду товару,

зможє автоматизувати - логічно описувати товари, що допоможе оптимізувати роботу митника та декларанта.

Перспективою є створення та впровадження подібної системи, яка зможе автоматично визначати країну походження товару. Реалізація цих інноваційних рішень є складним процесом, оскільки концепція роботи повинна будуватися на міцній основі – захисту бази даних, щоб уникнути кібершахрайства.

Ще одним нововведенням митної IT-системи має стати запуск автоматизованої системи управління ризиками ASUR 2.0, що дозволить оцифрувати та оптимізувати аналіз порушень митних правил з використанням автоматизованих математичних підходів до оцінки ризиків, управління, обліку і моніторингу [10].

Цифровізація процесів митного контролю є пріоритетним аспектом митної реформи в країнах, що розвиваються. Незважаючи на позитивні аспекти електронного декларування в Україні, у взаємодії між залізницею та митними і іншими органами державного контролю виникають проблеми. Низку митних процесів досі засновано на паперових документах, що не відповідає сучасному технічному прогресу і ефективним світовим практикам. Для якісної роботи та швидкої переробки вагонів виникає необхідність в покращенні інформаційної складової перевізного процесу експортних і імпорتنих вантажопотоків через прикордонні передавальні станції [11]. Таку можливість дає використання електронного декларування під час оформлення імпорتنих та експортних операцій.

Впровадження безпаперових технологій при перевезенні міжнародних вантажів на залізничному транспорті сприятиме прискоренню процесів інформаційного обміну, підвищенню надійності, оперативності та ефективності роботи залізничного транспорту та підприємств, які користуються його послугами.

У таблиці 1 наведено дані про час проходження операцій на прикордонній передавальній станції К-С для визначення загального часу обробки транзитного поїзда без переробки зі зміною локомотива і зміною локомотивної бригади [12]. До операцій з обробки документів транзитного поїзда без переробки відносяться: обробка перевізних документів в СТЦ Центрального парку; обробка документів ПрикордонТЕКом та конторою передач; обробка документів декларантами; попередній документальний контроль митницею; митний контроль; обробка документів декларантами; обробка документів конторою передач; прикордонний контроль документів; пересилка документів в СТЦ Центрального парку; перевірка документів.

Таким чином на обробку транзитного поїзда без переробки зі зміною локомотива і зміною локомотивної бригади, що надійшов на прикордонну передавальну станцію витрачається 310 хв., але впровадивши систему попереднього декларування товарів й обробки перевізних документів можливо зменшити цей час, якщо наступні операції здійснювати до відправлення поїзда на прикордонну передавальну станцію:

- обробка документів декларантами (60 хв.)
- попередній документальний контроль митницею (45 хв.)

Отже, якщо здійснювати попереднє декларування товарів й обробку перевізних документів до відправлення поїзда на прикордонну передавальну станцію, час знаходження поїзда на станції буде тривати 205 хв.

Таблиця 1 – Визначення часу проходження операції на прикордонній передавальній станції К-С

Найменування послідовних операції	Час проходження операції, хв.	Найменування операцій, які здійснюються одночасно з іншими	Час проходження операції, хв.
1	2	3	4
Перевірка документів, огляд локомотива, відчеплення локомотива, огороження составу, укладання гальмових башмаків, прийом перевізних документів від локомотивної бригади	5		
Обробка перевізних документів в СТЦ Центрального парку	15	Прикордонний, митний контроль потягу, локомотиву Технічне обслуговування составу (ТО) Комерційний огляд составу (КО)	60
Пересилка перевізних документів в СТЦ	5		
Обробка документів ПрикордонТЕКом	30		60
Обробка документів конторою передач	20		60
Радіологічний контроль	20		
Обробка документів декларантами	50		
Попередній документальний контроль митницею (екологічний, санітарно-епідеміологічний, ветеринарно-санітарний, фітосанітарний види контролю)	45		
Митний контроль	60		
Обробка документів декларантами	10		
Обробка документів конторою передач	10		
Прикордонний контроль документів	15		
Пересилка документів в СТЦ Центрального парку	5		
Перевірка документів	10		
Зняття огороження, причіплювання поїзного локомотива, прибирання гальмових башмаків, вручення пакета перевізних документів, проба автогальм, відправлення	10		
Загальний час	310		

Джерело: [12]

На рисунку 1 представлено переваги для клієнтів Укрзалізниці при впровадженні електронного документообігу.

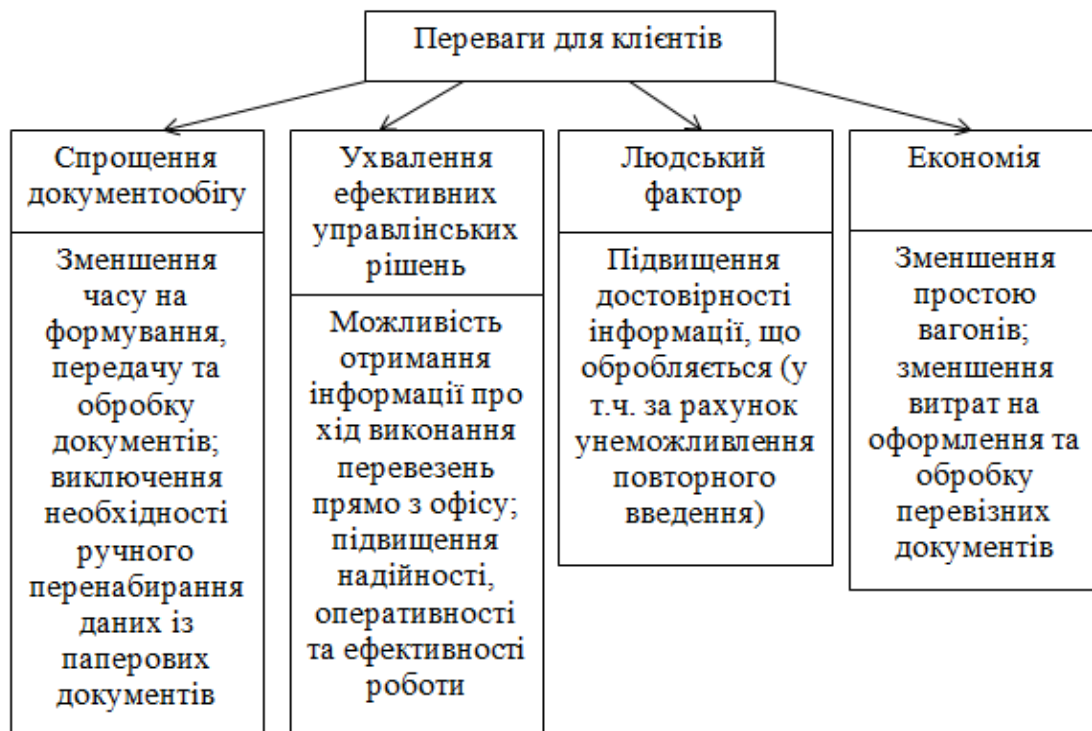


Рисунок 1 – Переваги для клієнтів Укрзалізниці при впровадженні електронного документообігу
Джерело: розроблено авторами

Таким чином, інформаційно-керуюча система прикордонних передавальних станцій повинна з часом привести до становлення злагодженої системи обміну інформаційними даними між вантажовідправниками, вантажоодержувачами, станціями, прикордонними, митними та іншими органами державного контролю, власниками вантажів, рухомого складу тощо.

Висновки. Впровадження сучасних цифрових технологій та застосування автоматизованої реєстрації попередніх статистичних митних декларацій нададуть переваги у здійсненні митних формальностей з міжнародним вантажопотоком, а саме:

- спрощення митних формальностей;
- поліпшення якості надання митних послуг;
- ефективне розвинення інтеграційних процесів, в тому числі здійснення постійного моніторингу ситуації на сухопутному кордоні;
- скорочення часових витрат суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності на здійснення зовнішньоторговельних операцій.

Для створення єдиного інформаційного ресурсу необхідно розробити Єдину автоматизовану інформаційну систему митних органів, що підвищить ефективність вибору об'єктів митних перевірок.

Список літератури

1. Ukraine, Poland agree on joint customs control to ease movement of people, goods. *Reuters* : URL: https://www.reuters.com/world/europe/ukraine-poland-agree-joint-customs-control-ease-movement-people-goods-2022-05-23/?taid=628b06c69c851e00019da5ab&utm_campaign=trueAnthem:+Trending+Content&utm_medium=trueAnthem&utm_source=twitter (дата звернення 06.05.2022).

2. Про схвалення Стратегії здійснення цифрового розвитку, цифрових трансформацій і цифровізації системи управління державними фінансами на період до 2025 року та затвердження плану заходів щодо її реалізації : розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1467-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1467-2021-%D1%80#Text> (дата звернення 06.06.2022).
3. Копняк К.В., Покинйчереда В.В. Електронний документообіг в публічному управлінні: проблеми впровадження, переваги та перспективи. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. 2020. № 10. URL: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=1798>. (дата звернення: 06.05.2022). DOI: 10.32702/2307-2156-2020.10.35
4. Івашова Л.М., Кийда Л.І. Діджиталізація митних процедур: сучасний стан та перспективи розвитку митної справи. *Публічне управління та митне адміністрування*. 2019. № 3(22). С. 218–230.
5. Івашова Л.М., Кийда Л.І. Спрощений митний контроль у контексті економічної безпеки: проблеми та шляхи їх розв’язання. *Вісник Академії митної служби України. Серія «Державне управління»*. 2012. № 1(6). С. 146–152.
6. Назарова І.Я. Актуальні питання проходження електронного митного документа. *Науково-виробничий журнал «Бізнес-навігатор»*. 2019. № 5–2 (54). С. 120–123.
7. Семенов А.Ю. Аналіз світових рейтингів оцінки формування та розвитку цифрової економіки та місце України в них. *Науковий вісник Міжнародного Гуманітарного Університету*. 2020. №43. С. 38–43. DOI: <https://doi.org/10.32841/2413-2675/2020-43-6>
8. Разумей М.М. Особливості застосування автоматизованої системи аналізу та управління ризиками, основною метою якої є забезпечення вибіркової митного контролю. URL: <http://chp.com.ua/all-news/item/60270-osoblivosti-zastosuvannya-avtomatizovanojisistemi-analizu-ta-upravlinnya-rizikami-osnovnoyu-metoyu-yakoji-e-zabezpechennya-vibirkovost-imitnogo-kontrolyu> (дата звернення: 07.05.2022).
9. Пестременко-Скрипка О.С., Берестова Т.Т. Удосконалення системи передачі міжнародного вагонопотоку на прикордонних передавальних станціях. *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна*. 2019. Вип. 17. С. 48-54. doi: <https://doi.org/10.15802/tstt2019/178208>
10. Цифровізація в управлінні ризиками митниці. *Електронний журнал «Економіка та суспільство»*. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1198> (дата звернення 09.05.2022).
11. І.В. Берестов, О.С. Пестременко-Скрипка, Т.Т. Берестова, К.Л. Камчатова. Актуалізація технологічних процесів роботи прикордонних передавальних станцій в умовах здійснення митних формальностей. *2-а міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології»* : тези доп., Харків, 27-29 квітня 2021 р. / УкрДУЗТ. Харків, 2021. С. 135-137.
12. Технологічний процес роботи сортувальної прикордонної передавальної станції Куп’янськ - Сортувальний Південної залізниці. *Наказ начальника філії 186/Н від 06.05.2016*. Харків: ДН, 2016. 236 с.
13. Railways role in intermodality and the digitalization of transport documents. United Nations New York and Geneva, 2018. URL: https://unece.org/DAM/trans/main/wp24/ECE_TRANS_262_E_Web_Optimized.pdf (дата звернення: 25.04.2022).

References

1. Ukraine, Poland agree on joint customs control to ease movement of people, goods. *Reuters* : Retrieved from https://www.reuters.com/world/europe/ukraine-poland-agree-joint-customs-control-ease-movement-people-goods-2022-05-23/?taid=628b06c69c851e00019da5ab&utm_campaign=trueAnthem:+Trending+Content&utm_medium=trueAnthem&utm_source=twitter [in English].
2. Pro skhvalenia Stratehii zdiisnennia tsyfrovoho rozvytku, tsyfrovyykh transformatsii i tsyfrovizatsii systemy upravlinnia derzhavnyimi finansamy na period do 2025 ta zatverdzhennia planu zahodiv shcho do ii realizatsii : rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vvid 17 lystopada 2021. № 1467-p. [On the approval of the Strategy for the implementation of digital development, digital transformations and digitalization of the state finance management system for the period until 2025 and the approval of the plan of measures for its implementation: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of November 17, 2021 No. 1467-r.]. *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1467-2021-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
3. Kopniak, K. & Pokynchereda, V. (2020). Elektronnyj dokumentoobih v publichnomu upravlinni: problemy vprovadzhenia, perevahy ta perspektyvy [Electronic document management: problems of implementation, advantages and prospects]. *Derzhavne upravlinnia: udoskonalennia ta rozvytok – Electronic publishing house «Public administration: improvement and development»*, 10. Retrieved from

- <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=1798>. (accessed 06 June 2022). DOI: 10.32702/2307-2156-2020.10.35 [in Ukrainian].
4. Ivashova, L. M. & Kyida, L. I. (2019) Didzhytalizatsiia mytnykh protsedur: suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku mytnoi spravy [Digitalization of customs procedures: current state and prospects of customs development]. *Publichne upravlinnia ta mytne administruvannia* – Public Administration and Customs Administration, 3(22), 218–230 [in Ukrainian].
 5. Ivashova, L. M. & Kyida, L. I. (2012) Sproshcheny mytnyi kontrol' u konteksti ekonomichnoyi bezpeky: problemy ta shlyakhy yikh rozv'yazannya [Simplified customs control in the context of economic security: problems and ways to solve them]. *Visnyk Akademiyi mytnoyi sluzhby Ukrainy. Seriya "Derzhavne upravlinnya"* – *Bulletin of the Academy of the Customs Service of Ukraine. "Public administration" series*, 1(6), 146–152 [in Ukrainian].
 6. Nazarova, I.Ya. (2020) Aktual'ni pytannia shhodo elektronnoho mytnogo dokumentuvannia [Actual issues of electronic customs document passing]. *Biznes-navigator* – *Scientific and industrial magazine "Business-navigator"*, 5–2(54), 120–123 [in Ukrainian].
 7. Semenog, A.Yu. (2020) Analiz svitovykh rejtyngiv ocinky formuvannia ta rozvytku cyfrovoi ekonomiky ta misce Ukrainy v nyh [Analysis of global ratings of the formation and development of the digital economy and Ukraine's place in them]. *Naukovij visnik Mizhnarodnogo humanitarnogo universitetu* – *Scientific Bulletin of the International Humanitarian University*, 43, pp. 38–43. DOI: <https://doi.org/10.32841/2413-2675/2020-43-6> [in Ukrainian].
 8. Razumey, M. M. (2019) Osoblyvosti zastosuvannia avtomatyzovanoyi systemy analizu ta upravlinnya ryzykamy, osnovnoyu metoyu yakoyi ye zabezpechennia vybirkovosti mytnoho kontrolyu [Features of application of an automated system of risk analysis and management, the main purpose of which is to ensure the selectivity of customs control]. Retrieved from <http://chp.com.ua/all-news/item/60270-osoblivosti-zastosuvannia-avtomatizovanoj-sistemi-analizu-ta-upravlinnya-rizikami-osnovnoyu-metoyu-yakoji-e-zabezpechennia-vybirkovost-imitnogo-kontrolyu> [in Ukrainian].
 9. Pestremenko-Skrypka, O.S. & Berestova, T.T. (2019) Udoskonalennia systemy peredachy mizhnarodnoho vahonopotoku na prykordonnykh peredavalnykh stantsiyah [Improvement of the system of transmission of international wagon traffic at border transfer stations]. *Zbirnyk naukovykh prats DNUZT im. akad. Lazariana* – *Proceedings of Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, issue 17, 48–54. doi: <https://doi.org/10.15802/tstt2019/178208> [in Ukrainian].
 10. Tsyfrovizatsiia v upravlinni ryzykamy mytnytsi [Digitization in customs risk management]. *Elektronnyi zhurnal "Ekonomika ta suspilstvo"* – *Electronic magazine "Economy and Society"*, Vol.37. Retrieved from <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1198> [in Ukrainian].
 11. Berestov, I.V., Pestremenko-Skrypka, O.S., Berestova, T.T. & Kamchatova, K.L. (2021). Aktualizatsiia tehnologichnykh protsesiv roboty prykordonnykh peredavalnykh stantsii v umovah zdiysnennia mytnykh formalnostei [Updating the technological processes of border transmission stations in the conditions of customs formalities]. *Intelligent transport technologies : II Mignarodna naukovo-tehnichna konferentsiia* (27-29 kvitnia 2021) – 2nd International Scientific and Technical Conference (pp. 135-137). Kharkiv [in Ukrainian].
 12. Tehnologichni protses roboty sortuvalnoi prykordonnoi peredavalnoi stantsii Kup'yansk-Sortuvalnii Pivdennoi zaliznytsi [The technological process of the sorting border transmission station Kupyansk - Sorting of the Southern Railway.]. *Nakaz nachalnyka filii. 186/H vid 06.05.2016*. Kharkiv: DN, 2016. 236 [in Ukrainian].
 13. Railways role in intermodality and the digitalization of transport documents. United Nations New York and Geneva, 2018. *unece.org*. Retrieved from https://unece.org/DAM/trans/main/wp24/ECE_TRANS_262_E_Web_Optimized.pdf [in English].

Ihor Berestov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oksana Pestremenko-Skrypka**, PhD tech. sci., **Hanna Shelekhan**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Tetiana Berestova**, Senior Lecturer
Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

Digitalization of the Processes of Customs Control and Customs Clearance of Goods in Railway Transport

The article is devoted to the research of proposals on the organization of rational customs control, processing and passing of trains at the border transfer stations of Ukraine in the service international traffic. For quality work and fast processing of cars there is a need to improve the information component of the transportation process export and import freight flows through border transmission stations. This possibility is provided by the use of electronic declaration during the registration of international cargo operations.

International transportation of goods is a necessary detail that makes it possible to realize trade relations between states. It is an effective tool of foreign economic activity, without which it would be almost impossible. The efficiency of the organization international cargo transportation significantly depends on the coordinated organization of the work the border transfer station, which carries out a complete list of operations in cooperation with customs, border and other state control services. In order to increase the technology of passing international freight flows through border transfer stations, it is necessary to introduce the latest information and control systems that will reduce the duration of train processing at border transfer stations and, as a result, reduce downtime and delayed cars. Research on the development of technologies and means electronic data exchange that provide information support for international cargo transportation is promising. The electronic data exchange system must comply with the international transport infrastructure, be based on agreed technical parameters and meet the needs of compatibility of transportation technologies as a criterion for the integration of the national transport system into the world system. It is proposed to carry out preliminary declaration of goods and processing transport documents before the departure of the train to the border transfer station to reduce the technological time of processing trains. This will reduce the processing time of the transit train by 105 minutes.

The main advantages of the introduction electronic document management: simplification of document management; making effective management decisions; increasing the reliability of the processed information, reducing the downtime of cars. Thus, the introduction of the system pre-declaration of goods and processing of transport documents in the processing international freight traffic will reduce material and labor costs and speed up the passage of goods through customs clearance.

digitalization, customs control, international freight, electronic declaration

Одержано (Received) 11.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 17.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 656.021.5:355.01

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.298-306](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.298-306)

І.В. Берестов, доц., канд. техн. наук, **А.В. Колісник**, доц., канд. техн. наук,

О.В. Щєбликіна, ст. викл. (PhD)

Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

e-mail: berestov@kart.edu.ua, kolisnyk@kart.edu.ua, sov@kart.edu.ua

Удосконалення процесу надходження вантажних поїздів до прикордонної станції в умовах військового стану

В статті розглянуто проблеми скопичення вагонів з вантажами на прикордонній станції під час воєнного стану, що призводить до непродуктивних простоїв та затримки вантажів. Проаналізовано обсяги перевезень вантажів різними видами транспорту в умовах війни. Формалізовано процес накопичення контейнерів на термінальних залізничних станціях та надходження їх у складі вантажних та контейнерних поїздів до прикордонних станцій з урахуванням імовірнісної природи ключових складових цього процесу.

вантажопотоки, контейнери, прикордонна станція, перевантажувальний комплекс

Постанова проблеми. Воєнний стан в Україні призвів до глобальних змін в діяльності різних галузей, також ці зміни відбулись і в транспортній галузі. У зв'язку з воєнним станом заблоковані морські порти, авіаційний транспорт те ж немає можливості функціонувати, так як повітряний простір над Україною небезпечний для цивільних літаків.

Провідну роль у транспортуванні в такий складний час, в якому опинилася наша країна відіграє залізничний транспорт. Залізниця залишається ключовим звеном, яке безперебійно виконує в оперативному режимі транспортування гуманітарної допомоги в «гарячі точки України», евакуацію населення, переміщення військової техніки. На сьогодні залізничний транспорт залишається основним видом транспорту, який може виконувати перевезення в великих обсягах як на короткі так і на дальні відстані.

Основною проблемою, яка виникає при перевезенні вантажів залізницею під час воєнного стану – це велике скопичення вагонів з вантажами на прикордонних станціях, які прямують у міжнародному напрямку, що призводить до тривалих непродуктивних простоїв та затримки вантажів. Це пов'язано з блокуванням морських портів, через які транспортувалось 98% зерна і багато іншого вантажу. Іншою причиною є те, що процес планування надходження вантажних поїздів, в складі яких можуть бути контейнери, до прикордонної станції містить в собі значну кількість випадкових подій, тому необхідно удосконалили планування цього технологічного процесу на всьому шляху прямування.

Постановка задачі. Метою данної роботи є проведення статистичних досліджень щодо обсягів та динаміки вантажних перевезень, формалізація процесу накопичення контейнерів на термінальних залізничних станціях та транспортування їх до прикордонної станції з урахуванням переробної спроможності перевантажувального комплексу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням удосконалення технології роботи прикордонних станцій присвячено багато наукових робіт як вітчизняних так і закордонних вчених. У [1] проведено аналіз причин затримок вагонів на прикордонних передавальних станціях і раціоналізацію наявних технологій пропускання експортно-імпортних вантажів через прикордонні передавальні станції. У [2] розглянуто особливості технології роботи перевантажувального комплексу прикордонної перевантажувальної станції та встановлено, що подавання вагонів на комплекс має виконуватись оптимальними групами.

Виклад основного матеріалу. Аналізуючи обсяги перевезень вантажів різними видами транспорту за останнє десятиріччя, більшу частку на ринку транспортних послуг виконують залізничний та автомобільний транспорт. Статистика наведена на рис.1.

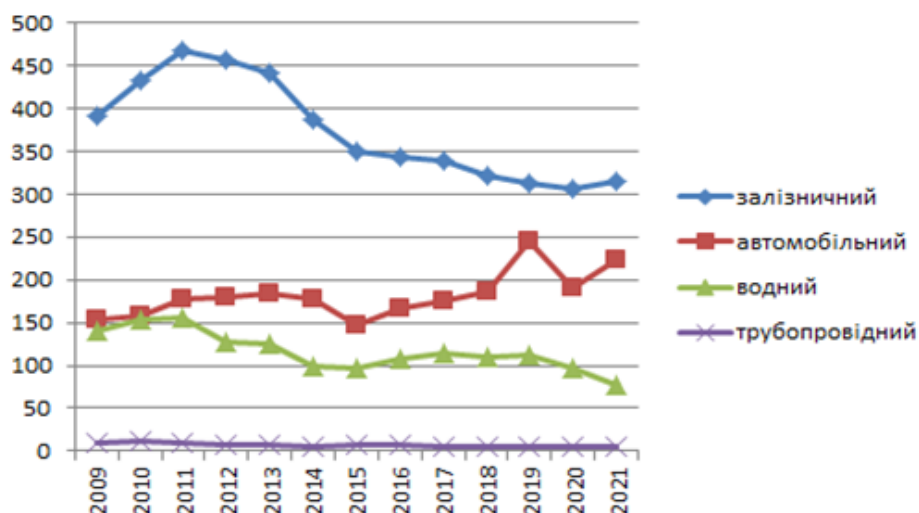


Рисунок 1 – Динаміка обсягів перевезень всіма видами транспорту за 2009- 2021 роки

Джерело: розроблено авторами

Але, у зв'язку зі складною ситуацією в країні – війною, спостерігається тенденція зменшення обсягів перевезень всіма видами транспорту.

За даними АТ Укрзалізниці обсяги перевезень залізничним транспортом в 2022 році з січня по травень скоротилися на 39,2% у порівнянні з аналогічним періодом у 2021 році [3].

Вантажооборот морських торгових портів України за перші 10 днів військового вторгнення скоротився на 420 тис. т на добу. Після широкомасштабного вторгнення російських військ на територію України, яке розпочалося 24 лютого 2022 р., обслуговування експортно-імпортних, а також каботажних вантажних перевезень морськими портами України практично не здійснювалися, оскільки була втрачена можливість забезпечити безпеку судноплавства у Чорноморсько-Азовському регіоні. Вантажі у невеликих обсягах приймають та відвантажують порти на р. Дунай. Наразі практично всі порти на території України закриті, експортні перевезення здійснюються лише «Укрзалізницею», яка перевантажена та не може виконати всі відвантаження у строк[4,5].

Щодо повітряного транспорту, то державне підприємство з обслуговування повітряного руху України (ДП «Украерорух») 24 лютого 2022 р. призупинило надання послуг з обслуговування повітряного руху цивільним користувачам повітряного простору України через високий ризик авіаційній безпеці для цивільної авіації. Виходячи з вищенаведеного залізничний транспорт залишається ключовою ланкою в транспортній системі, який може задовольнити різні потреби населення навіть у воєнний стан.

Розглядаючи організацію транспортування вантажів залізницею на експорт виникає така проблема як скопичення залізничних вагонів на прикордонних станціях у великій кількості. Це пов'язано з тим, що українські порти у зв'язку з воєнним станом заблоковані і більшість вантажу таких як зерно, рослинна олія, руда і інші вантажі перевозяться в інші країни залізничним транспортом. Також ця проблема виникає із-за переходу стиків колій 1520мм і 1435 мм, нестачі рухомого складу та персоналу та локомотивної тяги. Аналіз статистичних даних виявив значні простої вагонів на прикордонних станціях в очікуванні обробки, які наведені на рис.2, 3. Досліджено, що більша кількість вагонів, які простоюють в очікуванні обробки, на станціях Ужгород-Матевце -7,2 тис.ваг, Ізов-Хрубешув- 10,1 тис.ваг., Чоп (Чірна над Тісоу)- 3,4 тис.ваг. [6].

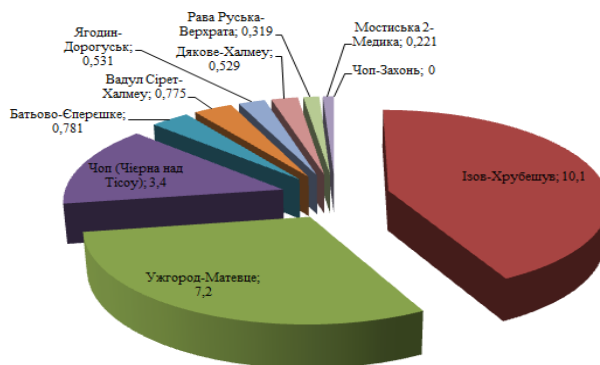


Рисунок 2 – Діаграма розподілу кількості вагонів в очікуванні на обробку на прикордонних станціях, тис.ваг

Джерело: розроблено авторами

Виявлено, що на прикордонних станціях України час перебування вагонів сягає 23 діб (рис.3), що в багато разів перевищує нормативні показники. За рахунок таких непродуктивних простоїв значно збільшується час просування вантажу залізничним транспортом, невиконання умов транспортування «точно в строк», що веде до додаткових експлуатаційних витрат.

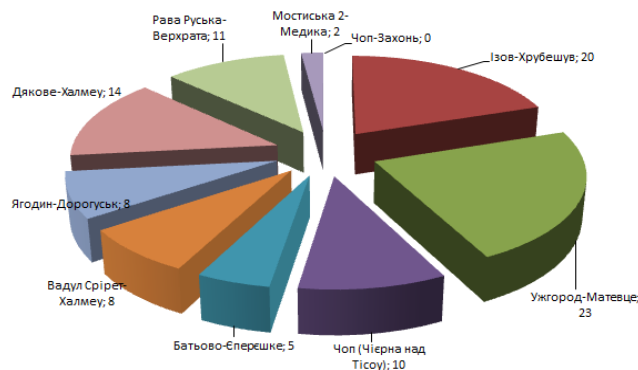


Рисунок 3 – Діаграма розподілу часу вагонів в очікуванні на обробку на прикордонних станціях, у добах

Джерело: розроблено авторами

Також було проаналізовано обсяги вантажів у вагонах, які прямують з України через прикордонні переходи за березень 2022 року і виявлено, що значний обсяг вагонів передається на Словаччину через прикордонні переходи Чоп-Чірна над Тісоу 2960 вагонів, Ужгород-Матевце -5845 вагонів; на Польщу через прикордонний перехід Ізов-Грубешов – 977 вагони.

Одним із шляхів вирішення проблеми великих черг залізничних вагонів з вантажем на прикордонних станціях є створення моделі управління вантажопотоками, яка дозволить накопичувати за певний час оптимальну кількість контейнерів з вантажем від вантажовідправників на термінальних станціях, яку може обробити перевантажувальний комплекс на прикордонній станції з урахуванням всіх ймовірносних подій, які можуть трапитися на шляху транспортування вантажів залізницею.

Отже, подання контейнерів на перевантажувальний пункт прикордонної станції повинно виконуватися оптимальними групами, з урахуванням переробної спроможності перевантажувального комплексу прикордонної станції.

На вантажопотік, який надходить від вантажовідправників на термінальні залізничні станції, а з термінальних станцій прямує до прикордонної станції для відправлення на експорт впливає значна кількість випадкових процесів.

Фактор випадковості у повній мірі присутній таким його параметрам, як, наприклад, час переформування поїздів на сортувальних станціях, час слідування поїздів по дільницях [7], час переміщення поїзда на перевантажувальний комплекс прикордонної станції та багато інших параметрів. Неодноразово доведено [8], що перелічені параметри підпорядковуються нормальному або близьким до нього законами розподілу, фактичні значення цих параметрів можуть відрізнятися від середніх або нормативних у декілька разів. Отже можна стверджувати, що планування транспортних процесів без урахування різних видів їх невизначеності може значно знижувати якість управління. Необхідною складовою при формалізації процесу накопичення контейнерів та транспортування до прикордонних станцій є створення моделі кількісної оцінки надходження контейнерів з вантажем від різних термінальних

станцій до прикордонної станції з одночасним контролюванням імовірносних характеристик цього процесу. Функціонал, який визначає оптимальну кількість накопичених контейнерів на термінальній станції виглядає наступним чином

$$V = V(p, \tau, \lambda(t), \omega), \quad (1)$$

де p – ймовірність, з якою мінімальне значення контейнерів будуть накопичені на термінальній станції;

τ – часовий інтервал;

$\lambda(t)$ – інтенсивність потоків контейнерів;

ω – множини величин кратностей потоків.

В роботі [9], доведено, що потік контейнера можна представити як неординарний нестационарний потік Пуассона, який представлений суперпозицією потоків подій однакової кратності. З урахуванням цього формулу розрахунку ймовірності настання щонайменше n подій потоку для нестационарного неординарного потоку представлено наступним чином [9]

$$p(N([t_0, \tau]) \geq n) = 1 - \exp\left(-\int_{t_0}^{\tau} \lambda_{\Sigma}(t) dt\right) \sum_{i=1}^{x(s,k)} \prod_{j=1, \Sigma j q_{ij} < k, q_{ij} \in \mathbb{N}}^s \sum_{r=0}^{k_j-1} \frac{\left(k_j \int_{t_0}^{\tau} \lambda_j(t) dt\right)^{k_j((k_j-1)q_{ij}+1+r)}}{((k_j-1)q_{ij}+1+r)!}, \quad (2)$$

де k – кількість контейнерів, які прибудуть на станцію;

$[t_0, \tau]$ – моменти початку та завершення планового періоду відповідно;

$\lambda_j(t)$ – інтенсивність потоку контейнерів кратності j , як функція від часу;

q_{ij} – кількість подій потоку кратності j на часовому інтервалі $[t_0, \tau]$ у i -му варіанті реалізації розвитку подій;

s – максимальна кратність потоку, яка розглядається на даному терміналі;

$x(s, k)$ – потужність множини ймовірнісних випадків розвитку подій при даних значеннях змінних s та k , коли під випадком розуміється одна з можливих реалізацій потоку, що характеризується множиною $q_{i1}, q_{i2}, q_{i3} \dots q_{i1j}$; потоку, яка розглядається на

даному терміналі; $\int_{t_0}^{\tau} \lambda_{\Sigma}(t) dt = \lambda(t)$ – «ведуча функція потоку» [88,94], тобто

кумулятивна сумарна інтенсивність потоків всіх кратностей як функція від часу.

З урахуванням вищенаведених досліджень формалізуємо процес транспортування контейнерів до прикордонної станції з урахуванням місткості перевантажувального комплексу

$$E(p, \tau, w) = \frac{1}{\sum_{i=1}^s N} \sum_{i=1}^s (E_{\text{нак}} + E_{\text{пер}} + E_{\text{сорт}}) + E_{\text{прик}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

$E_{\text{нак}}$ – витрати на накопичення контейнерів на термінальних станціях.

$$E_{\text{нак}} = e_{\kappa-\Gamma} \int_{t_0}^{\tau_i} (V) dt, \quad (4)$$

де $e_{\kappa-\Gamma}$ – вартість контейнеро-години;

$E_{\text{пер}}$ – витрати при транспортуванні контейнерних партій

$$E_{\text{пер}} = e_{\text{в-км}} \cdot L_i \frac{1}{\rho_i} (V + N_i^0) + e_{\text{п-г}} \frac{L_i}{v_i^{\text{дл}}}, \quad (5)$$

де $e_{\text{в-г}}$ – вартість вагоно-години;

$e_{\text{в-км}}$ – вартість вагоно-кілометра;

t_0 – момент початку періоду планування;

N_i^0 – кількість контейнерів на термінальній станції i -го маршруту на момент початку періоду планування t_0 ;

L_i – довжина i -го маршруту від термінальної станції до прикордонної;

ρ_i – місткість фітінгової платформи у контейнерах на i -му маршруті (залежить від типів фітінгових платформ та типів контейнерів, що використовуються),

$e_{\text{п-г}}$ – вартість поїздо-години;

$v_i^{\text{дл}}$ – середня дільнична швидкість поїзда на i -му маршруті [8].

$$E_{\text{сорт}} = \left(e_{\text{кг}} (V + N_i^0) + e_{\text{в-г}} \frac{1}{\rho_i} (V + N_i^0) \right) \times \left(\tau_i + \frac{L_i}{v_i^{\text{дл}}} + (1 - \alpha) H((m - \delta_i) - (V + N_i^0)) \right) \times \sum_{j=1}^{D_i} (t_{\text{пер}}^{\text{сорт}}), \quad (6)$$

де m – норма кількості вагонів у складі поїзда на i -му маршруті із розрахунку, що одна фітінгова платформа перевозить один 40-футовий контейнер або 2 -20-футові;

δ_i – максимальне відхилення кількості вагонів у бік зменшення при формуванні прямого контейнерного поїзда на i -му маршруті;

D_i – кількість сортувальних станцій на шляху прямування за i -м маршрутом;

$(t_{\text{пер}}^{\text{сорт}})$ – час переробки поїзда на j -й сортувальній станції i -го маршруту, який підпорядковується нормальному закону розподілу;

$E_{\text{прик}}$ – витрати на очікування вагонами подавання на перевантажувальний комплекс прикордонної станції

$$E_{\text{прик}} = ((V + N_i^0) t_{\text{оч}} \cdot e_{\text{в-г}}) + ((V + N_i^0) \cdot t_{\text{оч}} \cdot e_{\text{в-г}}), \quad (7)$$

де $t_{\text{оч}}$ – час очікування вагонами подання на перевантажувальний комплекс; в роботах [10,11] встановлено, що час очікування вагонами на перевантажувальний комплекс є випадковою величиною і підпорядковується розподілу Ерланга 2-го порядку, тому $t_{\text{оч}} = (2\mu) \int_0^{24} t_{\text{оч}}^2 e^{-2\mu t_{\text{оч}}} dt$, μ – інтенсивність обслуговування.

Функціонування технології управління контейнерними перевезеннями до прикордонної станції неможливо без урахування певних обмежень

$$\left\{ \begin{array}{l} p \geq p_{\min} \\ \tau_i \geq 0, \forall_j = 1, 2 \dots z \\ N_i^0 + V \leq m_j^{\max}, \forall_j = 1, 2 \dots z, \\ \sum_{j=1}^D \int_{\tau_0}^{\tau_j} V dt \leq Q_f \end{array} \right. \quad (8)$$

де $p_{\min}$ – мінімально допустимий рівень впервненості в реалізації нашого плану;
 $m_j^{\max}$ – максимально допустима кількість фітінгових платформ у складі поїзда на i -му маршруті;

Q_{Q_f} – переробна спроможність перевантажувального комплексу на прикордонній станції.

Оптимізацію такої складної задачі, яку можна віднести до задач стохастичного програмування було вирішено в середовищі Matlab (рис.4). Результати оптимізації дозволяють визначити ключові елементи оперативного плану роботи термінальних залізничних станцій, а саме: моменти часу закінчення накопичення необхідної кількості контейнерів з урахуванням місткості перевантажувального комплексу прикордонної станції на термінальних станціях та спосіб їх транспортування до прикордонної станції (у складі прямого повносоставного або неповносоставного маршрутного поїзда або у складі попутних вантажних поїздів із можливим подальшим переформуванням на сортувальних станціях). Було визначено часи накопичення контейнерів на двох термінальних станціях 5,37 год. і 5 год. з мінімальними експлуатаційними витратами на транспортування одного контейнера залізницею до прикордонної станції.

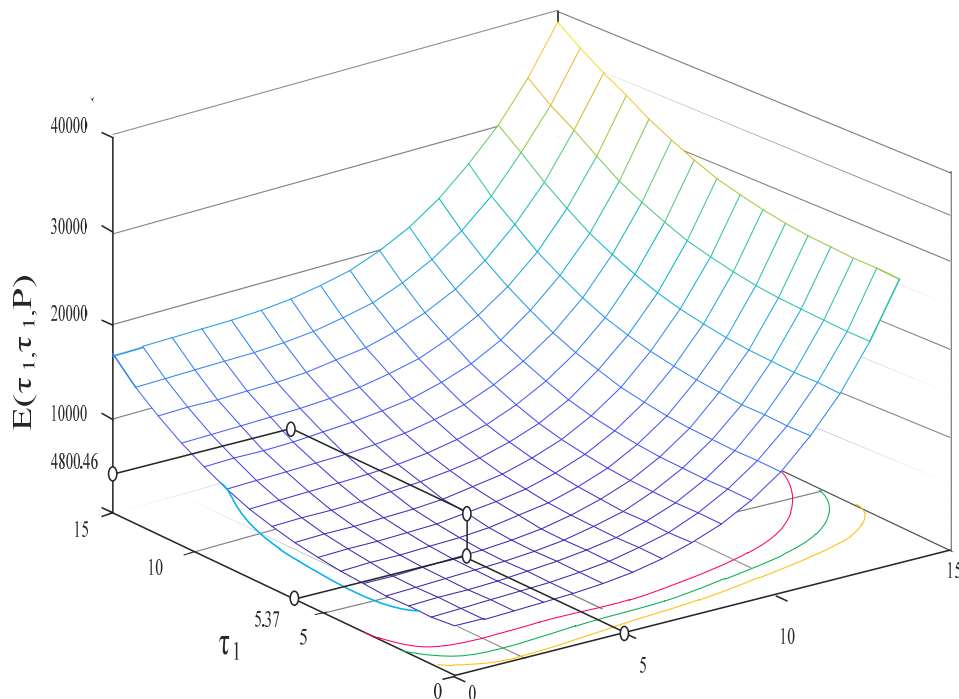


Рисунок 4 – Залежність питомих витрат, що припадають на транспортування одного контейнера залізницею до прикордонної станції, від часів завершення накопичення партій контейнерів на двох термінальних станціях

Джерело: розроблено авторами

Висновки. Запропонована технологія дозволить зменшити непродуктивні простої контейнерів і фітінгових платформ завдяки удосконаленню процесу планування організації транспортування контейнерних партій залізницею до прикордонних станцій з урахуванням переробної спроможності перевантажувальних комплексів, а також з урахуванням імовірнісної природи ключових складових цього процесу. Такий підхід дозволить зменшити скопичення вагонів з вантажем на прикордонних станціях, що призведе до зменшення експлуатаційних витрат на транспортування та обробку контейнерів та вартості перевезень вантажів для вантажовідправників.

Список літератури

1. Альошинський Є. С., Пестременко-Скрипка О.С. Аналіз впливу простою міжнародного вагонопотоку на оборот вагонів. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*, 2013, вип. 137. С. 24-30.
2. Бауліна Г. С., Дідух П. О., Карпаш А. М., Федорняк І. І. Удосконалення технології функціонування перевантажувального комплексу прикордонної перевантажувальної станції. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*, 2016, вип. 162. С.182-189.
3. Прикордонні переходи для експорту зерна: станції та деталі. URL: <https://uga.ua/news/prikordonni-perehodi-dlya-eksportu-zerna-stantsiyi-ta-detali/> (дата останнього звернення:10.05.2022).
4. Thousands of goods railcars stuck at Ukraine's border as war hits exports. URL: <https://www.reuters.com/world/europe/thousands-goods-railcars-stuck-ukraines-border-war-hits-exports-2022-04-07/>
5. Вантажооборот морських портів України скоротився на 420 тис. т на добу. URL:<https://gmcenter.ua/news/vantazhooborot-morskih-portiv-ukraini-skorotivsiya-na-420-tis-t-na-dobu/> (дата останнього звернення:10.05.2022).
6. Функціонування транспортного сектору України в умовах правового режиму воєнного стану. URL: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/funktsionuvannya-transportnoho-sektoru-ukrayiny-v-umovakh-pravovoho/> (дата останнього звернення:10.05.2022)
7. Butko T., Prokhorov V., Kolisnyk A., Parkhomenko L. Devising an automated technology to organize the railroad transportation of containers for intermodal deliveries based on the theory of point. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2020. Vol. 1, № 3 (103). P. 6–12. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156098 (видання індексується в базі Scopus)
8. Музикіна С. І., Музикін М. І., Нестеренко Г. І. Дослідження пропускної спроможності сортувальної станції. *Наука та прогрес транспорту*. 2016. № 2. С. 47–60.
9. Колісник А. В. Формування автоматизованої технології транспортування контейнерів залізницею на основі теорії випадкових потоків: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.10.20. Харків. 2020. 195 с.
10. Бауліна, Г. С. Формування оптимізаційної моделі роботи вантажного фронту . *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал*. 2013. № 5. С. 44-46.
11. Крамер, Г. Математические методы статистики / пер. с англ. А. С. Мони́на и А. А. Петро́ва; под ред. А. Н. Колмогорова. 2-е изд., стер. М.: Мир, 1975. 648 с.

References

1. Aloszynski, E.S. & Pestremenko-Skrypka, O.S. (2013). Analiz vplyvu prostoiu mizhnarodnoho vahonopotoku na oborot vahoniv [Analysis of the influence of downtime of international railcar traffic on the turnover of railcars]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT – Collection of scientific works of UkrDAZT, issue 137*, 24-30 [in Ukrainian].
2. Baulina, H.S., Didukh, P.O., Karpash, A.M.& Fedorniak, I.I. (2016). Udoskonalennia tekhnolohii funktsionuvannia perevantazhuvalnoho kompleksu prykordonnoi perevantazhuvalnoi stantsii [Improvement of the technology of the transshipment complex functioning of the border transshipment station]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDUZT – Collection of scientific works of UkrDAZT, issue. 162*, 182-189 [in Ukrainian].
3. Prykordonni perekhody dlia eksportu zerna: stantsii ta detali [Border crossings for grain export: stations and details]. *uga.ua*. Retrieved from <https://uga.ua/news/prikordonni-perehodi-dlya-eksportu-zerna-stantsiyi-ta-detali/> [in Ukraine]

4. Thousands of goods railcars stuck at Ukraine's border as war hits exports. *www.reuters.com*. Retrieved from <https://www.reuters.com/world/europe/thousands-goods-railcars-stuck-ukraines-border-war-hits-exports-2022-04-07/> [in English].
5. Vantazhooborot morskykh portiv Ukrainy skorotyvsia na 420 tys. t na dobu [Cargo turnover of Ukrainian seaports decreased by 420,000 tons per day.]. *gmk.center*. Retrieved from <https://gmk.center/ua/news/vantazhooborot-morskih-portiv-ukraini-skorotivsyia-na-420-tis-t-na-dobu/> [in Ukraine].
6. Funktsionuvannia transportnoho sektoru Ukrainy v umovakh pravovoho rezhymu voiennoho stanu [The functioning of the transport sector of Ukraine under the legal regime of martial law]. *niss.gov.ua*. Retrieved from <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/funktsionuvannya-transportnoho-sektoru-ukrayiny-v-umovakh-pravovoho/> [in Ukraine].
7. Butko, T., Prokhorov, V., Kolisnyk, A. & Parkhomenko, L. (2020). Devising an automated technology to organize the railroad transportation of containers for intermodal deliveries based on the theory of point. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. Vol. 1, № 3 (103). P. 6–12. DOI: 10.15587/1729-4061.20 [in English].
8. Muzykina, S.I., Muzykin, M.I. & Nesterenko, H.I. (2016). Doslidzhennia propusknoi spromozhnosti sortuvalnoi stantsii [Study of the throughput capacity of the sorting station]. *Nauka ta prohres transportu – Science and progress of transport*, 2, 47–60. [in Ukraine].
9. Kolisnyk, A.V. (2020). Formuvannia avtomatyzovanoi tekhnolohii transportuvannia konteineriv zaliznytseiu na osnovi teorii vypadkovykh potokiv [Formation of automated technology for transporting containers by railway based on the theory of random flows]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kharkiv [in Ukraine].
10. Baulina, H.S. (2013). Formuvannia optymizatsiinoi modeli roboty vantazhnoho frontu [Formation of the optimization model of the work of the freight front]. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti: naukovo-tekhnichniy zhurnal – Information and control systems in railway transport: scientific and technical journal*, 5, 44-46. [in Ukraine].
11. Kramer, H. (1975). Matematycheskye metody statystyky [Mathematical methods of statistics]. A.S. Monyna y A. (A. Petrova Trans.). A. N. Kolmogorova (Ed.). (2d ed.). Moscow: Myr [in Russian].

Igor Berestov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Alina Kolisnyk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Olena Shcheblykina**, PhD tech. sci., Senior Lecturer

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

Improving the Process of Receiving Freight Trains to the Border Station in Martial Law

The purpose of this work is to conduct statistical research on the volume and dynamics of freight traffic, formalize the process of accumulation of containers at terminal railway stations and transport them to the border station, taking into account the capacity of the transshipment complex.

The process of accumulation of containers at terminal stations and their transportation by rail to border stations was formalized, taking into account the capacity of transshipment complexes. The optimization results allow to determine the key elements of the operational plan of terminal railway stations, namely: the time of completion of the required number of containers, taking into account the capacity of the transshipment complex of the border station at terminal stations and the method of transporting them to the border station. as part of associated freight trains with possible further reshaping at sorting stations).

The proposed technology will reduce unproductive downtime of containers and fitting platforms by improving the process of planning the organization of transportation of container batches by rail to border stations, taking into account the capacity of transshipment complexes, as well as the probabilistic nature of key components of this process. This approach will reduce the congestion of wagons at border stations, which will reduce the operating costs of transporting and handling containers and the cost of transporting goods for shippers.

cargo flows, containers, border station, transshipment complex

Одержано (Received) 16.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 23.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

І.А. Шльончак, доц., канд. техн. наук, **О.Ю. Лук'янченко**, доц., канд. техн. наук,
І.П. Тарандушка, ст. викл.

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

e-mail: igor_shlionchak@ukr.net; 111188@ukr.net; tarandushka@ukr.net

Аналіз транспортних потоків та прогнозування інтенсивності руху різних видів транспорту на прикладі вулично-дорожньої мережі м. Черкаси

В роботі проводяться дослідження транспортних потоків різних видів транспорту вулично-дорожньої мережі м. Черкаси на прикладі вул. Гагаріна мікрорайону «Митниця». Авторами роботи підкреслюється той факт, що сучасна вулично-дорожня мережа міст, зокрема і в м. Черкаси, яка розраховувалась і будувалась раніше, виходячи із значно меншої інтенсивності руху, виявляється перевантаженою транспортними засобами різних видів. В умовах євроінтеграції, зокрема впровадження нового швидкісного режиму в населених пунктах, спостерігається також зростання затримки транспортних засобів у зонах розміщення, наприклад, нерегульованих пішохідних переходів або світлофорів. Результати дослідження пропонується застосовувати в процесі реорганізації вулично-дорожньої мережі міст України.

інтенсивність руху, транспортні потоки, вулично-дорожня мережа, різні види транспорту, затримка транспортних засобів, транспортні магістралі

Постановка проблеми. Останнім часом (протягом 25 років) в нашій країні кількість різних видів транспорту, у перерахунку на 1000 жителів, збільшилася в рази. Як наслідок, зросла щільність та інтенсивність транспортних потоків. Вулично-дорожня мережа (ВДМ) міст, яка розраховувалась і будувалась раніше, виходячи із значно меншої інтенсивності руху, виявилася перевантаженою. Питома інтенсивність руху на неї сягає в теперішній час 800 авт./год. і вище. Можна зазначити, що модернізація або перебудова існуючих транспортних магістралей в містах істотно відстають від темпів зростання кількості транспорту різних видів [1]. Як відомо, одним із способів покращення функціонування транспортної потоків на сьогодні є постійне застосування спеціальних засобів регулювання інтенсивності руху різних видів транспорту. Однак, це у свою чергу призводить до зміни характеру розподілу і параметрів руху транспортних засобів на ділянках ВДМ населених пунктів.

Останнім часом спостерігається постійне дисциплінування водіїв з метою виконання правил дорожнього руху. Окрім того з урахуванням постійного впровадження нових правил дорожнього руху, зокрема швидкісного режиму, зростають затримки транспортних засобів у зонах розміщення, наприклад, нерегульованих пішохідних переходів. Як наслідок, пропускна здатність ВДМ також знижується. При цьому перше місце виділяється безпеці транспортного процесу. Ось чому забезпечення зростання пропускної здатності ВДМ та зниження затримок різних видів транспорту в умовах безпечного руху є важливим завданням організації транспортного процесу. Актуальність цього питання зростає разом з рівнем автомобілізації міст України зокрема і в м. Черкаси.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Необхідно зазначити, що на сьогодні максимальна інтенсивність в містах спостерігається на магістральних вулицях і дорогах безперервного та регульованого руху, що досліджувалось автором роботи [2]. При цьому автор джерела [3] зазначає, що зі зростанням інтенсивності транспортного процесу ймовірність появи великих часових інтервалів між транспортними засобами різного виду зменшується.

Аналіз транспортних потоків різних видів транспорту показав, що проблема аварійності ВДМ набула особливої актуальності протягом останніх десяти років у зв'язку з наступними критеріями: низька дисципліна учасників дорожнього руху, невідповідність існуючої дорожньо-транспортної інфраструктури потребам суспільства і держави в безпечному дорожньому русі, недостатня ефективність функціонування системи забезпечення безпеки дорожнього руху [4].

Стосовно безпеки руху слід зазначити, що у державах, де обмеження швидкості в містах залишилося на колишньому рівні 60 км/год, кількість загиблих в міських дорожньо-транспортних пригодах (ДТП) від загальної кількості загиблих в них склала: Білорусія – 45%, Польща – 49%, Казахстан – 74% [4]. В країнах, що перейшли на обмеження швидкості 50 км/год, а від порівняно недавнього часу й Україна, питома вага загиблих в містах пішоходів від загальної кількості загиблих в ДТП склала 9-19%, в країнах з обмеженням швидкості 60 км/год – 26-51%. Однак, слід зазначити, що найчастішою причиною ДТП стає неправильне облаштування пішохідних переходів, зокрема, відсутність попереджувальних дорожніх знаків, штучного освітлення, штучних дорожніх нерівностей, які потрібні при інтенсивному русі різних видів транспорту [5].

Враховуючи всі вище наведені дослідження необхідно зазначити, що транспортні потоки та прогнозування інтенсивності руху різних видів транспорту на прикладі вулично-дорожньої мережі м. Черкаси потребує більш детального аналізу на предмет затримок транспортних засобів на найбільш завантажених ділянках.

Постановка завдання. Метою даного дослідження є аналіз транспортних потоків та визначення інтенсивності руху різних видів транспорту шляхом підвищення якості організації дорожнього руху на вулично-дорожньої мережі міста Черкаси.

Виклад основного матеріалу. Вибір досліджуваної ділянки було здійснено з урахуванням найбільшого завантаження транспортними засобами різних видів. Таким чином вибір випав на один із щільно заселених мікрорайонів міста Черкаси – район «Митниця». Однією із найбільш завантажених вулиць даного району є вулиця Гагаріна (рис. 1). Спостереження за інтенсивністю руху транспортних засобів різних видів (легкові, мікроавтобуси, автобуси, вантажні різного класу) проводилися протягом трьох часових періодів. Перший період лежав в межах ранкових годин, а саме: з 9.00 до 10.00 годин. Другий – в обідній час з 13.00 до 14.00 годин. Третій період спостереження належав вечірнім «годинам-пік» з 17.00 до 18.00 години. Вимірювання інтенсивності руху та встановлення складу транспортного потоку проводиться з використанням відеозйомки. В процесі роботи над відеоматеріалами спостереження виконувались за кожною смугою руху окремо. Таким чином при спостереженні досліджуваної ділянки вулично-дорожньої мережі м. Черкаси (вул. Гагаріна, мікрорайон «Митниця») в місцях затримки транспорту (як правило біля пішохідних переходів та світлофорів) були враховані наступні параметри: інтенсивність транспортних потоків та їх склад. Підрахунок здійснювався безупинно протягом 60 хв, з інтервалом вимірювання, що складав 5 хв (9.00-9.05, 9.05-9.10, 9.10-9.15 і т.д.).

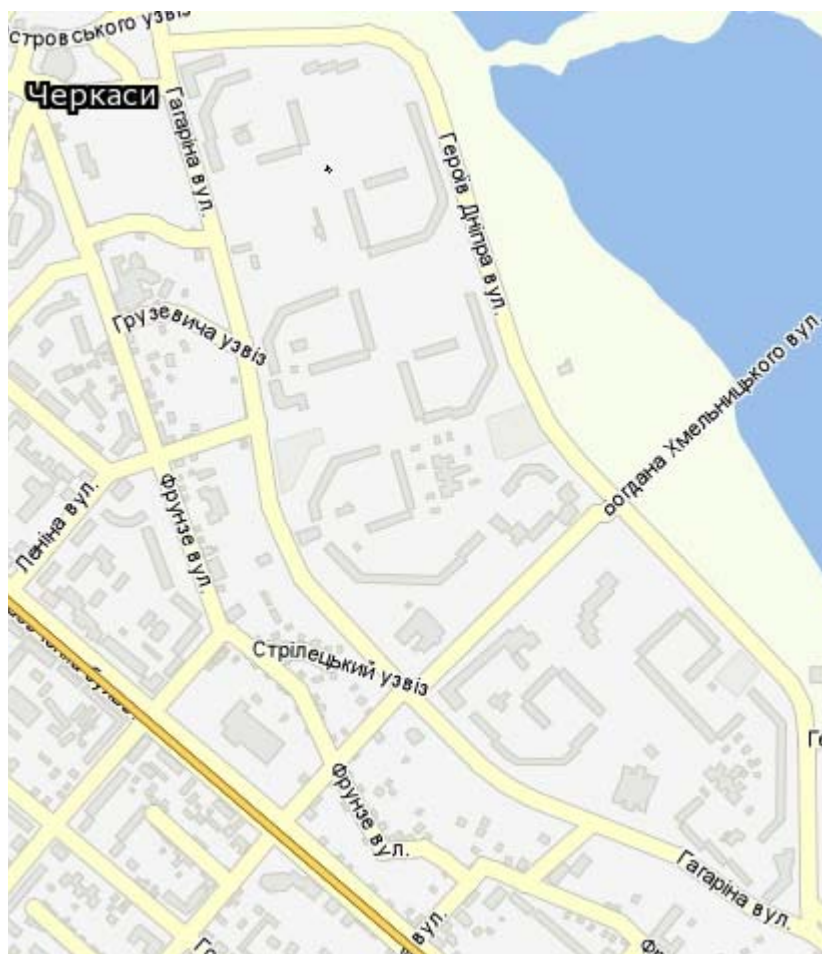


Рисунок 1 – Фрагмент мапи м. Черкаси
(досліджувана ділянка – вул. Гагаріна, мікрорайон «Митниця»)

Джерело: розроблено авторами

За допомогою навігаційного обладнання в дослідженні були отримані наступні показники: швидкість транспортного засобу при проїзді пішохідного переходу; відстань, де транспортний засіб знижує швидкість на підході до нерегульованого пішохідного переходу або світлофору; відстань, де транспортний засіб збільшує швидкість після проїзду пішохідного переходу до середньої швидкості вільного руху на даній ділянці дороги; час, що витрачається транспортним засобом при проїзді пішохідного переходу. Таким чином, в результаті проведених вимірювань та розрахунків було отримано трек із зазначеним часових та швидкісних параметрів (рис. 2), що відповідав небезпечній ділянці автодороги розташованого поблизу загальноосвітньої школи № 34 м. Черкаси. Перегляд історії роботи навігаційного обладнання, що фіксує рух транспортних засобів різного виду, дозволяє отримати необхідну інформацію про переміщення кожного конкретного об'єкта в конкретний проміжок часу. На мапі зображується лінія руху об'єкта (показана коричневим кольором). Таку лінію прийнято називати треком. Кожна точка такого треку містить інформацію про дату і час отримання повідомлення, а також про швидкість руху об'єкта.

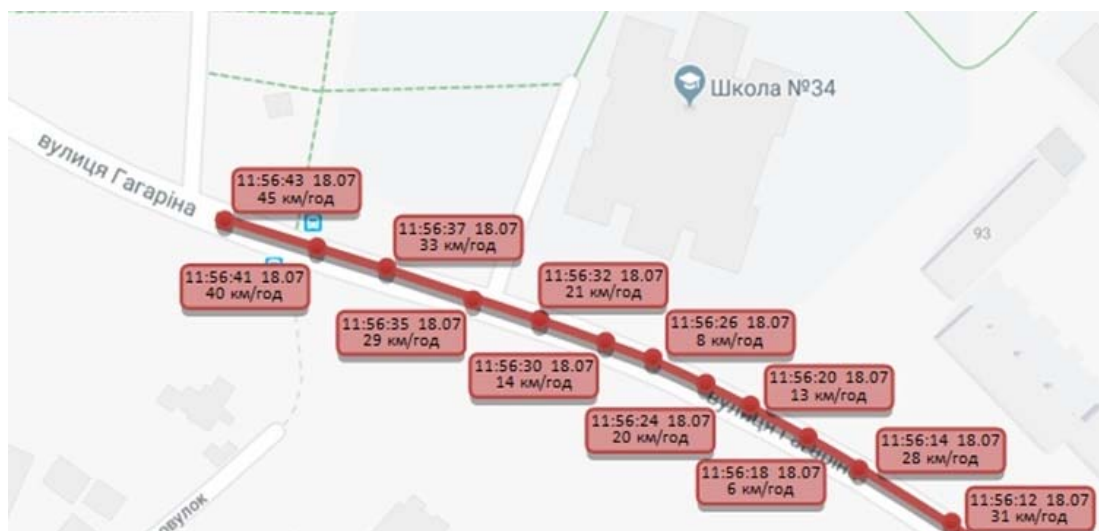


Рисунок 2 – Трек зі встановленими часовими та швидкісними параметрами

Джерело: розроблено авторами

В результаті проведених досліджень було встановлено, що інтенсивність руху транспорту різних видів по вулиці Гагаріна становив 2428 автом/год. Цей показник ставить на друге місце дану вулицю в місті Черкаси за інтенсивністю транспортних потоків у вечірній час доби (17:00 - 18:00 год). При цьому в даний період спостереження на досліджуваній ділянці інтенсивність пішоходів становив 325 осіб за годину. При аналізі організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі м.Черкаси було виявлено, що найбільш завантаженим рухом пішоходів є нерегульовані пішохідні переходи зі штучними нерівностями, що розташовані на зазначеній вище ділянці. Здійснене спостереження із застосуванням навігаційного обладнання дозволило виконати необхідні об'єми вибірки для оцінки швидкості руху транспортних засобів, час та відстань між точками, сумарна відстань між точками, сумарний час, який був витрачений транспортом між точками.

З використанням регресійного аналізу та з урахуванням вимірних інтенсивностей транспортного й пішохідного потоків в роботі була проведена оцінка величини затримок транспортних засобів різних видів у зоні нерегульованого пішохідного переходу. На рисунку 3 представлені результати проведеного регресійного аналізу й отримані залежності затримок транспортних засобів у зоні нерегульованих пішохідних переходів від інтенсивностей пересічних потоків.

За результатами дослідження затримки транспортних засобів у зоні нерегульованих пішохідних переходів варіюються в діапазоні від 0 до 60 с. (при відсутності пішоходів зниження швидкості руху транспортного засобу було незначним, тому затримка транспорту в такому випадку приймається рівною 0).

Також було досліджено, що навіть при відсутності пішоходів на нерегульованих пішохідних переходах зі штучними нерівностями, мінімальна затримка транспорту складає 2,14 с. Це пояснюється тим, що водію для більш комфортного проїзду переходу цього типу, треба завжди знижувати швидкість.

На нерегульованих пішохідних переходах без штучних нерівностей мінімальна затримка склала 1.3 с. Це можна пояснити наступними факторами: появи людини біля пішохідного переходу, яка ще не почала рух через нього; велика кількість транспортних засобів, які зупинились перед пішохідним переходом.

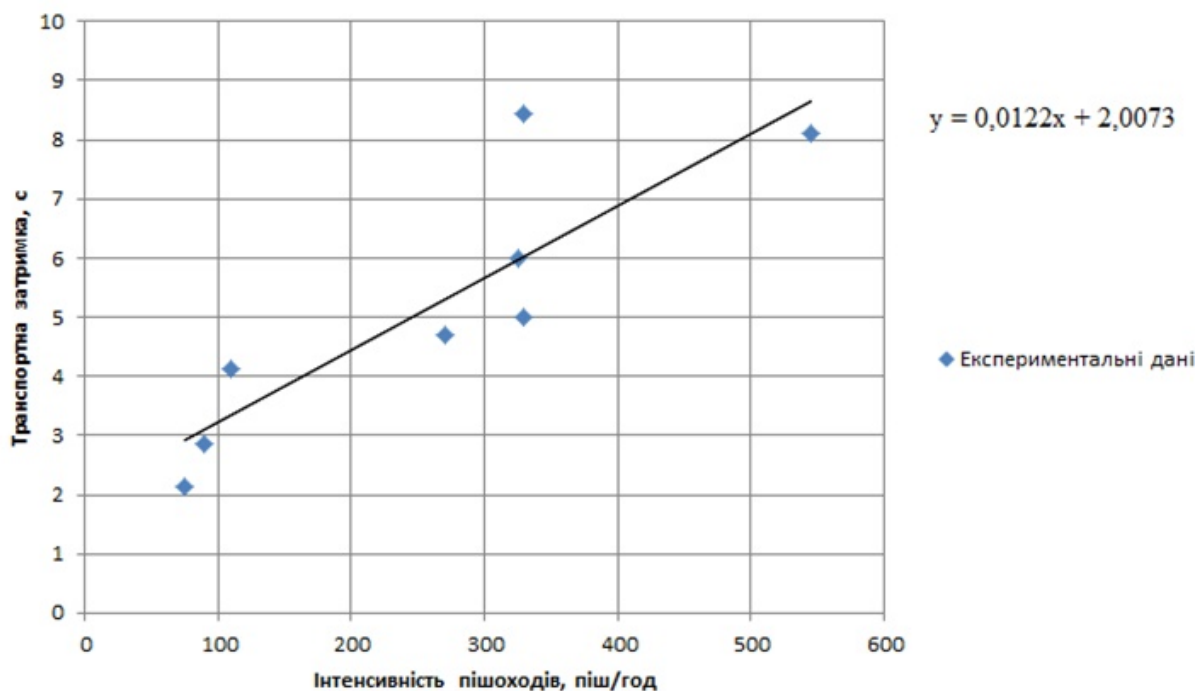


Рисунок 3 – Вплив інтенсивності транспортних і пішохідних потоків на величину затримки транспортних засобів у зоні нерегульованих пішохідних переходів зі штучною нерівністю
Джерело: розроблено авторами

Розроблені регресійні моделі, які слугували для прогнозування інтенсивності руху різних видів транспорту на прикладі вулично-дорожньої мережі м. Черкаси. За критерій оптимізації приймалась транспортна затримка, а в якості фактору – інтенсивність пішоходів.

Висновки. Результати обробки GPS-треків дозволили виявити ряд закономірностей: при невеликій інтенсивності транспортних і пішохідних потоків зниження швидкості транспортного засобу, що проїжджає пішохідний перехід, незначне, що підтверджує їхній проїзд без будь яких перешкод; збільшення інтенсивності транспортних засобів і пішоходів призводить до зниження швидкості транспортних засобів; при більших інтенсивностях транспортних і пішохідних потоків перед переходом утворюються черги транспортних засобів, тому відстань, на якій транспортний засіб починає знижувати швидкість значно збільшується. Як наслідок всі ці закономірності призводять до відповідного збільшення часу затримки транспортного засобу при проїзді зони переходу. Обстеження переходів за допомогою відеозйомки підтверджують отриманий результат. Розроблені регресійні моделі дозволили провести аналіз затримки транспортних засобів в залежності від інтенсивності пішоходів на пішохідних переходах зі штучною нерівністю або без неї та з відповідною ймовірністю прогнозувати інтенсивність руху на вулиці Гагаріна м. Черкаси (мікрорайон «Митниця»).

Список літератури

1. Семченко Н.О., Решетніков Є.Б. Дослідження параметрів руху груп транспортних засобів на вулично-дорожній мережі міст. *Комунальне господарство міст*. 2018. Вип. 7 (146). С. 12-19.
2. Петров Е. А. Моделирование движения транспортного потока высокой интенсивности. *Омский научный вестник*. 2002. № 21. С. 137 – 138.
3. Петров В. В. Управление движением транспортных потоков в городах : монография. Омск:

- СибАДИ, 2007. 92 с.
4. Амбарцумян В.В., Бабанин В.Н., Гуджоян О.П., Петридис А.В. Безопасность дорожного движения. Учебное пособие для подготовки и повышения квалификации кадров автомобильного транспорта ; под ред. В.Н. Луканина. М: Машиностроение, 1998. 304 с.
 5. Клинковштейн, Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 2001. 247 с.

References

1. Semchenko N.O. & Reshetnikov E.B. (2018). Doslidzhennia parametriv rukhu hrup transportnykh zasobiv na vulychno-dorozhnii merezhi mist [Research of parameters of movement of groups of vehicles on a street and road network of cities]. *Komunal'ne hospodarstvo mist – Municipal enterprises of cities*, 7 (146), 12-19 [in Ukrainian].
2. Petrov, E.A. (2002). Modelirovanie dvizheniya transportno go potoka vysokoy intensivnosti [High Intensity Traffic Simulation]. *Omskij nauchnyj vestnik – Omsk Scientific Bulletin*, 21, 137–138 [in Russian].
3. Petrov, V.V. (2007). *Upravlenie dvizheniem transportnykh potokov v gorodakh [Traffic management in cities]*. Omsk: SibADI [in Russian].
4. Ambarcumjan, V.V., Babanin, V.N., Gudzhoyan, O.P. & Petridis, A.V. (1998). Bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya. [Road safety]. *Moscow^ Mashinostroenie* [in Russian].
5. Klinkovshcheyn, G.I. & Afanas'ev M.B. (2001). *Organizaciya dorozhnogo dvizheniya [Traffic organization]*. Moscow: Transport [in Russian].

Ihor Shlionchak, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Lukianchenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ivan Tarandushka**, Senior Lecturer

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

Analysis of Traffic Flows and Forecasting the intensity of Traffic of Different Types of Transport on the Example of the Road Network of Cherkasy

The study of traffic flows of different types of transport of the road network of Cherkasy on the example of st. Gagarin (microdistrict "Mytnytsia").

The authors emphasize the fact that the modern street and road network of cities, including Cherkasy, which was calculated and built earlier, based on much lower traffic, is overloaded with vehicles of various kinds. In the context of European integration, in particular the introduction of a new speed regime in populated areas, there is also an increase in vehicle delays in accommodation areas, such as unregulated pedestrian crossings or traffic lights. The results of the study are proposed to be used in the process of reorganization of the street and road network of Ukrainian cities.

The developed regression models allowed to analyze the delay of vehicles depending on the intensity of pedestrians at pedestrian crossings with or without artificial inequality and with the corresponding probability to predict the intensity of traffic on Gagarin Street in Cherkasy (microdistrict "Mytnytsia").

traffic intensity, traffic flows, street and road network, different types of transport, vehicle delay, highways

Одержано (Received) 10.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 18.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 656.01:658.286:656.13 DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.313-324](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.313-324)**В.В. Аулін**, проф., д-р техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет**e-mail: AulinVV@gmail.com*

Тектологічний підхід формування логістичних систем на транспортних і виробничих підприємствах

В даній роботі розглянуто підхід до формування логістичних систем на транспортних і виробничих підприємствах з точки зору науки про організованість – тектології. Представлено можливу повну логістичну систему на підприємстві. Усі її види є організацією конкретного досвіду з доцільністю їх вивчення і утворення взаємозв'язку потоків, різних за змістом та складністю індивідуальної організованості. Логістична система представляється як сукупність активностей та опору, а її організованість регулюється такими законами як підбору та міри. З'ясована реалізація цих законів.

Логістичні системи на транспортному і виробничому підприємствах розглянуті і з точки зору організації досвіду господарювання в конкретному природно-кліматичному, економічному та соціальному середовищах, а також багаторівневої структури. Обґрунтована структура системи господарства з однорідних та якісно неоднорідних елементів. З'ясовано основні особливості системи господарства України в умовах дефіцитної економіки з неповним ринковим насиченням та сформульовані основні напрямки виправлення даної ситуації.

тектологічний підхід, логістична система, транспортне підприємство, виробниче підприємство

Постановка проблеми. Логістика як окремий напрямок наукової думки склалася у середині XX століття [1]. Вона належить до наук, що виникли з тектології [2] – вчення про загальну організованість і при описі будь-яких логістичних систем на транспортних і виробничих підприємствах слід виходити із її загальної характеристики. Разом з тим в логістиці превалює системний підхід, а роль тектологічного підходу невивражено зменшено [3].

На побудову логістичних систем, як об'єктів, передусім впливають такі загальні закони організації як закон вибору та закон міри. Логістика як наука і практика розглядає поточкові форми організації матерії, які відрізняються за рівнем складності і за своєю природою і змістом. Приводячи у рух супутні потоки, а матеріальні потоки на підприємствах залишаються центрами поточкового руху. На основі різного змісту потоків утворюються наступні функціональні логістики: логістика постачання, логістика виробництва та логістика збуту, а також розрізняють два стани з особливим їх призначенням: науково-професійні знання та вид господарської діяльності.

Науково-професійні знання утворюються за допомогою понятійної структури, що формується лише у процесі наукового пізнання і формують логістику як науку [4].

У господарській практиці принципи логістики використовуються при організації поточкових процесів і ефективному їх просуванні на транспортних і виробничих підприємствах. Для зручності викладу та конкретизації об'єкта вивчення логістику, що застосовується у господарській практиці підприємств, фірм, компаній, слід поєднати логістичні та економічні знання.

Звісно, що ефективність і надійність функціонування логістичних систем на підприємствах залежить від правильного підходу до їх формування [1,3]. На увагу заслуговує тектологічний підхід, який використовує концепцію загальної організаційної науки [2] – тектології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел свідчить, що на основі концепції загальної організаційної науки (тектології) виникло близько 50 нових наук і теорій, у тому числі і логістика. Головною ідеєю тектології є наступне мислене уявлення: весь світ – це та чи інша організація досвіду; у світі немає неорганізованих форм [1,2].

Що стосується теорії логістики та діалектики її розвитку, то цінність представляють положення концепції про те, що будь-які явища повинні бути представлені в їхньому життєвому, соціально-практичному сенсі. Зрозуміти діалектику розвитку логістики можливо лише через аналіз її походження із соціального буття. При цьому діалектика є не що інше, як організаційний процес, що йде шляхом протиріч та шляхом боротьби різних тенденцій [4,6].

Всі логістичні об'єкти дослідження (логістичні системи на транспортних та виробничих процесах) слід розглядати як певним чином організовані системи. Це є загальнонауковим (тектологічним) підходом, на основі якого створено загальну організаційну науку. До тектологічних напрямів цієї науки належать і тісно пов'язані з нею ціла сукупність наукових напрямів: логістика; кібернетика; системотехніка; інформатика; тектологічні теорії управління та прийняття рішень; теорія автоматів, ігор та катастроф; теорія масового обслуговування та дослідження операцій; теорії функціональних систем, що навчаються, самоорганізуються і самовідтворюються та ін. [1,2]. Всі вони дійсно створені і можуть бути включені до складу тектології, але не до загальної теорії систем. Практично переважна більшість дослідників повної логістичної системи, як правило, згадують її зв'язок із загальною теорією систем [3], але разом з тим тільки тектологія є справжньою природною основою логістики.

З урахуванням концепції загальної організованості розроблено ескізний, методологічний варіант загальної теорії систем, яка на якийсь час заступила собою загальну організовану науку. В той час саме тектологія, як міждисциплінарна наука, започаткувала створення нових наук, теорій і дисциплін [7-9].

В основу загальної теорії систем покладено один з теоретичних принципів тектології – існування в реальності різноманітних ізоморфів. Цей принцип перетворено в ознаку ізоморфності (однаковості) законів, що управляють функціонуванням системних об'єктів різного типу, на головну ідею загальної теорії систем [10].

Завданням загальної теорії систем є підвести не тільки до ізоморфізму, але і до необхідного та рівноправного її доповнення – поліморфізму. У новому варіанті загальної теорії систем доведено три теореми про наступні закони: відповідності (еквівалентності); системного ізоморфізму; системної симетрії [1,10].

Зазначимо ще одну дуже важлива для логістики умову. За тектологією, організаційні відносини – це відносини кон'югації (зв'язування) та комбінування відомого матеріалу за допомогою інгресії ("клею"). В економічних системах функцію інгресії виконують моральні закони, моральні підвалини та ціннісні орієнтири даної етнічної спільноти людського суспільства [10-12].

У логістичних системах соціальні норми та моральні правила визначають міцність зв'язку між їх елементами, стійкість та ефективність самих систем. Зазначене закладається в ідею організації логістичних систем, визначають цілі їх функціонування. Таке важливе положення відсутнє у загальній теорії систем [13,14].

Аналіз основних положень тектологічної науки свідчить, що при логістичному описі систем слід виходити із загальної характеристики тектологічних систем [15-17].

Що стосується логістичних систем на транспортних та виробничих підприємствах, то сукупність факторів набувають вигляду усвідомленої і доцільної діяльності з підбору активностей, що забезпечують функціонування логістичних

об'єктів та систем у бажаному напрямку та ритмі. Причинність через необхідність утворює сферу об'єктивних факторів – це закони природи, і навіть умови і закони розвитку суспільства [18-20]. Відображенням сфери об'єктивних факторів може бути той факт, що логістичні потоки неминуче, охоплені законами природи, економічними та юридичними законами, а також моральними нормами. Вони непідвладні волі суб'єкта логістичної системи та визначають спрямованість та межі логістичної діяльності [21,22]. Співвідношення суб'єктивного та об'єктивного утворює перший ряд рівневого порядку в логістичній системі. Суб'єктивні та об'єктивні фактори логістичних систем на підприємстві перебувають у діалектичній єдності. Інший ряд рівневого порядку в логістичних системах проходить лінією складності різних ступенів організованості, в яких перебувають їх елементи. Співвідношення нижчого та вищого рівнів – одна з основних проблем теорії логістики [23,24].

Постановка завдання. Метою даної роботи є з'ясування впливу тектологічного підходу на якість формування логістичних систем на транспортних і виробничих підприємствах.

Виклад основного матеріалу. Логістичні системи на транспортних і виробничих підприємствах належать до систем соціально організованих, які наділені особливим характером. Такі системи характеризуються наступним:

- мають здатність відновлювати зв'язки між їх елементами, які розірвані зовнішніми силами чи власною активністю;
- організаційні відносини являються відносинами кон'югації (зв'язування) та комбінування елементів за допомогою інгресії (ефект "клею").

Функцію інгресії виконують моральні закони, які є моральними підвалинами даного суспільства. У логістичних системах нерідко розрив зв'язків відбувається саме з цих причин. Однак на практиці усунення таких збоїв у функціонуванні логістичної системи здійснюється, як правило, на основі юридичних норм, які на моральному та правовому полі не спрацьовують.

Незважаючи на принципові відмінності, які характерні для військової, математичної та економічної логістики (рис.1), всі вони в певній логістичній системі мають спільне – необхідність врахування особливостей потокової форми організованості та принципів узгодженості, раціональності та точності в процесі управління потоками.

Утворюється взаємозв'язок потоків, різних за змістом та складністю індивідуальної організованості, що дозволяє оформити відмінність всередині логістики, тобто виділивши комерційну, фінансову, інформаційну та сервісну логістики. Звісно, що центром усієї потокової сукупності є матеріальний потік. Його обслуговує комерційна логістика, яка, своєю чергою, включає у собі ряд функціональних логістик. За функціональним призначенням виділяються логістика постачання, логістика виробництва та логістика збуту. Внутрішньосистемна відмінність повної логістичної систем відбувається і за ознакою ключових логістичних активностей: транспортна логістика, складська логістика, логістика запасів.

Щоб визначити природу логістичних об'єктів, необхідно піднятися на вищий рівень наукового дослідження, вийти на науку загальної організованості – як вищого рівня науки досліджень.

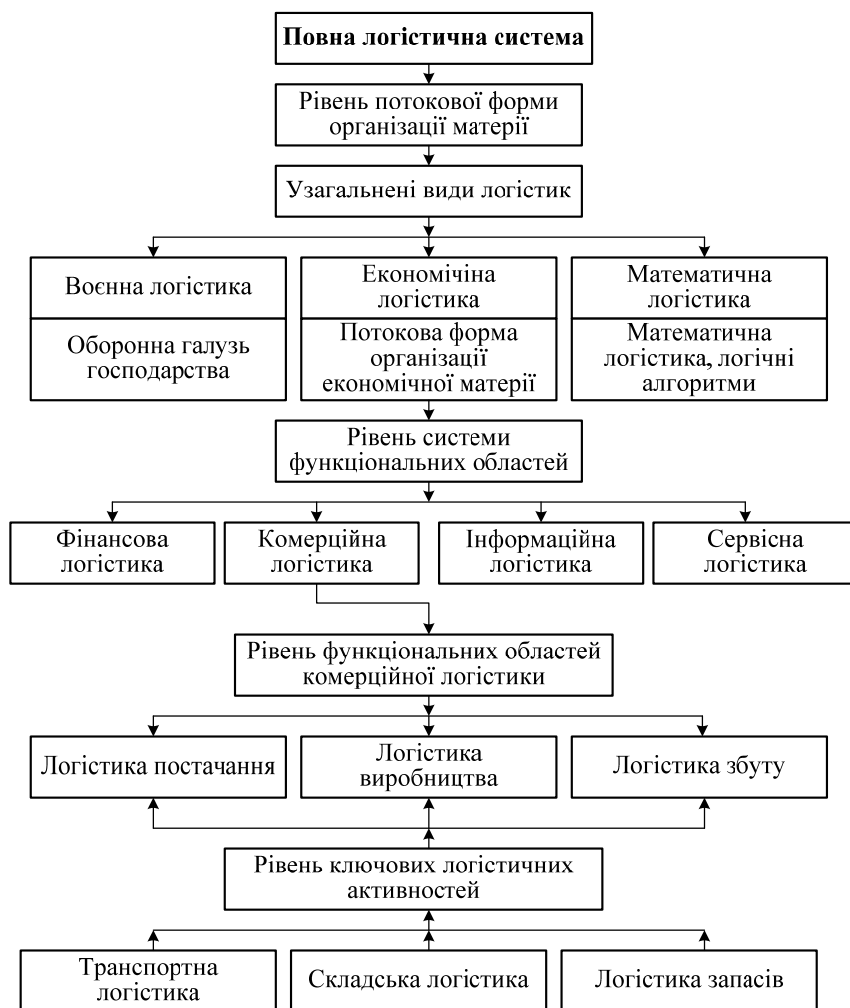


Рисунок 1 – Повна логістична система та рівні її організації

Джерело: розроблено автором, базуючись на [1,7,12]

Повна логістична система на підприємстві – це сукупність активностей та опору. У науці про загальну організованість термін "активність" вживається у двох значеннях:

– як тектологічна величина, що вимірюється сумою енергії, яка витрачається на те, щоб подолати опір;

– як тектологічне поняття, що характеризує здатність комплексу впливати на інші комплекси, змінюючи дію, або сам вплив одного комплексу на інший.

У логістиці активності – це такі компоненти логістичної системи, які приводять її у дієздатний стан. Активності здатні в логістичній системі нести організуючий початок і деструкуючі елементи. Останні можуть бути спрямовані всередину системи, перевіряючи її на міцність, або в навколишнє зовнішнє середовище, наділяючи логістичну систему підвищеною агресивністю. Логістична система на транспортному і виробничому підприємстві функціонує позитивно, доки створюючі сили переважають наявний опір.

Розвиток форм організованості регулюється загальними законами Всесвіту. Одним із таких законів є закон підбору. З ним стикаються і в логістичній діяльності. При формуванні логістичної системи на підприємстві підбирають компоненти, що відповідають її меті та спрямованості. Закон підбору діє у всіх формах руху матерії, він регулює розвиток форм організованості. У філософії закон підбору відноситься до законів діалектики, що є універсальним механізмом конструювання системних об'єктів.

У законі підбору враховано боротьбу та зміну форм потоків: більш організовані форми потоків виживають, а менш організовані – руйнуються. Це враховується під час побудови логістичних систем на транспортних і виробничих підприємствах.

Організованість не можна формально зводити до доцільності або її синонімів – гармонії, відповідності. Потрібно з'ясувати, у чому полягає ця відповідність чи гармонія. Сутність понять "організованість" і "дезорганізованість" зводиться до поєднання активностей та опору, взятих з практичної сторони функціонування підприємств.

Організованість – це такий стан, коли ціле виявилося більше суми своїх частин. Деорганізованість – такий стан, коли ціле менше суми своїх частин. При цьому виявляється, що організоване ціле більше простої суми своїх частин не тому, що в ньому виникли з нічого нові активності, а тому, що його наявні активності з'єднується з меншими втратами, ніж опори, що їм протистоять. Там, де стикаються активності та опори, то практична сума, втілена в реальні результати, залежить від способу поєднання тих та інших. При цьому для цілого ця сума збільшується на тій стороні, де з'єднання викликає менше протиріч. Це означає більш високу організованість.

У природі існує і об'єктивна доцільність, яка відображена у законі підбору. Це природний процес боротьби організаційних форм, у якій форми недоцільні чи менш доцільні руйнуються і зникають, а більш доцільні зберігаються, тобто відбувається природний процес підбору. Його має враховувати усвідомлена організаційна діяльність людей на підприємствах, де формуються логістичні системи. У сфері дії закону підбору проявляється і закон дезорганізації – ціле починає руйнуватися, якщо в одній з його частині, ланці, опір виявиться недостатнім порівняно з силою, що діє ззовні.

Логістичні системи на транспортних і виробничих підприємствах є стійкими, коли в ній переважають організуючі активності. Зазначимо, що таке можливе лише в тому випадку, якщо при побудові системи до закону підбору підключено інший загальний закон – закон міри. Міра додається до протяжності та простору. Міра – це спосіб визначення кількості за прийнятою одиницею. Використовується також термін "захід" у сенсі "порядок", "устрій" і для відображення кількісних співвідношень, що призводять до зміни якісних параметрів.

Закон міри відноситься до законів діалектики, є насамперед універсальною формою руху пізнання від нижчих щаблів до вищих, від однієї категорії до іншої, в якій представлено більш високий ступінь конкретизації. Слід враховувати, що загальні закони діють у всіх формах руху матерії, мають свій особливий зміст, але проявляються через інші, специфічні, стосовно них, закони. Так, закон міри проявляється через закон переходу кількісних змін до якісних.

З огляду на закон міри можна:

- вийти на закономірності розвитку логістичного знання;
- знайти правильне вирішення практичних проблем формування логістичних систем.

Висока концентрація деструктивних елементів у логістичній системі на підприємстві призводить до якісних змін, які можуть її зруйнувати або викликати переродження системи в антисистему: у кожній системі спочатку закладена антисистема. Дія закону міри виявляється не тільки на стадії створення, але й в процесі функціонування логістичних систем. Вона присутня й у вихідному імпульсі. На самому початку руху логістичної системи, при укладанні комерційної угоди, встановлюється міра обмінюваності, досягається рівність та еквівалентність цінностей.

Під кутом зору науки про загальну організованість логістичні системи на транспортних і виробничих підприємствах набувають відображення у вигляді:

- систем із соціально організованими елементами, пов'язаних з необхідними життєвими зв'язками і які мають здатність відновлювати зв'язки між елементами, розірвані власною активністю чи зовнішніми силами, а функцію інгресії тут виконують не юридичні, а моральні закони, моральні підвалини та ціннісні орієнтири спільноти;

- сукупності (комплексу) організуючих активностей, побудованих за законом підбору та законом міри;

- ряду різних ускладнень (ступенів) індивідуальної організації, процес розвитку яких здійснюється у вигляді переходу від нижчих шаблів до вищих шаблів організованості;

- систем, в яких кожна частина доповнює інші частини, служить їм як орган цілого та має особливе призначення.

Логістичні системи на транспортному і виробничому підприємстві – це організація досвіду господарювання в конкретному природно-кліматичному, економічному та соціальному середовищі. Вони відрізняються за складністю індивідуальної організованості. Логістика входить у господарську систему в якості внутрішньої логістичної підсистеми, в якій їй притаманні загальні властивості транспортного або виробничого підприємства як системного об'єкта:

- цілісність і подільність – структурні утворення як сукупність елементів існують тільки в системі;

- інтегративні якості – якості, властиві системі загалом, але не властиві жодному з її елементів окремо;

- щільність зв'язку – зв'язки між елементами всередині системи більш міцніші і глибші, ніж зв'язки окремих елементів із зовнішнім середовищем;

- внутрішній причинний зв'язок – наявність упорядкованих зв'язків між елементами системи, що утворюють певну структуру;

- автономність – здатність системи функціонувати і розвиватися у власних межах, незалежно від навколишнього середовища.

З цієї точки зору структура логістичної системи на підприємстві є багаторівнева. Особливо слід виділити її властивість, що раніше не фіксується: логістична система – сукупність організуючих активностей. Слід підкреслити, що активності в системах і підсистемах можуть нести й енергію руйнування. Якщо концентрація деструктивних сил досягає певного рівня, що виконує у цій системі роль порогу збудливості, то включається у дію закон дезорганізації і система починає руйнуватися. Наприклад, у логістичному ланцюзі, де результат залежить від загальних зусиль, недобросовісна конкуренція між її учасниками здатна зруйнувати міцність зв'язків між елементами системи.

У загальному вигляді логістична система є:

- організацією досвіду господарювання у конкретних природно-кліматичних, економічних та соціальних умовах;

- тектологічною системою із соціально організованими елементами;

- сукупність організуючих активностей, відібраних за законом підбору та законом міри;

- системою, яка здатна відновлювати розірвані зовнішніми впливами зв'язки між своїми елементами власною активністю.

Логістику як вид господарської діяльності порівнюють з бізнес-процесом, що пронизує всі функціональні фази підприємства, широко використовує інструментарій маркетингу, фінансів, що впливає на операційну діяльність та корпоративну стратегію. У такому контексті логістика реалізує свої можливості наскрізного моніторингу, тобто спостерігається зіставлення фактичного стану справ із бажаним:

- на всіх етапах руху сировини, матеріалів, напівфабрикатів до виробничого об'єкта;
- у процесі виробництва і переробки сировини, матеріалів та напівфабрикатів;
- при доведенні вже готової продукції до споживача відповідно до його інтересів та вимог;
- на стадії передачі, зберігання та обробки відповідної інформації та руху грошових коштів.

Логістична діяльність виходить за межі окремого підприємства, забезпечує вигоду від взаємодії та співробітництва всіх партнерів у галузі просування товарів.

Логістика та маркетинг, як діяльність та наукові напрями в їх сучасному вигляді, своїм походженням зобов'язані феномену рухливості простору комерції. Простір комерційної діяльності включає два явища та два різнопорядкові поняття. Перше – це широта та зміст комерційної діяльності. Друге – це географічний, територіальний простір, що долають товарні потоки. Логістика спеціалізується насамперед на вирішенні теоретичних та практичних проблем подолання просторового (територіального) поділу. З цієї точки зору, логістику доцільно розглядати у такому розрізі:

- теоретична сфера, в якій виробляються нові наукові знання;
- господарська практика як накопичення досвіду з організації та управління потоками.

Це два якісно різні стани логістики, і у кожного з них своє особливе призначення. Їх не можна ототожнювати або видавати одне за інше. Безпосередній вихід логістики на господарську практику ставить рівень її розвитку у пряму залежність від типу національного господарства та його стану. Ця залежність представлена на системному рівні та на рівні структурного устрою господарства підприємств, фірм, компаній.

Особливості національного господарства, як логістичної системи на різних рівнях, виражені у його структурі. Під структурою господарства розуміють устрій, будову системи, на яке впливають багато чинників. Набір елементів логістичної системи транспортних і виробничих підприємств визначається природно-кліматичним та соціальним середовищем у конкретних формах їхнього прояву. Структура системи господарства може складатися з однорідних або якісно неоднорідних елементів. Система господарства сучасної України характеризується фундаментальними особливостями, які не може обходити логістика, залишаючись на наукових позиціях. На увагу заслуговують наступні особливості:

- відтворення господарства з неоднорідною економічною структурою;
- Україна протягом останніх років здійснює дефіцитну економіку, тобто таку, що формується при господарюванні неефективними методами;
- у системі господарства України сформувалася економічна система з неповним ринковим насиченням.

На неоднорідність структури системи господарювання впливають наявність різних економічних укладів, форм організації виробництва та господарських стилів, кожен із яких відповідає певному культурному середовищу, які є суттєвими, а тому об'єктивно необхідні. Еволюція системи господарювання здійснюється за рахунок обміну між укладами досвідом та інформацією.

Для логістики в Україні складною проблемою є подолання просторового розподілу географічного середовища, особливо під час воєнного стану. Переміщення товарів на відстані територією обумовлюють подорожчання транспортних витрат та витрат на зберігання товарних запасів. Дорожнеча просторового переміщення людей і

товарних вантажів призводить до спостереження тенденцій територіального роз'єднання країни. Крім того дефіцитна економіка є витратною економікою, що відбивається на темпах економічного розвитку, вартості життя, можливостях накопичення національного багатства. Зазначені негативні наслідки накладаються на результати господарської діяльності підприємств, але кількісно не визначалися. Усе це ускладнює логістичну діяльність в Україні.

Система господарювання країни з неповним ринковим насиченням наділена особливою характеристикою: ринкові відносини тут мають не загальне, а обмежене застосування. Капіталізм формується не в класичній (європейської) формі, а в деякому деформованому вигляді, як клановий капіталізм. Його ознаками є: неринковий монополізм та номенклатурне підприємництво; конкуренція соціально-економічних кланів між собою за доступ до державного бюджету та контроль над найбільшими підприємствами, фірмами, компаніями. Це неповноцінна, застійна ринкова система, де ставку зроблено на фінансовий сектор економіки.

Функціонування такої системи об'єктивно передбачає поєднання планових та ринкових механізмів регулювання. Економічні функції держави розширено. Вона дбає про збереження системи життєзабезпечення народу, а відхід держави з господарського життя означає неминучу руйнацію такої системи. Цілком чітко ці особливості виявилися в умовах світової фінансової кризи, коли виживання логістичних систем підприємств, фірм, компаній, що тільки зародилися (у галузевих, регіональних, міжрегіональних масштабах), безпосередньо залежить від втручання держави та її фінансової підтримки. Жодна, навіть найуспішніша, логістична система підприємства корпоративного складу не взяла на себе функцію вирішення складних соціально-економічних питань. За межами компетенцій таких логістичних систем залишаються проблеми суспільного ефекту, оцінки впливу приватно-корпоративних логістичних систем на добробут держави та її населення.

Логістична діяльність на підприємствах, спрямована на організацію раціонального руху матеріальних і супутніх їм потоків інформації, фінансів та послуг, цілком здатна успішно функціонувати в середовищі з неповним ринковим насиченням. Насьогодні, практична логістика будується не на основі реалій господарства України. Вона намагається певною мірою охопити лише ринкову сферу національного господарства, а решта різноманіття господарських зв'язків залишається осторонь. Із системи господарського обороту випали як окремі галузі та регіони. У такому стані логістика не виконує функцій, що покладається на неї у господарській діяльності транспортних та виробничих підприємств.

Необхідна переорієнтація українських логістичних операторів на взаємодію з внутрішніми вітчизняними та зовнішніми постачальниками. Логістичні структури здатні стати інтеграційними "поєднувачами" міжрегіональних та міжгалузевих господарських зв'язків. Вирішення цього питання можуть взяти на себе логістичні центри. По суті, на них покладено роль економічного зв'язку галузей господарства, що беруть участь у виробництві, переробці продукції та доведенні її до кінцевого споживача. Насьогодні з'явилися стимули та сформувалися сприятливі умови для створення нових та підвищення ефективності роботи існуючих логістичних центрів.

Висновки.

1. На основі різного змісту потоків на підприємствах утворюється повна логістична система з узагальненими видами логістик: воєнна, економічна, математична; логістики рівня системи функціональних областей: фінансова, комерційна, інформаційна, сервісна; рівня функціональних областей комерційної логістики: постачання, виробництва, збуту; логістики рівня ключових активностей: транспортна,

складська, запасів.

2. Аналіз розвитку форм організованості систем свідчить, що при побудові логістичних систем істотно впливають закони загальної організації – закон підбору і закон міри.

3. Згідно тектологічного підходу до логістичних систем організованість та дезорганізованість на транспортних і виробничих підприємствах розглядається як поєднання активностей та опорів взятих з практичної сторони їх функціонування.

4. Логістичні об'єкти, як тектологічні утворення досвіду господарювання у конкретному природно-кліматичному, економічному та соціальному середовищі, мають бути представлені у їхньому життєвому, соціально-практичному сенсі. При цьому досвід організації слід розглядати таким, який він є насправді, яким він дано людям у спостереженнях.

Список літератури

1. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем: монографія / Аулін В.В. та ін.; під заг. ред. Ауліна В.В. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. 503 с.
2. Богданов А. А. Тектология – Всеобщая организационная наука. – Берлин – Санкт-Петербург, 1922.
3. Бычков Д.В. Системный подход к организации транспортного обслуживания промышленного предприятия. *Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского*. 2010. № 4-6. С. 218-224.
4. Алькема В.Г. Розвиток мікрологістичних систем та методика його оцінювання. *Логістика: теорія та практика*. 2012. №1(2). С.5-11.
5. Бондаренко О.О. Тенденції та перспективи ринку логістичних послуг України. *Вісник НТУ "ХПИ"*. 2013. № 50(1023). С. 3-6.
6. Алькема В.Г. Система економічної безпеки логістичних утворень: монографія. Київ: Дорадо-Друк. 2011. 470 с.
7. Амелюк В.І. Теоретичні засади функціонування логістичної системи підприємства. *Вісник Бердянського університету менеджменту і бізнесу. Економіка та підприємництво*. 2009. № 4 (8). С. 46-49.
8. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О. Методологія підходів до дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2017. №2. С. 4-14.
9. Аулін В.В., Великодний Д. О., Дьяченко В. О. Теоретико-методологічні основи побудови транспортно-логістичних систем. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: 2018 рік: матеріали VI-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 12-13 квітня 2018 року*. Вінниця: ВНТУ, 2018. С.9-10.
10. Даниленко А.С. Логістика: теорія і практика: монографія. К.: Хай-Тек Прес, 2010. 408 с.
11. Денисенко М. П. Організація та проектування логістичних систем: монографія. Київ: Центр учбової літератури. 2010. 336 с.
12. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем: монографія / Аулін В.В. та ін.; під заг. ред. В.В. Ауліна. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2020. 428с.
13. Величко О.П. Формування логістичних систем в сучасному агробізнесі України. *Економіка та держава*. 2011. № 12. С. 63-65.
14. Григорак М.Ю. Логістичне управління зворотними матеріальними потоками виробничого підприємства. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2011. № 5(159). Ч. 2. С. 232-236.
15. 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.
16. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методичні аспекти кількісної, якісної та часової оцінки параметрів надійності функціонування транспортних систем. *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. Серія: Технічні науки. 2018. № 2 (82). С.3-10.
17. 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.
18. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи

- забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем : монографія / за ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В.. Кропивницький: ТОВ "КОД", 2017. 370 с.
19. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гупка А.Б. Логістичний підхід в дослідженні процесів вантажних перевезень у фермерських господарствах агропромислового комплексу України. *Вісник інж. академії України*. 2016. №4. С. 61-66.
 20. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Кіберфізичний підхід при створенні, функціонуванні та удосконаленні транспортно-виробничих систем. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2020. Вип. 3(34). С.331-343.
 21. Більовський К.Е. Стан та перспективи розвитку ринку логістичних послуг в Україні. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2016. Т. 2, № 4. С. 25-29.
 22. Бондаренко О.О. Тенденції та перспективи ринку логістичних послуг України. *Вісник НТУ "ХПІ"*. 2013. № 50(1023). С. 3-6.
 23. Алькема В.Г., Арцюх Ю.В. Інноваційна стратегія клієнтоорієнтованого логістичного сервісу. *Вчені записки Університету "КРОК"*. 2014. Вип. 35. С. 159-166.
 24. Алькема В.Г., Кудренко С.О. Територіальна організація регіональної логістичної інфраструктури. *Управління проектами та розвиток виробництва*. 2014. №1(49). С. 157-172. URL: <http://pmdp.org.ua> (дата звернення: 14.04.2022).

References

1. Aulin, V.V., Hryniv, A.V., Lysenko, S.V., Holovaty, A.O., & Holub, D.V. (2021). *Teoretychni i metodolohichni osnovy lohistyky transportnykh i vyrobnychyykh system [Theoretical and methodological foundations of the logistics of transport and production systems]* Kropyvnytskyi: Vydavets Lysenko V.F. [in Ukrainian].
2. Bogdanov, A. A. Tektologiya (1922) *Vseobshchaya organizatsionnaya nauka [General organizational science]*. Berlin – Sankt-Peterburg [in Russian].
3. Byichkov, D.V. (2010). Sistemnyi podhod k organizatsii transportnogo obsluzhivaniya promyshlennogo predpriyatiya [A system approach to the organization of transport services of an industrial enterprise]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo-Questions of modern science and practice. University named V.I. Vernadsky*, 4-6, 218-224 [in Russian].
4. Alkema, V.H. (2012). Rozvytok mikrolohistychnykh system ta metodyka yoho otsiniuvannya [Development of micrologistics systems and its evaluation method]. *Lohistyka: teoriia ta praktyka-Logistics: theory and practice*, 1(2), 5-11 [in Ukrainian].
5. Bondarenko, O.O. (2013). Tendentsii ta perspektyvy rynku lohistychnykh posluh Ukrainy [Trends and prospects of the logistics services market of Ukraine]. *Visnyk NTU "KhPI"- Bulletin of NTU "Khpi"*, 50(1023), 3-6 [in Ukrainian].
6. Alkema, V.H. (2011). *Systema ekonomichnoi bezpeky lohistychnykh utvoren: monohrafiia* [System of economic security of logistics entities: monograph]. Kyev: Dorado-Druk [in Ukrainian].
7. Amelkin, V.I. (2009). Teoretychni zasady funktsionuvannya lohistychnoi systemy pidpriemstva [Theoretical principles of operation of the logistics system of the enterprise]. *Visnyk Berdianskoho universytetu menedzhmentu i biznesu. Ekonomika ta pidpriemnytstvo – Bulletin of the Berdyan University of Management and Business. Economy and entrepreneurship*, 4 (8), 46-49 [in Ukrainian].
8. Aulin, V.V., Bilichenko, V.V., Holub, D.V. & Velykodnyi, D.O. (2017). Metodolohiia pidkhodiv do doslidzhennia shliakhiv i sukupnosti faktoriv zabezpechennia nalezhnoho rivnia efektyvnosti i nadiinosti transportnykh system [Methodology of approaches to the study of ways and a set of factors to ensure the proper level of efficiency and reliability of transport systems]. *Visnyk mashynobuduvannya ta transportu – Herald of mechanical engineering and transport*, 2, 4-14 [in Ukrainian].
9. Aulin, V.V., Velykodnyi, D. O. & Diachenko, V. O. (2018). Teoretyko-metodolohichni osnovy pobudovy transportno-lohistychnykh system [Theoretical and methodological foundations of construction of transport and logistics systems]. *Problemy i perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu: materialy VI-oi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii, 12-13 kvitnia 2018 roku-materials of the 6th international scientific and practical internet conference, April 12-13, 2018*. Vinnytsia: VNTU. S.9-10 [in Ukrainian].
10. Danylenko, A.S. (2010) *Lohistyka: teoriia i praktyka [Logistics: theory and practice]*. Kyiv: Khai-Tek Pres [in Ukrainian].
11. Denysenko, M.P. (2010). *Orhanizatsiia ta proektuvannya lohistychnykh system: monohrafiia* [Organization and design of logistics systems: monograph] Kyiv: Tsentр uchbovoi literatury [in Ukrainian].
12. Aulin, V.V. et al. (2020). *Metodolohichni osnovy proektuvannya ta funktsionuvannya intelektualnykh transportnykh i vyrobnychyykh system [Methodological foundations of designing and functioning of*

- intelligent transport and production systems*]. Kropyvnytskyi: Vydavets Lysenko V.F. [in Ukrainian].
13. Velychko, O.P. (2011). Formuvannya 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].
 14. Hryhorak, M.Iu. (2011). Lohistychnе upravlinnia zvorotnymy materialnymy potokamy vyrobnychoho pidpriemstva [Logistics management of reverse material flows of the production enterprise]. *Visnyk Shkhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia- Bulletin of the Eastern Ukrainian National University named after V. Dalia*, 5(159), part 2, 232-236 [in Ukrainian].
 15. 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].
 16. Aulin, V.V. & Holub, D.V. (2018). Metodychni aspekty kilkisnoi, yakisnoi ta chasovoi otsinky parametriv nadiinosti funktsionuvannya transportnykh system [Methodical aspects of quantitative, qualitative and temporal assessment of parameters of the reliability of the functioning of transport systems]. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky- Bulletin of the Zhytomyr State University of Technology. Series: Technical sciences*, 2 (82), 3-10 [in Ukrainian].
 17. Aulin, V.V., Holub, D.V. & Bilichenko, V.V. (2018). Metodolohichni pidkhid do vyznachennia rivnia yakosti funktsionuvannya transportnykh system [Methodological approach to determining the level of quality of functioning of transport systems]. *Visnyk mashynobuduvannya ta transportu- Herald of mechanical engineering and transport*, 1(7), 49 [in Ukrainian].
 18. Aulin, V.V., Holub, D.V., Hryniv, A.V. & Lysenko, S.V. (2017). Metodolohichni i teoretychni osnovy zabezpechennia ta pidvyschennia nadiinosti funktsionuvannya avtomobilnykh transportnykh system : monohrafiia [Methodological and theoretical foundations of ensuring and increasing the reliability of the functioning of automobile transport systems: monograph]. Kropyvnytskyi: TOV "KOD" [in Ukrainian].
 19. Aulin, V.V., Holub, D.V. & Hupka, A.B. (2016). Lohistychnyi pidkhid v doslidzhenni protsesiv vantazhnykh perevezen u fermerskykh hospodarstvakh ahropromyslovoho kompleksu Ukrainy [Logistical approach in the study of cargo transportation processes in farms of the agro-industrial complex of Ukraine]. *Visnyk inzh. akademii Ukrainy – Herald Eng. Academy of Ukraine*, 4, 61-66 [in Ukrainian].
 20. Aulin, V.V., Hryniv, A.V. & Holovaty, A.O. (2020). Kiberfizychnyi pidkhid pry stvorenni, funktsionuvanni ta udoskonalenni transportno-vyrobnychykh system [Cyber-physical approach in the creation, functioning and improvement of transport and production systems]. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky- Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences*, Vol. 3(34), 331-343 [in Ukrainian].
 21. Bilovskyi, K.E. (2016). Stan ta perspektyvy rozvytku rynku lohistychnykh posluh v Ukraini [The state and prospects for the development of the logistics services market in Ukraine]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu- Bulletin of the Khmelnytskyi National University*, Vol. 2, 4, 25-29 [in Ukrainian].
 22. Bondarenko, O.O. (2013). Tendentsii ta perspektyvy rynku lohistychnykh posluh Ukrainy [Trends and prospects of the logistics services market of Ukraine]. *Visnyk NTU "KhPI"- Bulletin of NTU "Khpi"*, 50(1023), 3-6 [in Ukrainian].
 23. Alkema, V.H. & Artsiukh, Yu.V. (2014). Innovatsiina stratehiia kliientoorientovanoho lohistychnoho servisu [Innovative strategy of customer-oriented logistics service]. *Vcheni zapysky Universytetu "KROK"- Scientific notes of "KROC" University*, Vol. 35, 159-166 [in Ukrainian].
 24. Alkema, V.H. & Kudrenko, S.O. (2014). Terytorialna orhanizatsiia rehionalnoi lohistychnoi infrastruktury [Territorial organization of regional logistics infrastructure]. *Upravlinnia proektamy ta rozvytok vyrobnytstva – Project management and production development*, №1(49), 157-172. Retrieved from <http://pmdp.org.ua> [in Ukrainian].

Viktor Aulin, Prof., DSc.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Tectological Approach to the Formation of Logistics Systems at Transport and Production Enterprises

This work examines the approach to the formation of logistics systems at transport and production enterprises from the point of view of the science of organization - tectology.

We will present a possible complete logistics system at the enterprise. All its types are the organization of specific experience with the expediency of their study and the formation of the interconnection of flows, different in content and complexity of individual organization. The logistics system is presented as a set of

activities and resistances, and its organization is regulated by such laws as selection and measure. The implementation of these laws has been clarified.

Logistics systems at the transport and production enterprise are also considered from the point of view of the organization of business experience in a specific natural-climatic, economic and social environment, as well as a multi-level structure. The structure of the farm system from homogeneous and qualitatively heterogeneous elements is considered. The main features of the Ukrainian economic system in the conditions of a deficit economy with incomplete market saturation are clarified and the main directions for correcting the situation are formulated.

On the basis of the different content of flows at enterprises, a complete logistics system with generalized types of logistics is formed: military, economic, mathematical; system-level logistics of functional areas: financial, commercial, informational, service; level of functional areas of commercial logistics: supply, production, sales; logistics at the level of key activities: transport, warehouse, stocks. Logistic objects, as tectological formations of management experience in a specific natural-climatic, economic and social environment, should be presented in their vital, socio-practical sense. At the same time, the experience of the organization should be considered as it really is, as it is given to people in observations.

tectological approach, logistics system, transport enterprise, production enterprise

Одержано (Received) 26.04.2022

Прорецензовано (Reviewed) 06.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 656:338

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.324-334](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.324-334)

Д.В. Голуб, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: dimchik529@gmail.com

Теоретична модель транспортної системи як сукупності взаємодіючих і взаємоперетворюючих елементів та підсистем

Представлено теоретичну модель, що дає можливість реалізувати опис процесів в транспортній системі і підсистемах за допомогою взаємодії таких елементів як сукупність каналів і бункерів. Це дозволяє з'ясувати важливі ефекти в різних транспортних системах, в тому числі і регіональних. Зроблене припущення, що існує структура транспортної системи, яка повинна уміти перетворювати певні потоки, а отже поглинати і породжувати їх сплески. Обґрунтовано, що в якості абстрактних елементів теоретичної моделі транспортної системи можуть бути «канали» і «бункери», оскільки вона виконує подвійну функцію: канали пропускають потоки, а бункери поглинають і породжують сплески потоків. Виявлено, що теоретична модель транспортної системи в першу чергу відображає принципи взаємодії елементів і підсистем в ній, а також здійснює вплив управління на протікаючі процеси. Розглянуто різні комбінації елементів при представленні реальних транспортних систем. З'ясовано, що чим нерівномірніше вхідний потік і чим більше демпфуюча здатність бункера, тим більшою може бути різниця в пропускній спроможності каналів, що стикаються, в структурі транспортних систем. Наведено, що у ланцюзі з каналів і бункерів результуюча пропускна спроможність транспортної системи залежить від місткості бункерів, через їх дезорганічний вплив на показники потоку. В той же час сукупна ефективна місткість ланцюга залежить від пропускної спроможності каналів, бо їх параметри повинні відповідати характеру розподілених сплесків потоку в транспортній системі.

транспортна система, теоретична модель, взаємодія елементів, канал, бункер, пропускна спроможність, сплески потоків

Постановка проблеми. Численні дослідження організаційних транспортних систем свідчать, що чим вищий рівень їх організації, тим все ближче вони по принципах побудови і функціонування і тим більш різноманітними стають форми їх прояву в різному середовищі [1-3]. При цьому спостерігається одноманітність принципів і різноманітність форм їх прояву.

Теоретична модель транспортної системи повинна відбивати, в основному, принципи, закономірності [4]. Не розуміючи їх, неможливо грамотно вибрати конкретну модель транспортної системи і коректно трактувати результати її моделювання. Якщо дослідник не знає внутрішніх закономірностей об'єкту, то не можливо довіряти різним виведенням і припущенням на підставі статистики.

Теоретична модель задає напрям дослідження транспортної системи загалом, але не дає прояву того або іншого організаційного принципу побудови в конкретних обставинах. Тому важливість побудови теоретичної моделі транспортної системи, як сукупності взаємодіючих і взаємоперетворюючих елементів і підсистем на сьогодні є безумовно актуальною, оскільки вона повинна представляти в абстрактному виді основні властивості і закономірності таких транспортних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У реальній транспортній системі можуть зустрічатися різні комбінації взаємодіючих і взаємоперетворюючих елементів і підсистем [5]. Найбільш очевидним є поєднання двох каналів, розташованих послідовно. Проблема їх взаємодії розглядається рядом учених з різних позицій і полягає у термінах різних підходів.

Так при проектуванні автостанцій вважається, що пропускна спроможність пасажиропотоку на подальшому етапі його перетворення має бути не менша, ніж на попередньому потоку [6]. Виходячи з теорії масового обслуговування цей принцип трансформовано з «не менше» в строге «більше» [1, 2]. Методом імітаційного моделювання встановлено [1, 3], що при одному і тому ж завантаженні вхідні потоки викликають більші затримки, ніж вихідні. У роботі [5] стверджується, що стійкість досягається, якщо кількість шляхів в автопарку прийому більша, ніж в автопарку відправлення.

В цьому випадку кожен елемент структури транспортної системи розглядається з точки зору дії на потік - він переміщає потік або впливає на його властивості [7, 8]. Тут початковим є твердження, що в загальному випадку потік втрачає свою організацію, а отже підвищується ентропія - дезорганізація. Відновлення організації потіку або іншій властивості відбувається завдяки активній дії елементу структури з витратою енергії і засобів при якій елементи відрізняються один від одного тільки способами впливу на потік, що дозволяє розкрити глибинні закономірності взаємодії структури і потоків [9, 10].

Постановка завдання. Метою даної роботи є розробка теоретичної моделі, що дає можливість описати процеси взаємодії і взаємоперетворення елементів і підсистем та дозволяє прояснити важливі ефекти в різних транспортних системах.

Виклад основного матеріалу.

Головними процесами, які повинні бути відображені в теоретичній моделі (рис. 1), є:

- взаємодія елементів в транспортній системі;
- взаємодія підсистем;
- сутнісні риси процесу просування і перетворення транспортних потоків;
- завдання і суть управління в транспортних системах.



Рисунок 1 – Процеси в транспортній системі, які відображені в теоретичній моделі
Джерело: розроблено автором

При моделюванні транспортних систем достатньо, щоб грамотно організувати процеси їх розрахунку та оптимізації за допомогою правильно вибраних або побудованих моделей та зробити обґрунтовані висновки за результатами моделювання.

З абстрактної точки зору, основним завданням транспорту є зв'язок постачальника і споживача через транспортні потоки, транспортний зв'язок яких повинен забезпечити їх взаємодію і взаємоперетворення. Оскільки в загальному випадку ритми їх роботи не співпадають, то щоб прийняти потоки в ритмі зручному для відправника і видати їх в ритмі зручному для одержувача, транспортна система повинна уміти грамотно перетворити потоки. Останнє полягає у поглинанні і породжуванні сплесків потоку.

В транспортній системі виконується подвійна функція: по каналах просуваються транспортні потоки; по бункерах відбувається поглинання і породження їх сплесків. Отже в якості абстрактних елементів теоретичної моделі вибрані канали і бункери.

Теоретична модель транспортної системи в першу чергу повинна реалізувати принципи взаємодії її елементів і підсистем, а також здійснювати управління своїми діями на протікаючі процеси. Вони складають основні фактори, що визначають вибір рішень по поліпшенню функціонування транспортної системи. При цьому посилюють ті або інші елементи для усунення «вузьких місць», підвищують загальну продуктивність, збільшують адаптивні властивості транспортної системи для роботи в умовах високої динамічності.

Від взаємодії елементів в структурі транспортної системи залежить протікання в ній технологічних процесів. У теоретичній моделі транспортна система уявляється сукупністю каналів і бункерів, як елементів (рис. 2).

На практиці каналами є шляхи переміщення, напрямки, перегони і так далі. Бункерами можуть виступати навантажувально-розвантажувальні пункти, транспортні вузли, склади, станції та ін.

Функціональні призначення каналів і бункерів взаємно протилежні. Чим більш сильніше виражені властивості каналу – тим швидше йде просування потоків, чим більше розвинені властивості бункера – тим більше нерівномірні потоки можуть трансформуватися, але тим меншою буде їх узагальнена швидкість. Оптимальне поєднання зазначених елементів дає більш гармонійну структуру транспортної системи.

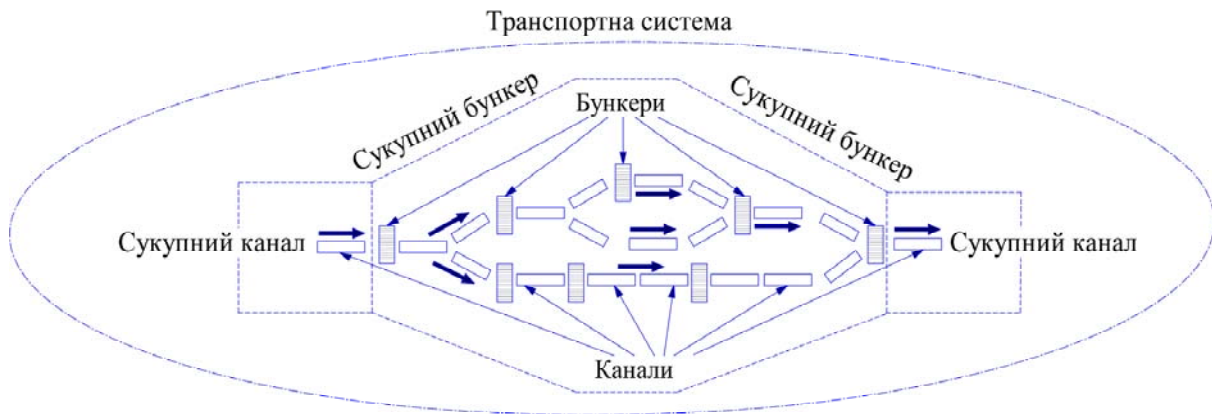


Рисунок 2 - Теоретична модель транспортної системи як сукупності каналів і бункерів

Джерело: розроблено автором

Подвійна функція транспортної системи як розгалуженій мережі каналів і як демпферів, перетворювачів ритмів вхідних потоків в ритми вихідних в бункерах, може ефективно виконуватися тільки при грамотно побудованій структурі і налаштованій ефективній технології. При налагодженій технології елементи канали і бункери мають цілком визначені пропускні спроможності для потоків із заданими характеристиками. Сукупна пропускна спроможність вузлів D у транспортній системі залежить від: пропускної спроможності каналів d_{ij} ; місткості бункерів q_l ; якості структури S підсистем і систем; характеристик потоку - нерівномірності, його структури та ін.

$$D = f_1(\{d_{ij}\}, \{q_l\}, S, X) \quad (1)$$

Властивість поглинати і породжувати сплески потоків в транспортній системі характеризується сукупною місткістю, яка є функцією місткості бункерів q_l . Враховується також, як вони пов'язані в структуру S і якими каналами d_{ip} характеру потоку X , а так само розвиненості управління, тобто величини аналітичних створюваних резервів місткості:

$$Q = f_2(\{q_l\}, \{d_{ij}\}, S, X, R) \quad (2)$$

Грамотно побудована структура S транспортної системи забезпечує задану сукупну пропускну спроможність і необхідну місткість при найменших витратах. Як правило, це припускає максимізацію динамічних резервів R . При цьому ставиться наступне завдання:

$$F = \sum_i \sum_j (d_{ij} \cdot C_{ij}) + \sum_l (q_l \cdot C_l) \rightarrow \min, \quad (3)$$

при обмеженнях $D > D_1$, $Q > Q_1$, D_1 і Q_1 - задані сукупні пропускні здатності і місткості.

За пропонованим підходом транспортна система описується у вигляді структури, що складається з сукупності каналів і бункерів, по яким пропускаються деякі потоки.

Канал як елемент транспортної системи має наступні параметри (рис. 3 а): вхідний потік $w(t)$; вихідний потік $u(t)$; час ходу $r(t)$; пропускна спроможність U .

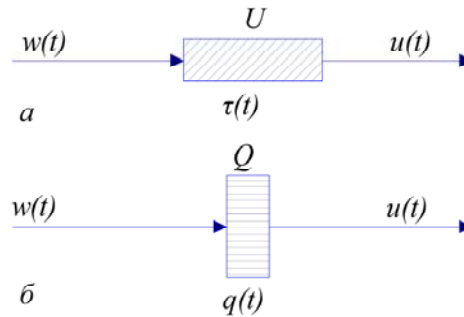


Рисунок 3 - Схематичне представлення елементів транспортної системи: каналу (а) і бункеру (б)
Джерело: розроблено автором

Дослід свідчить, що вхідні і вихідні потоки не перевищують пропускної спроможності каналу, змінюються в часі. Сукупний вихідний потік дорівнює сукупному вхідному з деякою різницею в часі $\tau(t)$. Крім того, на відміну від пропускної спроможності, час ходу по каналу не є постійною величиною. Для каналу характерні наступні співвідношення:

$$w(t) \leq U, \quad u(t) \leq U, \quad u(t) = w(t - \tau(t)). \quad (4)$$

Через непостійність часу ходу при проходженні через канал потік стає більше дезорганізованим. Тому для просування потоку в транспортній системі потрібний резерв пропускної спроможності:

$$\tilde{u} = \bar{u}(1 + \rho) \leq U, \quad (5)$$

де $\tilde{u}$ – розрахунковий потік.

Показник дезорганізації потоку ρ можливо розглядати як аналог коефіцієнта нерівномірності k_n . Відомо, що на виході з каналу дезорганізація зростає:

$$\rho_u = \rho_w + \Delta\rho. \quad (6)$$

Бункери як елементи транспортної системи описуються наступними параметрами (рис. 3 б): вхідний потік $w(t)$; вихідний потік $u(t)$; поточна місткість або стан $q(t)$; гранична місткість (місткість) Q .

Для бункерів слід дотримуватися наступних умов:

$$\begin{aligned} q(t) &\leq Q, \text{ для всіх } t, \\ q(t+1) &= q(t) + w(t) - u(t). \end{aligned} \quad (7)$$

Зазначимо, що бункер на відміну від каналу, здатний знижувати нерівномірність потоку, тобто відновлювати його організацію:

$$\rho_u = \rho_w - \Delta\rho. \quad (8)$$

Це свідчить, що вихідний потік з бункера є керованим, а величина $\Delta\rho$ залежить від місткості бункера і його заповненості.

Якщо відбувається стикування двох каналів (рис. 4), то вважається, що вихідний потік першого дорівнює вхідному потоку другого:

$$u_1(t) = w_2(t). \quad (9)$$

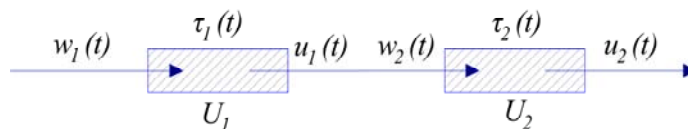


Рисунок 4 - Схема взаємодії двох каналів в потоці транспортної системи
Джерело: розроблено автором

Запишемо основні співвідношення:

$$\begin{aligned}\tilde{u}_1 &\leq U_1, \\ \tilde{u}_2 &\leq U_2, \\ \tilde{u}_1 &= \bar{u}_1 \cdot (1 + \rho), \\ \tilde{u}_2 &= \bar{u}_2 \cdot (1 + \rho).\end{aligned}\quad (10)$$

З них випливає, що у середині потоки каналів рівні між собою:

$$\bar{u}_1 = \bar{u}_2. \quad (11)$$

В той час показник їх дезорганізації зростає:

$$\begin{aligned}\rho_{u1} &= \rho_{w1} + \Delta\rho_1, \\ \rho_{u2} &= \rho_{w2} + \Delta\rho_2.\end{aligned}\quad (12)$$

Оскільки $u_1(t) = w_2(t)$ і $\rho_{u2} = \rho_{w1}$, то

$$\rho_{u2} = \rho_{u1} + \Delta\rho_2. \quad (13)$$

Таким чином

$$\tilde{u}_2 > \tilde{u}_1, \quad (14)$$

$$\text{тобто } U_2 > U_1. \quad (15)$$

Таким чином, при стикуванні двох каналів з «перешкодами» для стійкої роботи пропускна спроможність подальшого каналу має бути більша, ніж попереднього. Звідси випливає, що транспортний об'єкт можна без великої похибки представити у вигляді послідовності каналів, то правомірною є вимога: на кожному подальшому етапі трансформування потоку пропускна спроможність має бути більша, ніж на попередньому (рис. 5).

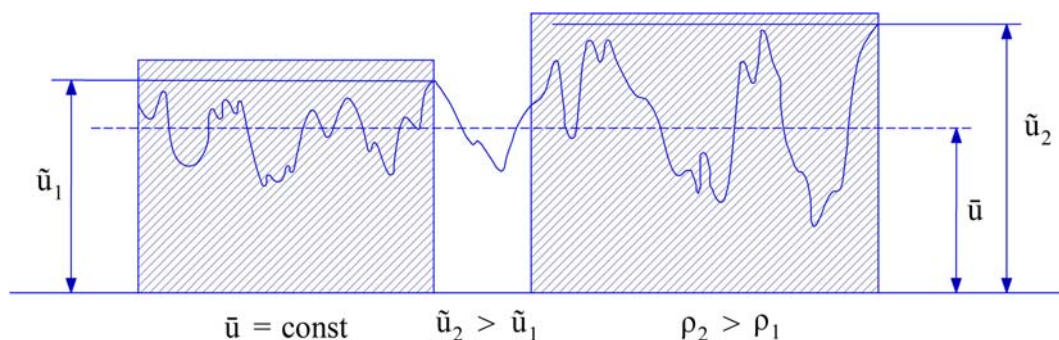


Рисунок 5 - Схема ділянки двох погоджених каналів

Джерело: розроблено автором

Канали є погодженими, якщо їх ефективні пропускні спроможності, з урахуванням характеристик потоку, рівні.

$$\bar{u}_1 = \bar{u}_2, \text{ а } \bar{u}_1 = \frac{\tilde{u}_1}{\rho_1}, \bar{u}_2 = \frac{\tilde{u}_2}{\rho_2},$$

Виходячи з попереднього, випливає умова узгодженості каналів:

$$\frac{U_1}{1 + \rho_1} = \frac{U_2}{1 + \rho_2} = \dots = \frac{U_j}{1 + \rho_j} = \text{const}. \quad (16)$$

Здебільшого на практиці зустрічаються ситуації, коли канали розгалужуються (рис. 6).

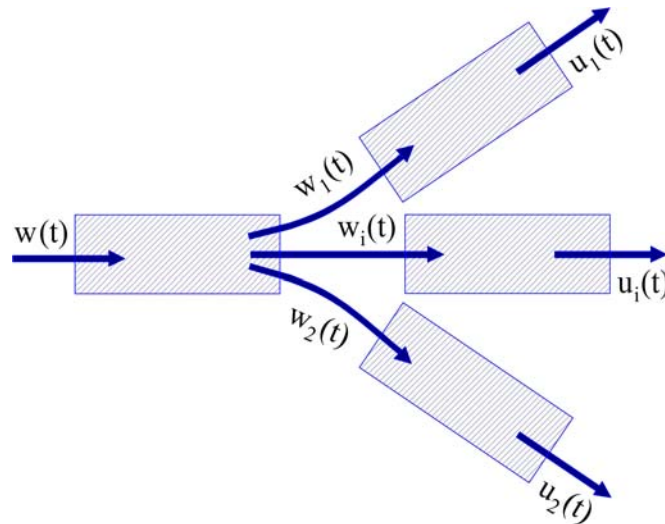


Рисунок 6 - Схематичне відображення стикування розгалужених каналів
Джерело: розроблено автором

Оскільки для розгалужених каналів правомірна рівність:

$$\bar{u} = \bar{u}_1 + \bar{u}_2,$$

або в узагальненому випадку: $\bar{u} = \sum_{i=1}^n \bar{u}_i$

Тоді можна записати:

$$\frac{U_1}{1 + \rho_1} = \frac{U_2}{1 + \rho_2} + \frac{U_2}{1 + \rho_2},$$

або в узагальненому випадку: $\frac{U}{1 + \rho} = \sum_{i=1}^n \frac{\bar{U}_i}{1 + \rho}$. (17)

Відповідно до теорії ймовірності, якщо коливання потоків випадкові, то їх злиття знижує нерівномірність. Оскільки при цьому маємо:

$$\rho > \rho_1 \text{ і } \rho_2 > \rho_1, \Rightarrow U_1 + U_2 > U.$$

Такий висновок підтверджується і на практиці.

Потік, відповідний до пункту розгалуження, необхідно розглядати як сукупність струменів. Сумарна потрібна пропускна спроможність розгалуженої мережі після стику тим менше, чим менше середньозважена по струменях нерівномірність потоку, що входить:

$$\tilde{K}_H = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Hi} \cdot \bar{n}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{n}_i}; \quad (18)$$

$$\tilde{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}. \quad (19)$$

де n_i – струмінь у відповідному до пункту розгалуження потоці.

При взаємодії елементів транспортної системи або підсистем "канал-бункер-канал" можливі два основні випадки:

- бункер поглинає сплески;

- бункер породжує сплески.

Для першого випадку правомірні співвідношення:

$$\begin{aligned}\rho_{u1} &= \rho_{w1} + \Delta\rho_1, & \rho_{u1} &= \rho_{w2}, \\ \rho_{u2} &= \rho_{w2} + \Delta\rho_2, & \rho_{w3} &= \rho_{u2} \\ \rho_{u3} &= \rho_{w3} + \Delta\rho_3.\end{aligned}\quad (20)$$

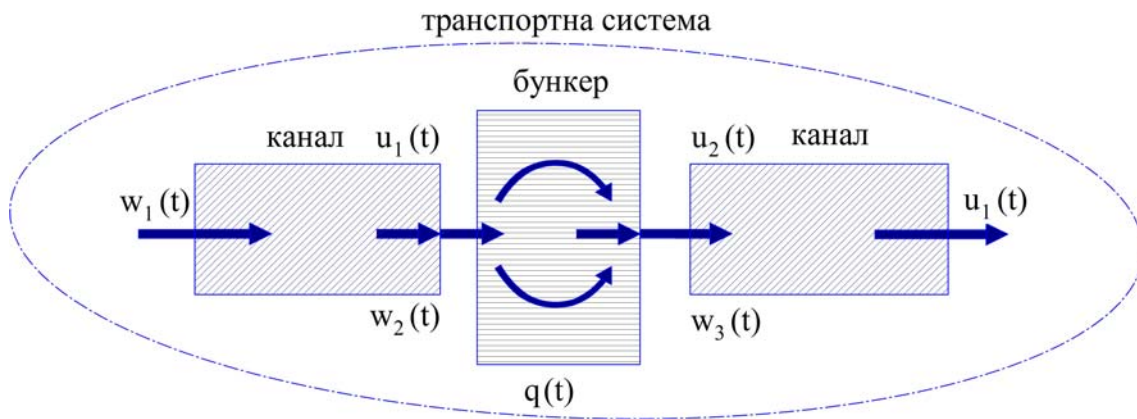


Рисунок 7 – Схема взаємодії елементів підсистеми «канал - бункер - канал»

Джерело: розроблено автором

Якщо місткість бункера достатня, то він може повністю погасити сплески і перетворювати потік з нерівномірного в рівномірний:

$$\Delta\rho_2 > \rho_{w2}, \text{ то } \rho_{w3} = \rho_{u2} = 0, \rho_{u3} = \Delta\rho_3. \quad (21)$$

Зазначимо, що міра випадковості потоку в транспортній системі (підсистемі) визначається тільки перешкодами вихідного каналу. В останньому каналі відбувається вплив усіх попередніх каналів. Це є ймовірним, оскільки:

$$\Delta\rho_3 \ll \rho_{w2}, \text{ то впливає } U_3 \ll U_1. \quad (22)$$

При цьому важливим є те, що бункер погоджує два канали з різною пропускнуною спроможністю (рис. 8).

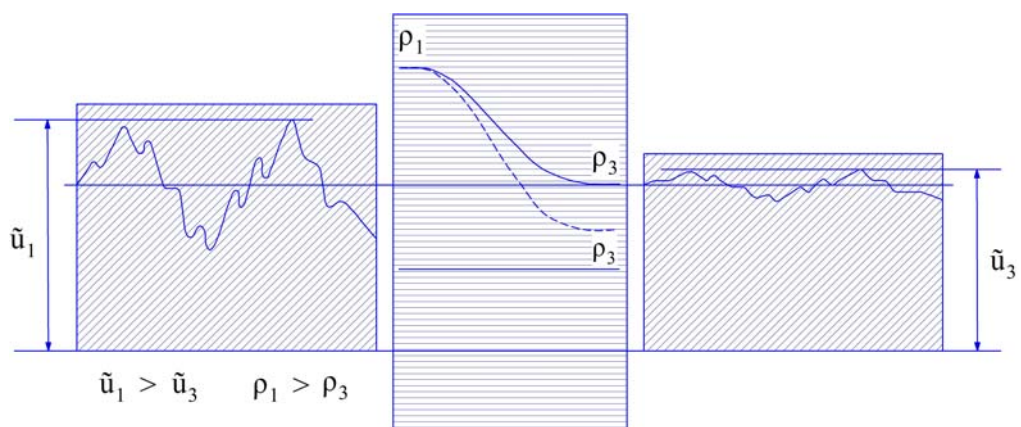


Рисунок 8 – Погодження функціонування в транспортній системі (підсистемі) елементів бункеру з каналами з різної пропускнуною здатності

Джерело: розроблено автором

При цьому справедливе співвідношення:

$$\frac{U_3}{1 + \rho_3} = \frac{U_1}{1 + \rho_1}. \quad (23)$$

Якщо завданням є звуження до узгодження входу і виходу бункера, то справджується співвідношення:

$$\frac{U_{\text{вх}}}{1 + \rho_{\text{вх}}} = \frac{U_{\text{вих}}}{1 + \rho_{\text{вих}} - \Delta\rho}. \quad (24)$$

Зміст його полягає в наступному: чим нерівномірніше вхідний потік і чим більше демпфіруюча здатність бункера $\Delta\rho$, тим більшою може бути різниця в пропускній спроможності каналів, що стикуються.

Це означає, що якщо в транспортній системі враховувати вплив резервних шляхів потоків, то еквівалентна (результуюча) пропускна спроможність визначатиметься елементом не з мінімальною, а з мінімальною ефективною пропускною спроможністю (з урахуванням характеристик потоку). Зазначене може пояснити результати імітаційного моделювання, коли найбільші затримки викликає не найзавантаженіший елемент, а тому вхідні потоки при рівному завантаженні викликають більші затримки, ніж вихідні.

З наведених залежностей випливають важливі наслідки. У ланцюзі та підсистемах з каналів і бункерів результуюча пропускна спроможність потоків залежить, в основному, від місткості бункерів. В той же час сукупна ефективна місткість залежить від пропускної спроможності каналів, бо їх параметри повинні відповідати характеру розподіленого сплеску потоків в транспортній системі.

Висновки.

1. Представлено теоретичну модель транспортної системи як сукупності каналів і бункерів при просуванні потоків.

2. Визначено, що до основних процесів транспортної системи слід віднести: взаємодію елементів, взаємодію підсистем та управління, просування і трансформування потоків різних за змістом і природою.

3. Використання понять «канал» і «бункер» дозволяє з'ясувати важливі ефекти в різних транспортних системах й підвищити їх надійність та ефективність.

Список літератури

1. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія / під заг. ред. Ауліна В.В. Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.
2. Бурименко Ю.И., Галан Л.В., Лебедева И.Ю., Щуровская А.Ю. Основы теории систем и системного анализа: учеб. пособ. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2015. 136 с.
3. Кунда Н.Т. Дослідження операцій у транспортних системах. Київ: Слово, 2008. 400 с.
4. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. №1(11). С.5-10.
5. Дивак М.П., Порплиця Н.П., Дивак Т.М. Ідентифікація дискретних моделей динамічних систем з інтервальними даними: монографія. Тернопіль: ВПЦ «Економічна думка ТНЕУ», 2018. 220 с.
6. Шпильовий І. Ф. Методичні основи управління системами міських пасажирських перевезень : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.22.01. Київ, 2010. 23 с.
7. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Великодний Д.О. Методологія підходів до дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2017. №2. С. 4-14.
8. Голуб Д.В. Методи та підходи до моделювання ефективності цілей операцій в транспортних системах. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36), ч. 1. С. 317-327.

9. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методичні аспекти кількісної, якісної та часової оцінки параметрів надійності функціонування транспортних систем. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2018. Вип. 2 (82). С. 3-10.
10. Голуб Д.В., Аулін В.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Реалізація системного підходу при визначенні ефективності функціонування складних регіональних транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. №1 (15). С. 44-51.

References

1. Aulin, V.V., Golub, D.V., Grinkiv, A.V. & Lisenko, S.V. (2017). *Metodologichni i teoretichni osnovi zabezpechennya ta pidvishennya nadijnosti funkcionuvannya avtomobilnih transportnih sistem*. [Methodological and theoretical bases of maintenance and increase of reliability of functioning of automobile transport systems]. Aulina V.V. (Ed.). Kropivnickij: Vidavnictvo TOV "KOD" [in Ukrainian].
2. Burimenko, Ju.I., Galan, L.V., Lebedeva, I.Ju. & Shhurovskaj,a A.Ju. (2015). *Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza* [Fundamentals of systems theory and systems analysis] . Odessa: ONAS im. A.S. Popova [in Russian].
3. Kunda, N.T. (2008). *Doslidzhennya operacij u transportnih sistemah* [Research of operations in transport systems]. Kiyiv: Slovo [in Ukrainian].
4. Aulin, V.V., Holub, D.V., Bilichenko, V.V. & Zamurenko, A.S. (2020). Formuvannia pokaznykiv otsinky efektyvnosti transportnoho protsesu perevezen [Formation of indicators for assessing the efficiency of the transport process]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu – Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*, 1(11), 5-10 [in Ukrainian].
5. Divak, M.P., Porplicya, N.P. & Divak, T.M. (2018). *Identifikaciya diskretnih modelej dinamichnih sistem z intervalnimi danimi: monografiya* [Identification of discrete models of dynamic systems with interval data]. Ternopil: VPC «Ekonomichna dumka TNEU» [in Ukrainian].
6. Shpylovyi, I. F. (2010). *Metodychni osnovy upravlinnia systemamy miskykh pasazhyrskykh perevezen* [Methodological foundations of urban passenger transport system management]. *Extended abstract of D'ectors thesis*. 05.22.01. Kyiv [in Ukrainian].
7. Aulin, V.V., Holub, D.V., Bilichenko, V.V. & Velykodnyj, D.O. (2017). Metodolohiia pidkhodiv do doslidzhennia shliakhiv i sukupnosti faktoriv zabezpechennia nalezhnoho rivnia efektyvnosti i nadijnosti transportnykh system [Methodology of coming to the end of the road and success factors in securing the proper level of efficiency and reliability of transport systems]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu – Bulletin of Mechanical Engineering and Transport* . 2, 4-14. [in Ukrainian].
8. Holub, D.V. (2022). Metody ta pidkhody do modeliuvannia efektyvnosti tsilei operatsii v transportnykh systemakh [Methods and Approaches to Modeling the Effectiveness of Operational Objectives in Transport Systems]. *Tsentrlnoukraiynskiyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, Vol. 5(36), part 1*, 317-327 [in Ukrainian].
9. Aulin, V.V. & Holub, D.V. (2018). Metodychni aspekty kilkisnoi, yakisnoi ta chasovoi otsinky parametriv nadiinosti funktsionuvannia transportnykh system [Methodical aspects of the quantitative, qualitative and hourly evaluation of the parameters of the reliability of the functioning of transport systems]. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu . Serii: Tekhnichni nauky – The Journal of Zhytomyr State Technological University. Engineering, Issue 2 (82)*, 3-10. [in Ukrainian].
11. Holub, D.V., Aulin, V.V., Bilichenko, V.V. & Zamurenko A.S. (2020). Realizatsiia systemnoho pidkhodu pry vyznachenni efektyvnosti funktsionuvannia skladnykh rehionalnykh transportnykh system [Implementation of a system approach in determining the effectiveness of functioning of complex regional transport systems]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu – Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*, 1 (15), 44-51. [in Ukrainian].

Dmytro Holub, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

A theoretical Model of the Transport System as a Set of Interacting and Mutually Transforming Elements and Subsystems

A theoretical model is presented, which makes it possible to implement the description of processes in the transport system and subsystems using the interaction of such elements as a set of channels and bunkers. This makes it possible to find out important effects in various transport systems, including regional ones.

It is assumed that there is a structure of the transport system, which should be able to transform certain flows, and therefore absorb and generate their surges. It is substantiated that "channels" and "hoppers" can be

abstract elements of the theoretical model of the transport system, since it performs a double function: channels pass flows, and bunkers absorb and generate bursts of flows. It was found that the theoretical model of the transport system primarily reflects the principles of interaction of elements and subsystems in it, and also exerts a management influence on the ongoing processes. Different combinations of elements are considered when representing real transport systems. It was found that the more uneven the incoming flow and the greater the damping capacity of the hopper, the greater the difference in the capacity of connecting channels in the structure of transport systems can be.

It is stated that in the chain of channels and bunkers, the resulting capacity of the transport system depends on the capacity of the bunkers, due to their disorganizing influence on the flow indicators. At the same time, the total effective capacity of the chain depends on the capacity of the channels, because their parameters must correspond to the nature of distributed bursts of flow in the transport system.

transport system, theoretical model, interaction of elements, channel, bunker, carrying capacity, flow surges

Одержано (Received) 22.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 27.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 004.89

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.335-346](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.335-346)

О.М. Дреєв, доц., канд. техн. наук, **О.П. Доренський**, доц., канд. техн. наук,
Г.М. Дреєва

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: dreevom@kntu.kr.ua, dorenskyiop@kntu.kr.ua, gannadreeva@gmail.com

Нейромережевий метод виявлення текстурних аномалій у цифровому зображенні

Сучасні системи комп'ютерного зору часто використовують для оброблення цифрового зображення нейронні мережі. Однак для цього потрібно створювати бази даних для їх навчання, що в здебільшого складає переважну долю ресурсів ІТ-проєкту. Тож актуальною задачею, аспекти якої розглянуто в цій статті, є методи підвищення якості навчання нейронних мереж на даних меншого обсягу. Також актуальним є й можливість оброблення даних, характер яких не був наявним в початковій базі прикладів для навчання. Для розв'язання цієї науково-технічної задачі – підвищення якості сегментації зображення за присутніми текстурними особливостями, – в роботі пропонується використовувати як вхідну інформацію до нейронної мережі не лише безпосередньо цифрове зображення, а й його локальні статистичні показники. Означене розширює інформативність вхідної інформації і нейронній мережі не потрібно вчитися для їх виділення. Для цього достатньо прийняти рішення щодо їх використання або нехтування як ознаками. Також для виділення текстурних особливостей запропоновано використовувати самоорганізаційні вихідні шари, які здатні працювати як класифікатори, що групують елементи за схожими групами ознак. У праці показано застосовність запропонованих рішень до текстурної сегментації цифрових зображень, зокрема картографічних фотографічних зображень.

нейронна мережа, цифрове зображення, сегментація, текстура, нейронна мережа Кохонена

Постановка проблеми. Комп'ютерні системи оброблення цифрових зображень, зокрема фотографічних, широко використовують нейронні мережі. До задач комп'ютерного зору відносять пошук об'єктів на зображенні та їх ідентифікація, виділення особливих зон на зображенні, виділення сегментів зі схожою текстурою [1]. Зокрема виділення текстурних особливостей та їх повторення використано в системах копіювання стилістики зображення, для генерування неповторних текстур в синтетичному цифрозображенні [2]. Також текстурна сегментація може використовувати задля виділення особливостей на аерофотознімках; означене дозволяє частково автоматизувати виділення штучних об'єктів та топографічних особливостей ландшафту [3]. Особливо актуальним в означеному є пошук і виявлення об'єктів на знімках невидимого діапазону, в інфрачервоній або ультрафіолетовій зоні, коли поняття кольору з погляду людини не існує.

Системи комп'ютерного зору для оброблення фотографічного зображення на основі штучних нейронних мереж (ШНМ) потребують значних трудових витрат на створення бази знань для навчання. Така база даних повинна містити вхідне зображення та результат обробки, який створює експерт за допомогою ручних або напівавтоматичних програмних засобів. Звісно, ручна праця є повільною та може містити людські помилки, що негативно впливатиме на результат навчання ШНМ. Іноді системи дозволяють відокремлювати особливості зображення ідентифікації цих особливостей. Наприклад, автоматичне виділення шляхів з асфальтним покриттям під час побудови прикладів для навчання ШНМ з подальшою ручною класифікацією значно

прискорить процес підготовки даних для навчання. Подібні системи проєктуються не лише для систем оптичного картографування, а й для систем радіолокаційної розвідки [4]. Тому в роботі поставлено за мету отримати систему текстурної сегментації зображення для подальшої ручної класифікації виділених елементів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій щодо текстурної сегментації фотографічних зображень показав широке коло шляхів застосування вказаної операції. В праці [5] використано статистичні властивості фрагментів зображення з подальшим відбором значущих ознак для виділення ділянок рентгеновського дослідження ураження легень вірусом. У подальшому дослідженні [6] використано цифрове зображення з наступною сегментацією для виділення ураження шкіри людини. Мультиспектральні фотографічні зображення дають можливість використати нейронні мережі для пошуку грибкових уражень культурних рослин [7]. В загальному підсумку роботи, присвячені сегментації зображення, можна поділити за такими критеріями:

- використання кольорового зображення [8], градації сірого у видимому діапазоні [9] та мультиспектральні знімки [10];

- визначення належності фрагменту зображення до певного класу за статистичними ознаками [11], за допомогою навченої нейронної мережі [12]; окремо слід виділити алгоритми, які спираються на визначені фізичні властивості із зображення [13].

Розглянуті системи призначені для визначення властивостей, які є виділені в навчальному корпусі. Тобто системи сегментації не можуть сегментувати на зображенні об'єкти, які під час навчання системи не були представлені. Тому є актуальною задача виділення на зображенні схожих за текстурою зон з виділенням окремих фрагментів, які мають локальні особливості, що не представлені на інших ділянках зображення.

Постановка мети й задач дослідження. В результаті аналізу можливостей до сегментації цифрового зображення було встановлено, що існують методи, які ґрунтуються на алгоритмах кластеризації фрагментів зображення як за статистичними величинами отриманих із фрагментів зображення, так і на кластеризації результатів роботи нейронних мереж, які попередньо навчені для класифікації зображення на інших відомих корпусах розмічених зображень. Тож виявлено недостатній стан дослідження виявлення пошуку відхилення від норми в текстурних елементах зображення, що вступає в протиріччя до вимог пошуку невідомих елементів на цифрових зображеннях невеликого розміру (рис. 1).



Рисунок 1 – Приклад аерофото, на якому потрібно позначити зони нетипового ландшафту
Джерело: [14]

Для вирішення визначеного протиріччя поставлено за мету створення й реалізацію методу визначення частин зображення, які за текстурою виділяються на загальному фоні і можуть трактуватися як відхилення від типового сигналу локального розподілення яскравості та кольору на цифровому зображенні. Тож об'єктом дослідження є процес сегментації зображення для пошуку відхилень текстури від типових випадків, предметом – методи сегментації зображення для виділення відхилень текстурних особливостей від норми.

Сформульована мета дослідження містить ряд невизначеностей, які слід вирішити шляхом розв'язування таких науково-технічних задач:

1) виконати аналіз методів сегментації зображення на застосовність до виділення нетипових текстурних особливостей;

2) синтезувати метод, придатний до виділення нетипових текстурних особливостей;

3) визначити застосовність запропонованого методу на тестових прикладах.

Виклад основного матеріалу. За результатами дослідження відомих методів проведено їх класифікацію за принципом їхньої дії. При цьому враховано двоетапність роботи методики сегментації зображення, а саме підготовки вектора ознак для фрагментів зображення та на отримання класу для фрагменту зображення на основі вектора виділених ознак (рис. 2, де пунктиром показано додаткові дії, присутність яких не є обов'язкова в побудованому алгоритмі).

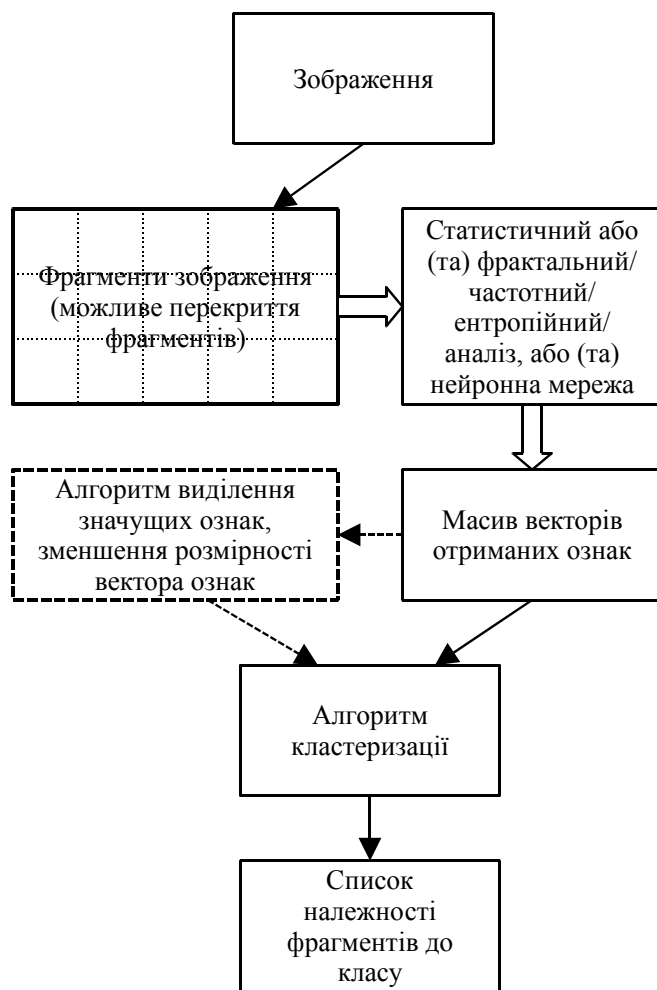


Рисунок 2 – Методика розподілу фрагментів зображення на класи
Джерело: розроблено авторами

Алгоритми кластеризації в своїй більшості вимагають визначеної заздалегідь кількості використовуваних класів [15]. Однак на практиці виділення кількості класів є неоднозначною задачею. Тому у випадках, коли кількість класів невідома, застосовується інша множина методів кластеризації, наприклад, самоорганізаційні нейронні мережі [15].

Поставлена мета для виділення нетипових об'єктів на зображенні, які відрізняються від фону текстурними особливостями, має властивість малої кількості включення. Іноді така особливість може бути взагалі одиничною. Тому стандартні методи кластеризації будуть відносити об'єкти з низькою частотою потрапляння в поле зору до інших близьких за властивостями кластерів. Звідси випливає вимога до методу кластеризації: автоматичне визначення кількості кластерів з визначенням явища “викидів” – виділення окремих нетипових об'єктів, які в прикладах для навчання кластеризатора були відсутні або представлені в одиничних кількостях [16].

Згідно з поставленими вимогами до алгоритму сегментації зображення, який є варіацією методики, схему якої представлено на рис. 2, сформульовано такі вимоги:

1) фрагменти зображення повинні бути такого розміру, який характерний розміру деталей, що є в приблизних розмірах об'єктів зацікавленості;

2) з причини, що заздалегідь невідомі властивості об'єктів, які є відхиленнями, попереднє виділення статистично значущих властивостей та навчання нейронних мереж є неможливим, можливе використання нейронних мереж, що навчаються без вчителя, та попередньо навчених згорткових частин нейронних мереж для класифікації;

3) статистичні характеристики фрагментів, як і вектори ознак з виходу нейронних мереж приймаються як вектори ознак, які будуть вхідним матеріалом для класифікаторів з метою виділення відхилень;

4) визначаються за векторами властивостей ті фрагменти зображення, які є нехарактерними для зображення, або групи зображень, які підлягають аналізуванню.

В результаті визначених вимог, які враховують можливості розглянутих в огляді літератури методів, відокремлюються за вимогами алгоритми, здатні розв'язати поставлену задачу. Зокрема, перший пункт є задачею, яка розв'язується в межах використання базових алгоритмів [17]. Невизначеністю або варіативною частиною алгоритму є задання розміру фрагментів зображення, які потрібно формувати для аналізу. Позначимо цю величину як d . Нехай ця величина задається експертом, який розраховує розмір за відомими розмірами об'єктів, які шукатимуться на зображенні як текстура, що рідко зустрічається.

Наступний, другий, пункт містить нетривіальну задачу переходу від зображення розміром $d \times d$ пікселів до вектора ознак. Відповідно до сформульованої мети роботи, ознаки повинні містити характерні риси текстури інваріантні до перетворень зсуву та обертання. Звісно, ці вимоги є наслідком уявного експерименту, який розкриває, що, наприклад, чагарник не має бути прийнятий різним при зсувах камери або фрагменту зображення. У зв'язку з цим, авторами звернуто увагу на роботи, які пов'язані з аналізуванням цифрового зображення як текстури. Тож за аналогією обрано статистичні ознаки, які змінюють своє значення за розподілом яскравості пікселів фрагменту зображення, а не за їх розташуванням [12]. Також прийнято за ефективне використання текстурних ідентифікаторів з систем, які ґрунтуються на штучних нейронних мережах для перенесення стилю зображення [2]: матриць Грама для масивів отриманих зі згорткових шарів штучних нейронних мереж для класифікування цифрового зображення.

Отримані вектори ознак мають досить значну вимірність, коли кількість коефіцієнтів у векторі ознак може сягати кілька десятків, а іноді й сотень. В таких умовах робота алгоритмів автоматичної класифікації є повільною та результати надаються з малою точністю [18]. Тому у цьому випадку слід використати алгоритми зменшення розмірностей, коли від вектора ознак залишають лише значущі параметри. Наприклад, достатність для практичного застосування показали лінійні методи головних компонент (*Principal Components Analysis, PCA*) [19]. Однак на практиці, коли вхідних даних для обробки є значна кількість, простір кластерів суттєво відрізняється від лінійних залежностей, а кращі результати дають системи самоорганізації, наприклад, нейронні мережі Кохонена [20, 21].

За отриманими векторами ознак можливо попередньо зі зменшенням розмірності, будується кластеризація. Як зазначено в четвертому пункті вимог, алгоритм кластеризації повинен давати оцінку належності об'єкта до певного класу, де нетипові об'єкти будуть мати слабку належність до всіх основних наявних класів. Також припустимо використання інших методик фільтрування викидів. Задля спрощення остаточного алгоритму у цій роботі використано для пошуку викидів результат виходу мережі Кохонена. Всі вхідні вектори ознак перетворювалися у двовимірні координати виходу нейрона-переможця, що для множини об'єктів складало розподілення ймовірності знаходження об'єкта за виходами мережі Кохонена. У випадках виявлення нейрона-переможця з низькою ймовірністю активації вважається, що на вхід надійшов об'єкт, який є нетиповим для розглянутого цифрового зображення.

Система з мережею Кохонена розглядалася у двох випадках: перший випадок вимагав, щоб мережа навчалася з початку під час аналізування кожного набору однотипних цифрових зображень; в іншому випадку мережа для аналізування наступного набору зображень бралася вже навченою на попередніх зображеннях. В першому кейсі система дає хороші результати для кожного досить великого набору однотипних зображень, в яких шукаються аномалії, і при цьому від набору до набору характер зображень мав значні відмінності. В другому – значно кращі результати отримувалися для невеликих наборів вхідних зображень, але їх характер залишався незмінним від попереднього сеансу аналізування до наступного.

За результатами дослідження схема, представлена на рис. 2, була уточнена до схеми на рис. 3.

Побудований алгоритм, схематично презентований на рис. 3, не є однозначним, за методикою з рис. 2 є можливість будувати інші алгоритми для схожих задач. Отже, є можливість зробити порівняльну характеристику на ефективність роботи низки алгоритмів та методів пошуку аномалій на цифрових (фотографічних) зображеннях. Проте, з причини більш вузько поставленої задачі, авторами експериментально виявлено достатність точності роботи алгоритму за схемою, представлена на рис. 3.

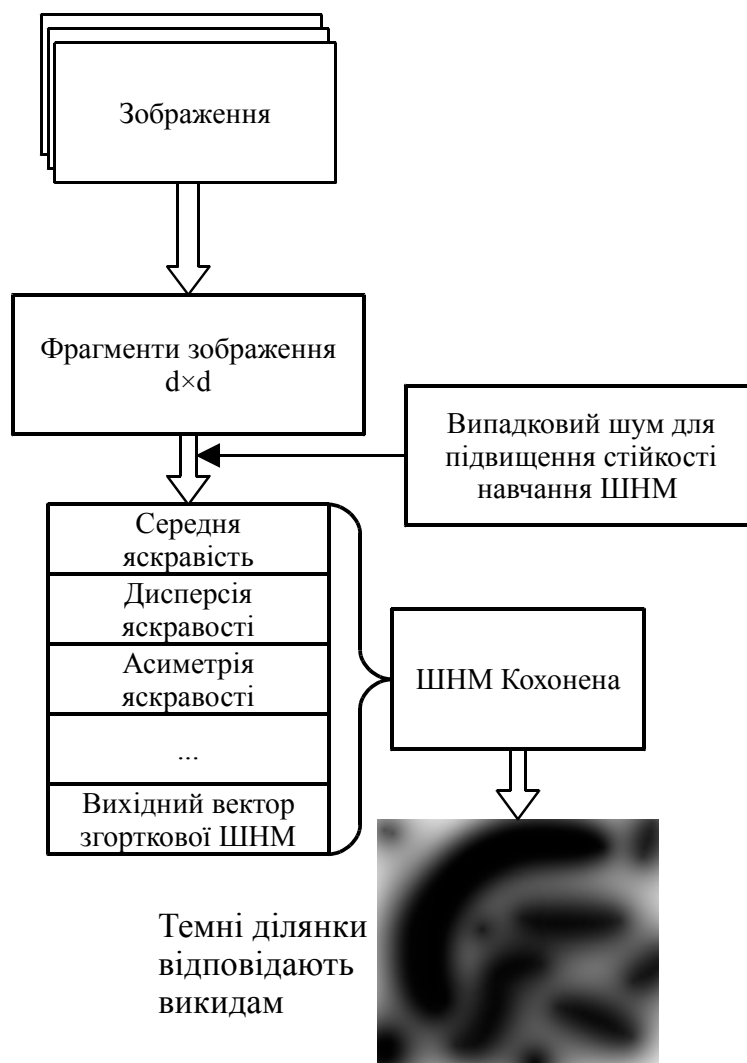


Рисунок 3 – Алгоритм виділення викидів в особливості текстури зображення

Джерело: розроблено авторами

Експериментальна частина. Авторами розглянуто приклад алгоритму пошуку особливостей на цифровому зображенні (рис. 3). Алгоритм реалізовано мовою програмування *Python* за допомогою допоміжних бібліотек *numpy* для роботи з масивами, *OpenCV* для роботи із зображеннями та *tensorflow* для роботи зі ШІМ.

В результаті застосування схеми з рис. 3 розроблено алгоритм виділення особливих ділянок на фотографічному зображенні (рис. 4). Алгоритм вимагає навчання нейронних мереж, що потребує значного машинного часу. Водночас, це компенсується універсальністю алгоритму, який пристосовується до широкого кола зображень. На початку роботи нормоване зображення у форматі “яскравість, відтінок, насичення” розміром $w \times h$ пікселів нормується до діапазону $[0; 1]$ і поділяється на фрагменти розміром $d \times d = 24 \times 24$ з перекриттям із кроком $t=3$. Завдяки малому кроку для навчання мереж з одного цифрового зображення отримується понад 100000 фрагментів. Вони використовуються для навчання ШІМ автоенкодера, який складається з згорткових шарів із обранням максимального елементу в частині енкодера та повнозв’язних шарів в частині декодера. На виході енкодера цифрове зображення розміром 24×24 пікселів перетворюється у вектор з 16-ти значень з рухомою комою. Цей вектор доповнюється додатковою статистичною інформацією про середню яскравість та другий, третій і

четвертий моменти яскравості. Також використано інформацію з каналу, який відповідає за колір. В результаті вектор ознак був розширений до 22-х значень, кожне значення з яких (крім третього моменту, який може бути від'ємним) належить інтервалу від нуля до одиниці. Отримані вектори ознак використовуються для навчання самоорганізаційної ШНМ Кохонена розміром 32×32 нейрони. Результат такого навчання для вхідного зображення (рис. 1) представлено на рис. 4.

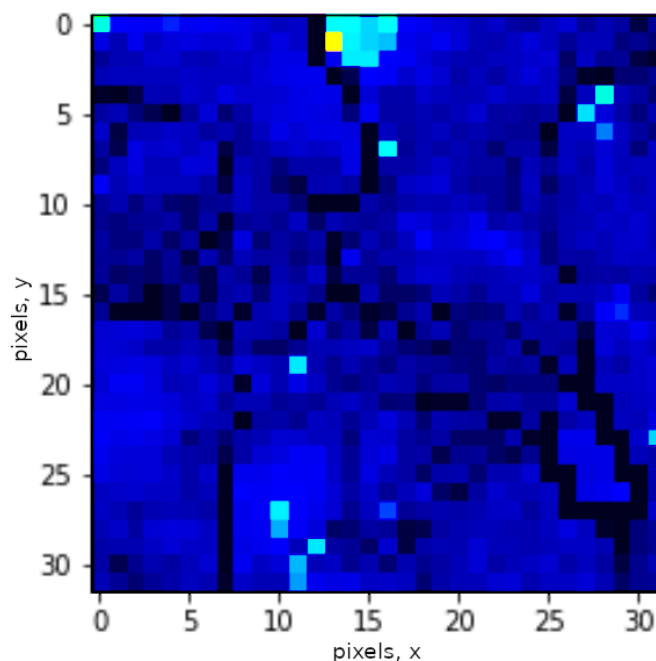


Рисунок 4 – Кластеризація фрагментів зображення (рис. 1) розміром 24×24 пікселі двовимірною мережею Кохонена $32 \times 32 = 1024$ нейрони, яскравість пропорційна частоті переможного нейрону
Джерело: розроблено авторами

Візуально рис. 4 дає можливість визначити сукупність більш частого потрапляння ознак, використаних при навчанні, до нейрона-переможця. Цим зонам скупчення відповідають зони підвищеної яскравості. Сегменти з темними кольорами відповідають нейронам, які є переможцями у значно менших випадках. Перевагою такого виділення рідкісних властивостей є те, що відсутня потреба у заздалегідь визначеній кількості класів фрагментів зображення. Повний процес презентовано на рис. 5.

Після завершення описаних дій алгоритм отримує натренований енкодер та натреновану мережу Кохонена. На схемі із рис. 5 вектори ознак отримані з енкодера та натренована з їх використанням мережа Кохонена позначені темним кольором.

На поточному етапі до кодеру направлені фрагменти зображення без перекриття, тобто при розмірі $d \times d$ пікселів крок між точками початку фрагментів також складає d пікселів. В результаті кількість фрагментів для оцінювання стає близько в 50 разів меншою. Утворені вектори актуального цифрового зображення направляються до навченої мережі Кохонена і ті фрагменти, вектори ознак яких попадають на нейрони-переможці з малою ймовірністю активації (темний колір на рис. 4), позначаються як фрагмент, що містить нетипову текстуру.

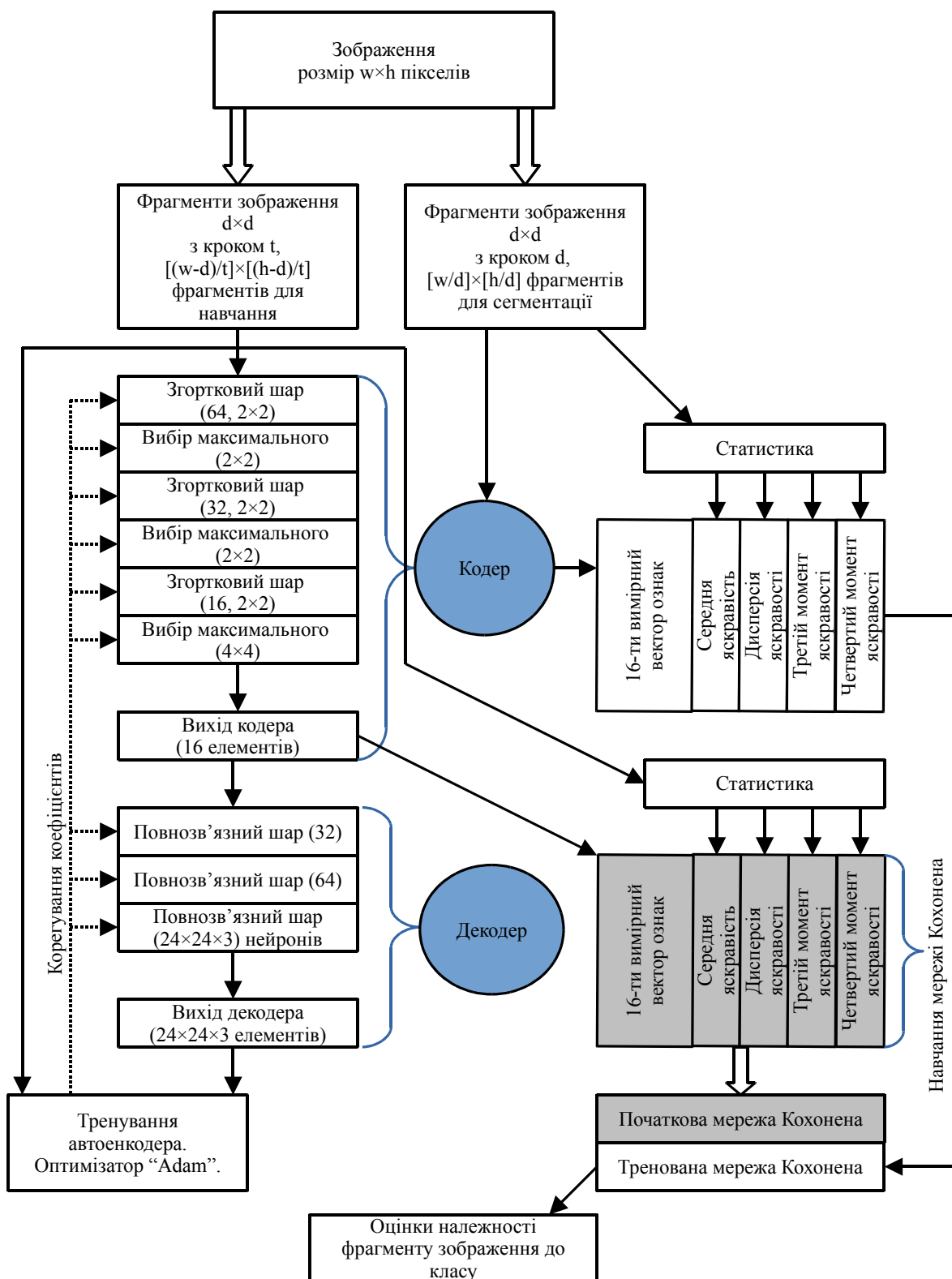


Рисунок 5 – Діаграма послідовності дій пошуку особливостей на цифровому зображенні
 Джерело: розроблено авторами

Результат застосування алгоритму для рис. 1 показано на рис. 6:



Рисунок 6 – Результат застосування алгоритму виділення нетипових текстур

Джерело: розроблено авторами

Висновки. У роботі створено та реалізовано метод визначення частин зображення, які за текстурою виділяються на загальному фоні і можуть трактуватися як відхилення від типового сигналу локального розподілення яскравості та кольору на зображенні. Під час дослідження проведено класифікацію вимог до систем сегментації зображення для позначення нетипових текстурних особливостей, виявлено різноманітність методів та алгоритмів розв’язання подібних задач, проведено узагальнення процесу пошуку особливостей на цифровому зображенні поетапно. Розбиття на етапи пошуку особливостей дозволило аргументовано обирати методи й алгоритми, які здатні виконати поставлену задачу. Також сформульовано вимоги до методів на кожному етапі, що дозволило відокремити відображення фрагментів зображення у вектор ознак за допомогою штучної нейронної мережі (тренований на окремому зображенні автоенкодеру) з комбінацією статистичних ознак фрагментів цифрового зображення. За допомогою чисельного експерименту показано, що утворені вектори ознак підлягають класифікації штучної нейронної мережі Кохонена, яка здатна виявляти нетипові фрагменти зображення за їхніми векторами ознак.

За розробленою схемою пошуку особливостей на цифровому зображенні створено програмне забезпечення, яке реалізує означені дії, а також експериментально встановлено застосовність створеного алгоритму пошуку нетипових текстурних особливостей.

Запропонований метод обрання алгоритмів обробки зображення дозволяє проектувати нові та повторювати існуючі варіанти алгоритмів сегментації цифрового зображення. На жаль, якість сегментації можна порівняти лише візуально. Таке оцінювання є не лише повільним, але й містить суб’єктивну складову. Тож *перспектива подальших розвідок* – створення варіантів алгоритмів сегментації та порівняння їх роботи за перекриттям відмічених зон, що означатиме “колективне бачення” особливостей.

Список літератури

1. Diwakar Tripathia, Damodar Reddy Edlaa, Venkatanareashbabu Kuppilia, Annushree Bablania, Ramesh Dharavath . Credit Scoring Model based on Weighted Voting and Cluster based Feature Selection. *International Conference on Computational Intelligence and Data Science (ICCIDS 2018)*, Procedia

- Computer Science 132 (2018) 22–31. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918307877> (Last accessed: 12.04.2022)
2. Hong-an Li, Qiaoxue Zheng, Xin Qi, Wenjing Yan, Zheng Wen, Na Li, Chu Tang. Neural Network-Based Mapping Mining of Image Style Transfer in Big Data Systems. *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2021, Article ID 8387382, 11 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8387382>
3. Vadym Slyusar, Mykhailo Protsenko and other. Improving neural network model for semantic segmentation of images of monitored objects in aerial photographs. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. ISSN 1729-3774, DOI: 10.15587/1729-4061.2021.248390. P. 86-95. <https://slyusar.kiev.ua/Article%20Text-573693-1-10-20211229.pdf>
4. Potapov A.A., German V.A., Grachev V. I. "Nano" and radar signal processing: Fractal reconstruction complicated images, signals and radar backgrounds based on fractal labyrinths. 2013 14th International Radar Symposium (IRS), 2013, pp. 941-946. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6581701> (Last accessed: 15.04.2022)
5. Qiang Zuo, Songyu Chen, Zhifang Wang. R2AU-Net: Attention Recurrent Residual Convolutional Neural Network for Multimodal Medical Image Segmentation. *Security and Communication Networks*. Vol. 2021, Article ID 6625688, 10 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6625688>
6. Wang Shuhang, Hu Szu-Yeu, Cheah Eugene, Wang Xiaohong and other. U-Net Using Stacked Dilated Convolutions for Medical Image Segmentation. <https://arxiv.org/abs/2004.03466> (Last accessed: 15.04.2022)
7. Veys, C., Chatziavgerinos, F., AlSuwaidi, A. et al. Multispectral imaging for presymptomatic analysis of light leaf spot in oilseed rape. *Plant Methods*. 15, 4 (2019). <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0389-9>
8. Tang, Peng, Chunyu Wang, Xinggang Wang, Wenyu Liu, Wenjun Zeng and Jingdong Wang. Object Detection in Videos by High Quality Object Linking. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 42 (2020): 1272-1278. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8686124>
9. Fasola J. and Veloso M. Real-time object detection using segmented and grayscale image. *Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2006. ICRA 2006., 2006, pp. 4088-4093, doi: 10.1109/ROBOT.2006.1642330. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1642330> (Last accessed: 17.04.2022)
10. Abuarafah Adnan, Khozium Osama, Abdrabou Essam. Real-time Crowd Monitoring using Infrared Thermal Video Sequences. *International Journal of Engineering Science*. 2012. 8. 133-140. https://www.researchgate.net/publication/236292403_Real-time_Crowd_Monitoring_using_Infrared_Thermal_Video_Sequences (Last accessed: 18.04.2022)
11. Haralick R. M., Shanmugam K. and Dinstein I. Textural Features for Image Classification. in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-3, no. 6, pp. 610-621, Nov. 1973, doi: 10.1109/TSMC.1973.4309314.
12. Pascal B., Mauduit V., Pustelnik N. and Abry P. Scale-free Texture Segmentation: Expert Feature-based versus Deep Learning strategies. *2020 28th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, 2021, pp. 1367-1371, doi: 10.23919/Eusipco47968.2020.9287829.
13. Ristanto S., Nugroho W., Sulistya E., Suparta G.B. System and method for stereoscopic image acquisition. *AIP Conference Proceedings* 2374, 020014 (2021); <https://doi.org/10.1063/5.0058929>
14. GoogleMaps . URL: <https://www.google.com/maps/@48.4599286,32.724665,481m/data=!3m1!1e3>
15. Ren, M., Zhang, J., Khoukhi, L. et al. A review of clustering algorithms in VANETs. *Ann. Telecommun.* 76, 581–603 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12243-020-00831-x>
16. Ezugwu, A.E., Shukla, A.K., Agbaje, M.B. et al. Automatic clustering algorithms: a systematic review and bibliometric analysis of relevant literature. *Neural Comput & Applic.* 33, 6247–6306 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05395-4>
17. Кренивич А.П. Алгоритми і структури даних: підруч. К.: ВПЦ "Київський Університет", 2021. 200 с.
18. Marimont R.B., Shapiro M.B. Nearest Neighbour Searches and the Curse of Dimensionality. *IMA Journal of Applied Mathematics*. Volume 24, Issue 1, August 1979, Pages 59–70, <https://doi.org/10.1093/imamat/24.1.59>
19. Andrzej Maćkiewicz, Waldemar Ratajczak. Principal components analysis (PCA). *Computers & Geosciences*, Volume 19, Issue 3, 1993, Pages 303-342, ISSN 0098-3004, [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(93\)90090-R](https://doi.org/10.1016/0098-3004(93)90090-R).
20. Kohonen, T. (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43:59-69.
21. Ojje, Oseikhuemen D., and Reza Saatchi. 2021. Kohonen Neural Network Investigation of the Effects of the Visual, Proprioceptive and Vestibular Systems to Balance in Young Healthy Adult Subjects Healthcare 9, no. 9: 1219. <https://doi.org/10.3390/healthcare9091219>.

References

1. Diwakar Tripathia, Damodar Reddy Edlaa, Venkatanaresbhabu Kuppilia, Annushree Bablania, Ramesh Dharavath (2018). Credit Scoring Model based on Weighted Voting and Cluster based Feature Selection. *International Conference on Computational Intelligence and Data Science (ICCIDS 2018)*, Procedia Computer Science 132 22–31. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918307877> [in English].
2. Hong-an Li, Qiaoxue Zheng, Xin Qi, Wenjing Yan, Zheng Wen, Na Li, Chu Tang. (2021). Neural Network-Based Mapping Mining of Image Style Transfer in Big Data Systems. *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2021, Article ID 8387382, 11 pages. <https://doi.org/10.1155/2021/8387382> [in English].
3. Vadym Slyusar, Mykhailo Protsenko et al. (2021). Improving neural network model for semantic segmentation of images of monitored objects in aerial photographs. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* ISSN 1729-3774, DOI: 10.15587/1729-4061.2021.248390. P. 86-95. <https://slyusar.kiev.ua/Article%20Text-573693-1-10-20211229.pdf> [in English].
4. Potapov, A., German, V.A. & Grachev, V.I. (2013). "Nano -" and radar signal processing: Fractal reconstruction complicated images, signals and radar backgrounds based on fractal labyrinths, 14th International Radar Symposium (IRS), pp. 941-946. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6581701> [in English].
5. Qiang Zuo, Songyu Chen, Zhifang Wang. (2021). R2AU-Net: Attention Recurrent Residual Convolutional Neural Network for Multimodal Medical Image Segmentation", *Security and Communication Networks*, vol. 2021, Article ID 6625688, 10 pages, <https://doi.org/10.1155/2021/6625688> [in English].
6. Wang Shuhang, Hu Szu-Yeu, Cheah Eugene, Wang Xiaohong and other (2004). U-Net Using Stacked Dilated Convolutions for Medical Image Segmentation. <https://arxiv.org/abs/2004.03466> [in English].
7. Veys, C., Chatziavgerinos, F., AlSuwaidi, A. et al. (2019). Multispectral imaging for presymptomatic analysis of light leaf spot in oilseed rape. *Plant Methods*, 15, 4 <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0389-9> [in English].
8. Tang, Peng, Chunyu Wang, Xinggong Wang, Wenyu Liu, Wenjun Zeng & Jingdong Wang. (2020). Object Detection in Videos by High Quality Object Linking. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 42: 1272-1278. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8686124> [in English].
9. Fasola, J. & Veloso, M. (2006). Real-time object detection using segmented and grayscale images. *Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA 2006.*, pp. 4088-4093, doi: 10.1109/ROBOT.2006.1642330. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1642330> [in English].
10. Abuarafah Adnan, Khozium Osama, Abdrabou Essam. (2012). Real-time Crowd Monitoring using Infrared Thermal Video Sequences. *International Journal of Engineering Science*. 8. 133-140. https://www.researchgate.net/publication/236292403_Real-time_Crowd_Monitoring_using_Infrared_Thermal_Video_Sequences [in English].
11. Haralick, R.M., Shanmugam, K. & Dinstein, I. (1973). Textural Features for Image Classification, in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-3, no. 6, pp. 610-621, Nov. doi: 10.1109/TSMC.1973.4309314 [in English].
12. Pascal, B., Mauduit, V., Pustelnik, N. & Abry, P. (2021). Scale-free Texture Segmentation: Expert Feature-based versus Deep Learning strategies, 2020 28th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), pp. 1367-1371, doi: 10.23919/Eusipco47968.2020.9287829 [in English].
13. Ristanto, S., Nugroho, W., Sulistya, E. & Suparta, G.B. ((2021). System and method for stereoscopic image acquisition. *AIP Conference Proceedings*, 2374, 020014; <https://doi.org/10.1063/5.0058929> [in English].
14. Google Maps. www.google.com. Retrieved from <https://www.google.com/maps/@48.4599286,32.724665,481m/data=!3m1!1e3> [in English].
15. Ren, M., Zhang, J., Khoukhi, L. et al. (2021). A review of clustering algorithms in VANETs. *Ann. Telecommun.* 76, 581–603. <https://doi.org/10.1007/s12243-020-00831-x> [in English].
16. Ezugwu, A.E., Shukla, A.K., Agbaje, M.B. et al. (2021). Automatic clustering algorithms: a systematic review and bibliometric analysis of relevant literature. *Neural Comput & Applic* 33, 6247–6306. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05395-4> [in English].
17. Krenevich, A.P. (2021). *Algorithms and data structures [Algorithms and data structures]*. Kyiv: Kyiv University [in Ukrainian].

18. Marimont, R.B. & Shapiro, M.B. (1979). Nearest Neighbour Searches and the Curse of Dimensionality. *IMA Journal of Applied Mathematics*, Vol. 24, Issue 1, August, Pp. 59–70, <https://doi.org/10.1093/imamat/24.1.59> [in English].
19. Andrzej Maćkiewicz & Waldemar Ratajczak (1993). Principal components analysis (PCA). *Computers & Geosciences*, Vol. 19, Issue 3, Pp. 303-342, ISSN 0098-3004, [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(93\)90090-R](https://doi.org/10.1016/0098-3004(93)90090-R). [in English].
20. Kohonen, T. (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43, 59-69 [in English].
21. Ojje, Oseikhuemen D., & Reza Saatchi. (2021). Kohonen Neural Network Investigation of the Effects of the Visual, Proprioceptive and Vestibular Systems to Balance in Young Healthy Adult Subjects. *Healthcare* 9, no. 9: 1219. <https://doi.org/10.3390/healthcare9091219> [in English].

Oleksandr Drieiev, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Dorenskyi**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Hanna Drieieva**

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Neural Network Method for Detecting Textural Anomalies in a Digital Image

Modern computer vision systems often use neural networks to process images. But to use neural networks, you need to create databases to train these neural networks. In some cases, creating a training database takes the vast majority of the project's financial and human resources. Therefore, the actual task of finding methods to improve the quality of learning neural networks on small data is considered in this article. The ability to process data, which nature was not present in the original training database is relevant, also. To solve the problem of improving the quality of image segmentation by textural anomalies, this research is proposed to use as input to the neural network not only the image but also its local statistic data. It can increase the information content of the input information for the neural network. Therefore, neural networks do not need to learn to choose statistical features but simply use them.

This investigation classifies the requirements for image segmentation systems to indicate atypical texture anomalies. The literature analysis revealed various methods and algorithms for solving such problems. As a result, in this science work, the process of finding features in the photo is summarized in stages. The division into stages of search for features allowed to choose arguments for methods and algorithms that can perform the task. At each stage, requirements were formed for methods, that allowed separate the transformation of image fragments into a vector of features by using an artificial neural network (trained on a separate image of the autoencoder). Statistical features supplement by the vector of features of the image fragment.

Numerous experiments have shown that the generated feature vectors improve the classification result for an artificial Kohonen neural network, which is able to detect atypical image fragments.

image segmentation, neural network, Kohonen, autoencoder, convolution, Kohonen's neural networks

Одержано (Received) 09.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 17.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

ЗМІСТ

Комп'ютерні науки

<i>Oleksandr Dorenskyi, Olena Drobko, Oleksandr Drieiev</i> Improved Model and Software of the Digital Information Service of the Municipal Health Care Institutions	3-10

<i>К.М. Марченко, О.В. Оришака, А.К. Марченко</i> Проблеми інформаційної гігієни в ІТ-сфері	11-16

<i>К.В. Крячко, В.В. Кулешов, А.М. Шрамко</i> Рационалізація роботи перевантажувальних кранів на контейнерних терміналах вантажних станцій	17-21

Прикладна механіка

<i>О.О. Кропивний, А.І. Гречка, А.М. Кириченко, К.К. Щербина</i> Кінематичні залежності двокоординатного механізму паралельної структури з поворотним кріпленням шарнірів штанг змінної довжини	22-30

<i>К.К. Щербина, М.М. Підгаєцький, В.А. Мажара, А.І. Гречка, Т.В. Дяченко</i> Експериментальне дослідження деформації пружно-гвинтового хона	31-38

<i>С.В. Конончук, О.В. Скрипник, В.В. Свяцький, В.В. Пукалов</i> Підвищення продуктивності процесу лиття шляхом регулювання теплового режиму кокіля на основі комп'ютерного дослідження потоку повітря в каналах стержня	39-50

Матеріалознавство

<i>В.М. Ломакін, В.М. Кропивний, В.В. Пукалов, А.В. Кропивна, Л.А. Молокост</i> Дослідження та порівняльний аналіз зносостійкості литих мелючих тіл з хромистих чавунів	51-57

<i>М.М. Студент, І.М. Погрелюк, С.І. Маркович, В.М. Гвоздецький, Х.Р. Задорожна, В.І. Топчій</i> Підвищення абразивної зносостійкості алюмінієвих ливарних сплавів Al-Si АК-9 та АК-12 плазмо-електролітною обробкою	58-63

Галузеве машинобудування

<i>А.Ю. Лисих, В.В. Нестеренко</i> Аналіз теоретичних передумов розробки обладнання з одержання однотипної сировини для виробництва текстильних матеріалів	64-72

<i>А. В. Новицький</i> Моніторинг технічного стану ЗПРК за керівними матеріалами на їх експлуатацію	73-85

<i>Ю.В. Кулешков, М.В. Красота, Т.В. Руденко, Р.А. Осін, Ю.Б. Євсейчик</i> Визначення раціонального радіального зазору в шестеренному насосі гідросистем автотракторної техніки	86-96

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології*А.П. Стахова, С.Л. Макаровський*

Розробка алгоритмів та програмного забезпечення систем вимірювання та аналізу вібрації..... 97-102

С.І. Осадчий, Л.Г. Віхрова, В.М. Каліч, М.С. Мірошніченко

Інформаційна технологія проектування системи автоматичної стабілізації потоку хлібної маси на вході до молотарки зернозбирального комбайну 103-109

А. Ю. Орлович

Оптимізація теплових режимів в кондитерських електропечах харчового виробництва..... 110-114

О. П. Голик

Інструменти та методи розробки стартапів в інженерних кластерах 115-121

В.П. Квасніков, М.О. Катаєва

Метод корекції вихідного сигналу скануючого зондового мікроскопу для дослідження нанооб'єктів 121-129

В.В. Міхав, Є.В. Мелешко, М.С. Якименко, Я.П. Шуліка

Розробка системи управління базою даних рекомендаційної системи для комп'ютерних та комп'ютерно-інтегрованих систем..... 130-136

Будівництво та цивільна інженерія*В.А. Пашинський, М.В. Пашинський, С.О. Джирма*

Імовірнісний аналіз теплової надійності вузлів цегляних стін житлових будівель 137-145

М.В. Пашинський, В.А. Настоящий, В.А. Пашинський

Несуча здатність сонячних панелей, встановлених на похилих дахах будівель на території України..... 146-153

О.В. Семко, А.В. Гасенко, О.Г. Фенко, В.В. Дарієнко

Рациональне використання несучої здатності сталевих профільованих листів незнімної опалубки сталезалізобетонних перекриттів 153-161

Агроінженерія*А.С. Лімонт, З.А. Лімонт*

Вантажопідйомність і масово-розмірні параметри кузовних машин для внесення твердих органічних добрив..... 162-169

Д.О. Макаренко, О.Д. Деркач, Є.С. Муранов, М.М. Івашкович

Вплив мастильних матеріалів на довговічність трибоспряжень 170-176

Е. Б. Алієв, М. О. Лінко, О. Ю. Алієва

Симуляція процесу експандованого приготування кормів..... 176-185

Автомобільний транспорт

Ів.Б. Гевко, Р.М. Рогатинський, О.Л. Ляшук, М.Г. Левкович, В.О. Тесля
Структурний синтез кузова напівпричепа вантажного автомобіля
з техніко-економічним обґрунтуванням 186-194

Л.А. Тарандушка, А.В. Йовченко
Параметричне проектування 3D-моделі кривошипно-шатунного
механізму автомобіля з використанням САПР Solidworks 195-201

*Р.І. Розум, М.В. Буряк, П.Б. Прогній, Н.М. Фалович, О.С. Шевчук,
П.В. Попович, О.П. Захарчук*
Експлуатаційна надійність і роботоздатність вантажного автомобільного
рухомого складу 201-205

І.А. Шльончак, О.Ю. Лук'янченко, В.Б. Харенко
Дослідження фактору швидкості та методик визначення швидкості
при проведенні автотехнічної експертизи 206-212

С.В. Лисенко
Вплив трибологічної ефективності функціонування ресурсовизначальних
спряжень деталей трансмісії на експлуатаційну надійність транспортних
машин 213-224

А.В. Гриньків
Можливості логістичних моделей вибору комплексу технічних впливів
на забезпечення працездатності транспортних машин 225-239

Транспортні технології

Ю.В. Дзядикевич, Н.М. Фалович, П.В. Попович, О.С. Шевчук, Л.Н. Чорній
Зарубіжна практика регулювання автомобільних перевезень 240-245

В.М. Никончук
Дослідження системи транспортного обслуговування пасажирів
за показниками якості 246-253

Л.А. Тарандушка, І.А. Шльончак, І.П. Тарандушка
Оцінка якості обслуговування пасажирів міським транспортом загального
користування в м. Черкаси 253-261

*Л.А. Тарандушка, Н.Л. Костьян, І.П. Тарандушка, Ф. Яценко,
М. Буханистий*
Визначення оптимальної кількості транспортних засобів для функціонування
каршерінгу в місті Київ в рамках вдосконалення транспортної системи
міста 262-273

*Н.М. Фалович, В.А. Фалович, О.С. Шевчук, П.В. Попович, П.Б. Прогній,
В.В. Мельниченко*
Логістична інфраструктура Тернопільської області 274-283

<i>О.В. Чорна, П.Б. Прогній, П.В. Попович, О.С. Шевчук, Н.М. Фалович, М.В. Буряк</i> Забезпечення якості роботи підприємств автомобільної інфраструктури з позиції ергономіки.....	284-291
<i>І.В. Берестов, О.С. Пестременко-Скрипка, Г.І. Шелехань, Т.Т. Берестова</i> Цифровізація процесів митного контролю та митного оформлення вантажів на залізничному транспорті	291-298
<i>І.В. Берестов, А.В. Колісник, О.В. Щєбликіна</i> Удосконалення процесу надходження вантажних поїздів до прикордонної станції в умовах військового стану	298-306
<i>І.А. Шльончак, О.Ю. Лук'яненко, І.П. Тарандушка</i> Аналіз транспортних потоків та прогнозування інтенсивності руху різних видів транспорту на прикладі вулично-дорожньої мережі м. Черкаси	307-312
<i>В.В. Аулін</i> Тектологічний підхід формування логістичних систем на транспортних і виробничих підприємствах	313-324
<i>Д.В. Голуб</i> Теоретична модель транспортної системи як сукупності взаємодіючих і взаємоперетворюючих елементів та підсистем.....	324-334
Комп'ютерна інженерія	
<i>О. М. Дреєв, О. П. Доренський, Г. М. Дреєва</i> Нейромережевий метод виявлення текстурних аномалій у цифровому зображенні.....	335-346

CONTENT

Computer Science

<i>Oleksandr Dorenskyi, Olena Drobko, Oleksandr Drieiev</i> Improved Model and Software of the Digital Information Service of the Municipal Health Care Institutions.....	3
<i>Konstantyn Marchenko, Oleh Oryshaka, Anzhelyka Marchenko</i> Problems of Information Hygiene in the IT Sphere	11
<i>Kateryna Kryachko, Valerii Kuleshov, A. Shramko</i> Rationalization of Reloading Cranes at Container Terminals of Freight Stations	17

Applied Mechanics

<i>Oleksandr Kropivny, Andrii Hrechka, Andrii Kyrychenko, Kyryl Shcherbyna</i> Kinematic Dependencies of Two-axis Parallel Manipulator With Rotary Fastening of Hinges of Variable Length Links.....	22
<i>Kyryl Shcherbyna, Mykhailo Pidhaietskyi, Andrii Hrechka, Tetiyna Dyachenko</i> Experimental Study of Deformation of Helix Honing Tool	31
<i>Serhii Kononchuk, Oleksandr Skrypnyk, Volodymyr Sviatskyi, Viktor Pukalov</i> Improving the Productivity of the Casting Process by Regulating the Thermal Regime of the Chill Mold on a Basis of Computer Investigation of the Air Flow in the Channels of the Casting Core.....	39

Materials Science

<i>Viktor Lomakin, Volodymyr Kropivnyi, Viktor Pukalov, Olena Kropivna, Lyudmyla Molokost</i> Research and Comparative Analysis of Wear Resistance of Cast Grinding Media From Chromium Cast Irons.....	51
<i>Mykhajlo Student, Iryna Pogrelyuk, Sergiy Markovych, Volodymyr Hvozdetskii, Khrystyna Zadopozna, Vladyslav Topchii</i> Increasing the Abrasion Resistance of Aluminum Foundry Alloys AL-SI AK9 and AK12 Plasma-electrolytic Treatment	58

Industrial Engineering

<i>Alla Lisikh, Victoria Nestrenko</i> Analysis of Theoretical Preconditions for the Development of Equipment for Obtaining the Same Type of Raw Materials for the Production of Textile Materials.....	64
<i>Andrey Novitskiy</i> Monitoring of the Technical Condition of MPDF on Guidelines for their Operation	73
<i>Yuriy Kuleshkov, Mykhailo Krasota, Timofey Rudenko, Ruslan Osin, Yuriy Evseichik</i> Measuring Rational Radial Clearance in Gear Pump Hydraulic Systems of Auto and Tractor Machinery	86

Automation and Computer Integrated Technologies

Anzhelika Stakhova, Serhii Makarovskiy

Development of Algorithms and Software for Vibration Measurement and Analysis Systems..... 97

Sergiy Osadchii, Larysa Vskhrova, Viktor Kalich, Mariia Miroshnichenko

Information Technology of Designing the System of Automatic Stabilization of the Flow of Bread Mass at the Entrance to the Thresher of the Combine 103

Anatoliy Orlovich

Optimization of the Thermal Regime in Confectionery Electric Ovens for Food Production 110

Olena Holyk

Tools and Methods for Developing Startups in Engineering Clusters..... 115

Volodymyr Kvasnikov, Mariia Kataeva

A Method of Correcting the Output Signal of a Scanning Probe Microscope for the Study of Nanoobjects 121

Volodymyr Mikhav, Yelyzaveta Meleshko, Mykola Yakymenko, Yaroslav Shulika

Development of a Database Management System of Recommendation Systems for Computer Networks and Computer-integrated Systems 130

Construction and Civil Engineering

Victor Pashynskiy, Mykola Pashynskiy, Stanislav Dzhyrma

Probabilistic Analysis of Thermal Reliability of Brick Wall Units of Residential Buildings 137

Mykola Pashynskiy, Vladyslav Nastoyashchii, Viktor Pashynskiy

Load-bearing Capacity of Solar Panels Installed on the Hip Roofs in Ukraine..... 146

Alexander Semko, Anton Hasenko, Fenko Oleksiy, Viktor Dariienko

Profiled Steel Sheets of Steel-reinforced Concrete Floors Fixed Formwork Load-bearing Capacity Rational Use 153

Agricultural Engineering

Anatoliy Limont, Zlata Limont

The Load-carrying Capacity and Mass and Mass and Dimensional Parameters of Body Machines for Applying Solid Organic Fertilizers 162

Dmytro Makarenko, Oleksii Derkach, Yevhen Muranov, Mykola Ivashkovych

Influence of Lubricants on the Durability of Tribocouples..... 170

Elchyn Aliiev, Mykolay Linko, Olga Aliieva

Simulation of the Process of Expanded Feed Preparation 176

Road Transport

*Ivan Hevko, Roman Rohatynsky, Oleg Lyashuk, Mykhailo Levkovich,
Volodymyr Tesla*

Structural Synthesis of Brake Systems with Technical and Economic Rationale 186

Lyudmyla Tarandushka, Alla Yovchenko

Parametric Design of 3D Models of Crank Mechanism of a Car With CAD Solidworks 195

*Ruslan Rozum, Mykola Buryak, Pavlo Prohnii, Natalia Falovych,
Oksana Shevchuk, Pavlo Popovich, Olena Zakharchuk*

Improving the Efficiency of Technical Operation of Trucks 201

Ihor Shlionchak, Oleksandr Lukianchenko, Valerii Harenko

Research of Speed Factor and Methods of Speed Determination During Auto
Technical Examination..... 206

Serhii Lysenko

The Influence of the Tribological Efficiency of Resource-determining Conjugations
of Transmission Parts on the Operational Reliability of Transport Vehicles 213

Andrey Grinkiv

Possibilities of Logistic Models for Choosing a Complex of Technical Influences
on Ensuring the Operational Efficiency of Transport Vehicles 225

Transport Technologies (by types)

*Yuriy Dzyadykevych, Nataliia Falovych, Pavlo Popovich, Oksana Shevchuk,
Lubomyr Chorniy*

Foreign Practice of Regulating Road Transport..... 240

Viktoria Nykonchuk

Research of Passenger Transport Service System by Quality Indicators..... 246

Lyudmyla Tarandushka, Ihor Shlionchak, Ivan Tarandushka

Assessment of the Quality Passenger Service by Public Transport in Cherkasy..... 253

*Lyudmyla Tarandushka, Nataliia Kostian, Ivan Tarandushka, F. Yatsenko,
M. Bukhanystyi*

Determination of Optimal Number Vehicles for the Functioning of Carsharing
in Kyiv Within the Framework of Improving the Transport System..... 262

*Nataliia Falovych, Volodymyr Falovich, Oksana Shevchuk, Pavlo Popovich,
Pavlo Progniy, Vasil Melnichenko*

Logistics Infrastructure of Ternopil Region..... 274

*Olga Chorna, Prohnii Pavlo, Pavlo Popovich, Oksana Shevchuk, Natalia Falovych,
Mykola Buryak*

Ensuring the Quality of Work of Automotive Infrastructure Enterprises in Terms of
Ergonomics..... 284

<i>Ihor Berestov, Oksana Pestremenko-Skrypka, Hanna Shelekhan, Tetiana Berestova</i> Digitalization of the Processes of Customs Control and Customs Clearance of Goods in Railway Transport	291
<i>Igor Berestov, Alina Kolisnyk, Olena Shcheblykina</i> Improving the Process of Receiving Freight Trains to the Border Station in Martial Law	298
<i>Ihor Shlionchak, Oleksandr Lukianchenko, Ivan Tarandushka</i> Analysis of Traffic Flows and Forecasting the intensity of Traffic of Different Types of Transport on the Example of the Road Network of Cherkasy	307
<i>Viktor Aulin</i> Tectological Approach to the Formation of Logistics Systems at Transport and Production Enterprises.....	313
<i>Dmytro Holub</i> A theoretical Model of the Transport System as a Set of Interacting and Mutually Transforming Elements and Subsystems.....	324
Computer Engineering	
<i>Oleksandr Drieiev, Oleksandr Dorenskyi, Hanna Drieieva</i> Neural Network Method for Detecting Textural Anomalies in a Digital Image	335

Матеріали подаються у друкованому вигляді та на електронному носії. Обсяг статті – 5-12 сторінок. Основний текст рукопису друкується 12 кеглем; шрифт – Times New Roman; міжрядковий інтервал – 1,0; відступ – 1,25 см; поля: верх – 2 см, низ – 3см, право, ліво – 2 см. Текст повинен бути вирівняний по ширині аркуша.

Підписи до рисунків і набирати шрифтом Times New Roman 10 (по центру), таблиць 14 (з абзацу). Після рисунка, таблиці схеми – вказується джерело

Рисунки й таблиці розміщуються в тексті статті з вирівнюванням по центру сторінки, без обтікання текстом у рамках поля набору. Рисунки й таблиці подаються в статті безпосередньо після тексту, де їх згадано вперше. На кожен формулу, таблицю, рисунок, графік у тексті мають бути обов'язкові посилання.

Анотація українською мовами – до 10 рядків тексту (до 500 знаків), обов'язково 3-7 ключових слів;

Анотація англійською мовою повинна бути не менше ніж 1800 знаків:

Структура анотацій:

- мета статті;
- короткий опис виконаної роботи;
- висновки по роботі;
- перелік ключових слів;

Структура основного тексту статті:

1. Постановка проблеми.
2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.
3. Постановка завдання (мета статті).
4. Виклад основного матеріалу.
5. Висновки і перспективи подальших досліджень.

Схема організації матеріалу статті:

1. УДК
2. Ініціали, прізвище, вчене звання, науковий ступінь
3. Місце роботи, місто, країна. e-mail
4. Назва статті.
5. Анотація і ключові слова мовою статті.
7. Основний текст статті.
8. Список літератури. *
9. References
10. Розширена анотація і ключові слова англійською (українською) мовою.

Редакційна колегія Центральноукраїнського наукового вісника повідомляє, що всі статті які надходять перевіряються на плагіат системою Unicheck (<https://corp.unicheck.com>)

Адреса для надсилання: stat_kntu@ukr.net, aulinvv@gmail.com

ДОВІДКА ПРО АВТОРА
українською та англійською мовами

	Українською	Англійською
Прізвище, ім'я, по-батькові:		
Місце роботи (повна назва, без аббревіатур), місто, країна:		
Посада (повна назва, без аббревіатур):		
Наукова ступінь:		
Вчене звання:		
Назва статті:		
*Спеціальність:		
Адреса для надсилання збірнику:		
Контактні телефони (бажано мобільний):		
E-mail:		
ORCID ID (XXXX-XXXX-XXXX-XXXX)		

* – 122 Комп'ютерні науки; 131 Прикладна механіка; 132 Матеріалознавство; 133 Галузеве машинобудування; 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології; 208 Агроінженерія

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВИЙ ВІСНИК.
ТЕХНІЧНІ НАУКИ

В и п у с к 5(36)
Частина II

Відповідальний за випуск І.М. Березюк, О.М. Кузик

Комп'ютерна верстка І.М. Каліч

Тиражування О. Г. Каліч

*Приватне підприємство «Ексклюзив-Систем»
Свідоцтво № ДК 4470 від 17.01.2013р.
25006, м. Кіровоград, вул. Шевченка, 25
тел./факс 24-35-53*

Підписано до друку 30.05.2022р. Формат 60х84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Офсетний друк. Умов. друк. арк. 44,5
Тираж 300 прим. Зам. № 0764