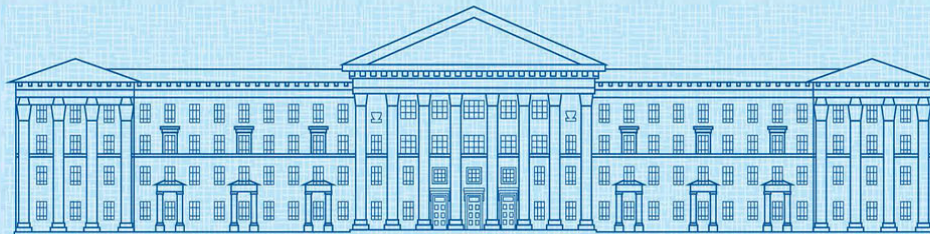




ISSN 2307-3489 (Print)
ISSN 2307-6666 (OnLine)



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

N°4 (94)

----- · · 2021 · · -----

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Науковий журнал

№ 4 (94) 2021

Виходить 6 разів на рік ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ Заснований у серпні 2003 р.

Автоматизовані та телематичні системи на транспорті
Екологія та промислова безпека
Економіка та управління
Експлуатація та ремонт засобів транспорту
Електричний транспорт, енергетичні системи та комплекси
Залізнична колія та автомобільні дороги
Інформаційно-комунікаційні технології та математичне моделювання
Матеріалознавство
Машинобудування
Рухомий склад і тяга поїздів
Транспортне будівництво

Дніпро

2021

Засновник:
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

ГОЛОВА РЕДАКЦІЙНОЇ РАДИ УНІВЕРСИТЕТУ
ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛУ

Пшінько О. М., доктор технічних наук
Пічуров С. О., доктор фізико–математичних наук

ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА
ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

Козаченко Д. М., доктор технічних наук
Колесникова Т. О., кандидат наук
із соціальних комунікацій

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Аврамовіс З. З., Белградський університет (Сербія); Бела І., Інститут логістики (Угорщина); Біляєв М. М., ДНУЗТ (Україна); Богдєвичус М., Вільнюський технічний університет імені Гедимінаса (Литва); Боднар Б. Є., ДНУЗТ (Україна); Бондаренко І. О., ДНУЗТ (Україна); Вакуленко І. О., ДНУЗТ (Україна); Воронін С. В., УкрДУЗТ (Україна); Головкова Л. С., ДНУЗТ (Україна); Єфременко В. Г., Приазовський держаний технічний університет (Україна); Жуковицький І. В., ДНУЗТ (Україна); Калівода Я., Чеський технічний університет (Чехія); Капіца М. І., ДНУЗТ (Україна); Капустян В. О., НТТУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна); Кершіс Р., Каунаський технологічний університет (Литва); Кузнецов В. Г., Науково-дослідний інститут залізниць (Польща); Манашкин Л., Незалежний вчений (США); Марущак П. О., Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна); Мацюк В. І., Державний університет інфраструктури та технологій (Україна); Піттман Р., Антимонопольний відділ Департаменту юстиції (США); Ракша С. В., ДНУЗТ (Україна); Сладковскі А., Сілезький технологічний університет (Польща); Суглер Дж., Варшавська школа економіки (Польща); Тютюкін О. Л., ДНУЗТ (Україна); Шинкаренко В. І., ДНУЗТ (Україна).

Журнал зареєстровано Державною реєстраційною службою Міністерства юстиції України. Свідоцтво про реєстрацію КВ № 19609-9409ПР від 29.12.2012 р. Видання внесено до категорії Б «Переліку наукових фахових видань України» наказом Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. (технічні науки). Журнал зареєстровано в міжнародних наукових системах: Ulrichsweb™ Global Serials Directory, Crossref, Open Ukrainian Citation Index (OUCI), OCLC WorldCat, Google Scholar, DOAJ, Index Copernicus, Україніка наукова та ін. Друкується за рішенням вченої ради університету від 06.09.2021 р., протокол № 1

Видавець Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (м. Дніпро) Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003 р.

Адреса засновника вул. Лазаряна, 2, кім. 267, Дніпро, Україна, 49010
та редакції тел.: +38 (056) 371-51-05; e-mail: kolesnykova@diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua; сайт журналу: <http://stp.diit.edu.ua/>

Видання публікується з 1936 р.:

- 1936–1993 рр. – «Труды Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта»;
- 1993–2002 рр. – «Збірник наукових праць Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту» (за серіями);
- 2003–2012 рр. – «Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна», (ISSN 1993-9175);
- з 2013 р. – «Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна»

Dnipro National University of Railway Transport
named after Academician V. Lazaryan

NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU
VÌSNIK DNÌPROPETROVS'KOGO NACÌONAL'NOGO UNÌVERSITETU
ZALÌZNIČNOGO TRANSPORTU
=
SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

Scientific journal

No. 4 (94) 2021

Bi-Monthly ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ Founded in August 2003

Automated and Telematic Systems on Transport
Ecology and Industrial Safety
Economics and Management
Operation and Repair of Transport Means
Electric Transport, Power Systems and Complexes
Railroad and Roadway Network
Information and Communication Technologies and Mathematical Modelling
Material Science
Mechanical Engineering
Rolling Stock and Train Traction
Transport Construction

Dnipro

2021

Founder:

DNIPRO NATIONAL UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT
NAMED AFTER ACADEMICIAN V. LAZARYAN

Chairman of the Editorial Board of the University
Editor-in-Chief
Deputy Chief Editor
Executive Secretary

Pshinko O. M., Doctor of Technical Sciences
Pichugov S. A., Doctor of Physics and Mathematics
Kozachenko D. M., Doctor of Technical Sciences
Kolesnykova T. O., PhD of Social Communications

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

Avramovic Z. Ž., Faculty of Transport and Traffic Engineering (Serbia); Béla I., Logistics Institute (Hungary); Biliaiev M. M., DNURT (Ukraine); Bodnar B. E., DNURT (Ukraine); Bogdevičius M., Vilniaus Gedimino technikos universitetas (Lithuania); Bondarenko I. O., DNURT (Ukraine); Cygler J., Szkoła Główna Handlowa w Warszawie (Poland); Efremenko V. G., Priazovsky State Technical University (Ukraine); Golovkova L. S., DNURT (Ukraine); Kalivoda J., Czech Technical University in Prague (Czech Republic); Kapitsa M. I., DNURT (Ukraine); Kapustyan V. O., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», (Ukraine); Kersys R., Kaunas University of Technology (Lithuania); Kuznetsov V. G., The Railway Research Institute, (Poland); Manashkin L., Self-Employed (USA); Maruschak P. O., Ternopil Ivan Puluj National Technical University (Ukraine); Masiuk V. I., State University of Infrastructure and Technology (Ukraine); Pittman R., Antitrust Division of the USA. Department of Justice (USA); Raksha S. V., DNURT (Ukraine); Shinkarenko V. I., DNURT (Ukraine); Ślaskowski A., Politechnika Śląska w Gliwicach (Poland); Tiutkin O. L., DNURT (Ukraine); Vakulenko I. O., DNURT (Ukraine); Voronin S. V., UkrSURT (Ukraine); Zhukovitskiy I. V., DNURT (Ukraine)

Journal was registered	by the State Registration Service of the Ministry of Justice of Ukraine. Certificate of Registration KB no.19609-9409PR from 29.12.2012 Edition is included in category B «List of scientific specialized publications of Ukraine» by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine no. 409 from 17.03.2020 (technical sciences). Journal is registered in the International Catalogue of periodicals: Ulrichsweb™ Global Serials Directory, Crossref, Open Ukrainian Citation Index (OUCI), OCLC WorldCat, Google Scholar, DOAJ, Index Copernicus, Україніка наукова, etc. Published according to the Academic Council decision of the University from 06.09.2021, Protocol no. 1
Publisher	Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipro) Certificate of Publisher ДК no. 1315 from 31.03.2003
Address of Founder	Lazaryana St., 2, room 267, Dnipro, Ukraine, 49010, tel.: +38 (056) 371-51-05; e-mail: kolesnykova@diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua; journal site: http://stp.diit.edu.ua/

Edition is being published since 1936:

1936–1993 – «Труды Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта»;
1993–2002 – «Збірник наукових праць Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту» (за серіями);
2003–2012 – «Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна», (ISSN 1993-9175),
since 2013 – «Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна»

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

UDC 656.1/5:658.81

O. A. HODOSKINA^{1*}, O. Y. MOISEIENKOVA²

^{1*}Dep. «Economy of Transport», Belarusian State University of Transport, Kirova St., 34, Republic of Belarus, Gomel, 246653, tel. +37 (529) 730 35 91, e-mail hodoskinaolga@gmail.com, ORCID 0000-0003-2254-9638

²Dep. «Economy of Transport», Belarusian State University of Transport, Kirova St., 34, Republic of Belarus, Gomel, 246653, tel. +375 (29) 393 99 98, e-mail ektr@bsut.by, ORCID 0000-0001-6760-9927

Place of Transport in the Sales Policy of the Industrial Enterprise

Purpose. Currently, the organization of sales at the enterprise is the main and continuous process that provides the enterprise with its economic efficiency and bringing the goods to the consumer. The purpose of this work is to analyze and compare modes of transport and its role in the marketing of products by an enterprise. **Methodology.** To build a model for the marketing activity of an enterprise, as well as when modeling the mechanism of functioning of its organizational, economic and production structure and the place of transport in the structure of an industrial enterprise, elements of economic and mathematical modeling were used. Analysis of the data obtained allows you to choose the best method of transportation, which is extremely important to ensure that the needs of the enterprise, as well as the needs of consumers, are met. **Findings.** Marketing and logistics services of the enterprise need, having studied all the advantages and disadvantages of all types of transport, to choose the most optimal mode of transport when transporting goods. For the sale of its products, the enterprise should take into account that over time, the costs of different types of transport may change, and the transportation schemes should be revised. The paper compares the modes of transport and the structure of freight turnover by mode of transport (as a percentage of the total). **Originality.** The use of a mathematical apparatus in the construction of functional dependencies that make up a general economic and mathematical model that characterizes the organization of the marketing activities of an enterprise will allow not only to identify «weak» points, but also to adjust the marketing policy of the enterprise accordingly, relying not on abstract conclusions, but on the obtained clear dependencies. **Practical value.** The result is, first of all, a reduction in costs in the marketing policy of the enterprise and an increase in competitiveness, an increase in profits and maximum satisfaction of consumer requirements.

Keywords: transport; sales policy; industrial enterprise; consumer; products; Republic of Belarus

Introduction

The increasing complexity and dynamism of the economic environment, the increasing level of competition in the market for goods, works and services requires significant efforts from the management of an industrial enterprise to create an effective mechanism for its functioning, which, along with other areas of the enterprise's activities, can also be achieved by improving the marketing organization.

Organization of sales at the enterprise is the main and continuous process that provides the enterprise with its economic efficiency and bringing

the goods to the consumer. By improving the sales system and the quality of service organization in accordance with the needs of customers, the company strengthens its position in the market [1, 2, 4, 5].

In a highly competitive market environment, the problem of product sales is becoming more and more complicated, and it is already necessary not only to study demand and produce products, but also to choose a distribution channel and find reliable partners in the sales area. The production of products can develop steadily only when their sales are established and guaranteed, and this is difficult if the so-called «transport factor» is not taken into

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

account, i.e. direct organization of transportation as an element of the process of selling manufactured products to the consumer.

In the sales management system, it is necessary to subordinate and retain a certain part of the market, maintain superiority over competitors in the selected segment, and, as a result, make a profit from the sale of products (goods, works, services) of the enterprise. The best result for the enterprise here can be achieved only if the customer (buyer) is satisfied – and this is impossible if the products are delivered late or if the quality is inadequate as a result of violations of the transportation conditions. Therefore, modern enterprises of various sectors of the country's economy, which strive for dynamic development and occupy a stable position in the market in the conditions of market relations, pay close attention to the problems of optimizing the process of promoting goods from manufacturer to consumer.

The actual tasks of the sales policy of the enterprise, regardless of the sector of the economy to which it belongs, and the occupied market niche, are the following:

- timely and high-quality delivery of goods from the manufacturer to the consumer;
- ensuring high-quality work of marketing services and complex organization of the sales network;
- creation of official dealerships and shops;
- selection of the most optimal type of transport and transportation option, including the definition of the system and routes of movement of goods, work on the shipment and loading of goods.

It is not possible to solve these problems for the marketing service or the sales department locally, without interaction with other divisions of the enterprise. Therefore, in the course of its sales activities, the enterprise is brought into close interaction with other departments and divisions of the enterprise. An approximate diagram of such interaction is given in Fig. 1.

When considering each pair of elements of the presented scheme, it should be noted that the Sales department of the enterprise has indirect relationships with each department of the enterprise. So, interaction with the logistics department can be characterized by the presence of mandatory support for shipments to clients, and with the marketing department – by organizing promotional sup-

port and direct participation in market analysis. An integral part of the structure of an industrial enterprise is transport (represented by the transport department or the transport service of the enterprise), which is a system of technical means of the enterprise used for their own needs in order to load, unload and transport various materials, products, and other objects used by the nature of their activities. The main task of the transport sector is the implementation of uninterrupted transportation of all goods in accordance with the production process, the maintenance of vehicles in good working order, reducing the cost of transport and handling [3, 6–8, 9–12].

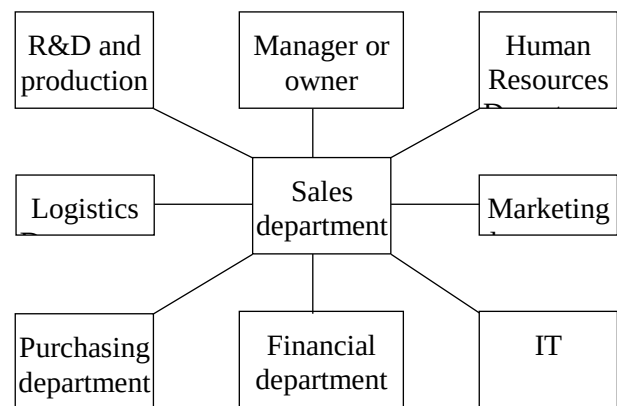


Fig. 1. Scheme of interaction of departments and divisions of an industrial enterprise

With the rational organization of the transport service at the enterprise, the cost of production is reduced, which ultimately leads to an increase in the profit of the enterprise and an increase in the profitability of its production.

Purpose

Currently, the organization of sales at the enterprise is the main and continuous process that provides the enterprise with its economic efficiency and bringing the goods to the consumer. The purpose of this work is to analyze and compare modes of transport and its role in the marketing of products by an enterprise.

Methodology

To build a model for the marketing activity of an enterprise, as well as when modeling the mechanism of functioning of its organizational, econom-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

ic and production structure and the place of transport in the structure of an industrial enterprise, elements of economic and mathematical modeling were used.

The place of transport in the structure of an industrial enterprise can also be determined from a mathematical point of view, using elements of economic and mathematical modeling to build a model for the marketing activity of an enterprise, as well as when modeling the mechanism of functioning of its organizational, economic and production structure. For example, if the marketing activities of an industrial enterprise are separated into a separate subsystem, then mathematically, its work in general can be described as follows:

$$f = \int_{t_0}^t f(p), \quad (1)$$

where $f(p)$ – is a function that characterizes the process of bringing goods directly from the manufacturer to the consumer, taking into account the use of vehicles, the corresponding delivery schemes; t_0, t – moments of time that characterize the immediate beginning and end of the process of bringing the goods to the consumer.

In this case, $f(p)$ is defined as a function that takes into account the level of transport services for the goods movement process, as well as logistics and forwarding (if necessary) services, and the marketing component. Thus, to construct the reduced function, it can be defined as follows:

$$f(p) = f(m, l, r, g) \in \begin{cases} f(m) \\ f(l) \\ f(r) \\ f(g) \end{cases}, \quad (2)$$

where $f(m)$ – is a function that characterizes the level of transport services for the goods movement process; $f(l)$ – is a function that characterizes the level of logistics services for the product distribution process; $f(r)$ – is a function that characterizes the need for forwarding service of the goods movement process; $f(g)$ – is a function that characterizes the marketing component of the product distribution process.

When considering these functions and substituting in them a set of initial data characterizing

a specific element of the production structure of an enterprise involved in the process of commodity circulation, the analysis of the data obtained allows you to choose the best method of transportation, which is extremely important to ensure that the needs of the enterprise, as well as the needs of consumers, are met.

Findings

Depending on the characteristics of technological processes and types of production at the enterprise, various vehicles are used – depending on the requirements (single, one type of transport or various combinations with the involvement of an external carrier or without). Therefore, the presence or absence of own vehicles or free access to them (as needed) affects the work of the enterprise and its financial side, which, of course, requires a professional approach to the procedure for organizing such activities.

Large industrial complexes of the Republic of Belarus are often characterized by the presence of their own transport departments, including those with their own vehicles. The company's own transport can be used both for internal movements (which leaves a certain imprint on the choice of vehicles for such purposes), and for direct delivery of products to the consumer. The internal transport of the enterprise is intended for the movement of goods between workshops, sections and workplaces. Internal transport is not only a means of moving goods, but also an instrument of labor that organizes the work of enterprise departments in a given rhythm or schedule. Domestic transport should ensure timely production of all types of vehicles and services; rationally organize the operation of vehicles and lifting mechanisms with minimal transportation costs; to develop the technical base and mechanization of transport processes.

External transport is intended for the delivery of raw materials, fuel, materials, equipment and other cargoes to enterprises, as well as for the export of finished products from the territory of enterprises to the points of their transfer to the main transport or directly to the consumer.

Enterprises of the industrial complex, faced with the need to deliver their goods to the consumer over long distances or due to the lack of their own transportation capabilities, can successfully choose any of the modes of transport widely repre-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

sented in the Republic of Belarus – rail, road, water, pipeline or air transport, depending on the requirements to the carriage of claims.

Rail transport is the most cost-effective mode of transport for long-distance transportation, where the transportation process is practically independent of weather conditions. Thus, freight operations on the Belarusian Railway are carried out by 228 stations, there are 6 enterprises for terminal handling of goods, 52 freight terminals. In 2020, work is also continuing to increase traffic volumes with the maximum use of the development opportunities of the western route of the North-South international transport corridor, container traffic China-Europe-China.

In terms of water transport, the cost of transporting cargo such as sand, coal, grain, oil and metal ores is very low. However, water transport has significant drawbacks – it is the slowest transport, and it is also significantly influenced by weather conditions.

Mainly pipeline transport is used to transport gas, oil and oil products. The cost of transporting oil products by oil pipelines is cheaper than by rail, but somewhat more expensive than by water. However, the limited list of goods suitable for transportation by pipeline makes the scope of its application also very limited.

Due to its flexibility and maneuverability, road transport allows you to use various route options and traffic schedules. It is used both for transporting goods over long distances and for delivery around the city. Also, the main advantage of road transport as a carrier is the ability to deliver cargo «door-to-door», i.e. the cargo is picked up from the consignor's warehouse and delivered immediately directly to the consignee. While when using rail or water transport, it is necessary to use road transport in addition to deliver the cargo «from door to door». Therefore, from the point of view of the organization of logistics services for the enterprise, the formation of its sales policy, road transport is a necessary link for the successful sale of products.

Despite the high cost of delivery, air transport is used when speed of distribution of products is important, a decrease in the level of inventory, a reduction in packaging costs, or the distance to the point of sale is large. Most often, air transport is used to transport perishable products (fresh flowers, fresh fish), as well as non-bulky items of

high value (such as appliances, jewelry). The widespread use of this type of transport for the implementation of their marketing policy is typical for enterprises that produce single products, the cost of which is very high, and, therefore, the transport costs associated with the use of air transportation will not significantly increase it.

The correct choice of an external carrier determines not only the speed of delivery and the condition of the goods at the time of arrival at the destination, but also the level of prices. Thus, an enterprise, when organizing the sale of its products, can choose any type of transport or its combination.

As noted above, all types of transport operating in the Republic of Belarus are actively used by industrial enterprises to bring their products to consumers. This is evidenced by the volume of cargo turnover by type of transport. The structure of freight turnover by type of transport is shown in Fig. 2.

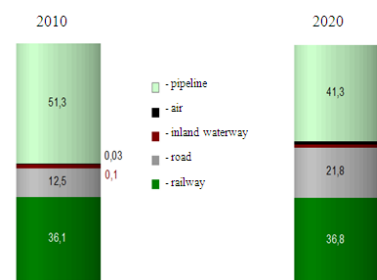


Fig. 2. Structure of freight turnover by mode of transport (as a percentage of the total)

According to Fig. 2, a large share of freight traffic falls on rail transport – 36.1% in 2010 and 36.8% in 2020, and road transport – 12.5% and 21.8%, respectively.

Each enterprise, based on its sales policy, must make a choice of transport, taking into account a number of factors:

- delivery speed – choice for air or road transport;
- minimum costs (delivery price) – choice of water or pipeline transport.

Many enterprises, thanks to containerization (loading goods into boxes or trailers), use two or more modes of transport in the sale and delivery of their products, which brings certain benefits to the sending enterprise. Also, when choosing and using transport for marketing its products, an enterprise should take into account that over time, the costs of

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

different types of transport may change, and the applied transportation schemes should be revised. The transport department, marketing department, logistics and other structural divisions must use up-to-date information and work in close cooperation with each other to achieve the most efficient organization of sales of manufactured products.

Originality and practical value

Based on the study of literature and scientific developments in the field of development and improvement of the sales policy of the enterprise, it was proposed that enterprises monitor and reorganize the sales system to maximize its compliance with the requirements of the market environment.

The use of the mathematical apparatus in the construction of functional dependencies that make up a general economic and mathematical model characterizing the organization of the marketing activities of an enterprise is a rather promising approach, since with a detailed mathematical description of functional elements, it becomes possible to predict the results of the organization of sales of both a specific product and the whole enterprise. This, in turn, will allow not only to detect «weak» points, but also to adjust the sales policy of the enterprise accordingly, relying not on abstract conclusions, but based on the obtained clear depend-

encies. However, the detailed construction of these constituent elements of the sales activity model of the enterprise is quite voluminous and laborious, and, therefore, within the framework of this article, only the model is given in general form and its approximate components are described that can be taken into account in practice.

The result in the case of a versatile and methodical approach to building a sales policy of an enterprise should be, first of all, a reduction in costs in its main areas and an increase in the competitiveness of the organization, an increase in profits and maximum satisfaction of customer requirements.

Conclusions

The correct sales policy will allow the company to maintain a stable level of sales throughout the entire business cycle, to meet the needs of various groups of the population in a timely manner, and to develop dynamically. For the successful implementation of the sales policy at the enterprise, it is necessary to be based on a scientifically grounded approach, constant monitoring and reorganization of the sales system must be carried out to increase its flexibility and maximum compliance with the requirements of the market environment.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Богомолова И. П., Василенко И. Н., Ибрагимов Р. И. Совершенствование организации сбытовой деятельности предприятия : теоретические аспекты, научно-прикладные решения. *Современная экономика : проблемы и решения*. 2019. Т. 8 (116). С. 37–49. DOI: <https://doi.org/10.17308/meps.2019.8/2177>
2. Кабанов Ф. О., Исаченко И. П. Логистика как инструмент повышения конкурентоспособности компании. *Тенденции развития науки и образования*. 2017. № 9. С. 28–31. DOI: <https://doi.org/10.18411/lj-30-11-2017-09>
3. Козлов П. А., Козлова В. П., Осокин О. В. Об экономической сущности транспорта. *Транспорт : наука, техника, управление*. 2020. № 2. С. 57–59. DOI: <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2020-02-10>
4. Плещенко В. И. К вопросу о выборе транспортировке при доставке продукции предприятий черной металлургии. *Логистика сегодня*. 2020. № 2. С. 140–144. DOI: <https://doi.org/10.36627/2500-1302-2020-2-2-140-144>
5. Рачинська А. В. Залізничний транспорт – складова матеріального виробництва держави. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2016. № 53. С. 61–65. DOI: <https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i53.73897>
6. Ходоскина О. А., Анасович В. Д., Хилькевич А. И. Роль транспортной логистики в деятельности промышленного предприятия. *Наука та прогрес транспорту*. 2019. № 2 (80). С. 49–59. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2019/164942>
7. Ходоскина О. А., Кирпичева С. А., Самсонова А. А., Швецова Е. А. Современные тенденции в развитии транспортно-логистических систем. *Наука та прогрес транспорту*. 2020. № 1 (85). С. 25–34. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/199736>

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

8. Шаркова А. В. Диагностика результатов производственно-сбытовой деятельности организаций. *Экономика в промышленности*. 2019. Т. 12, № 1. С. 89–96.
DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2019-1-89-96>
9. Antonowicz M., Zielaskiewicz H., Kornaszewski M. Development of logistic services in rail transport. *Transportation Overview – Przegląd Komunikacyjny*. 2019. Vol. 3. P. 12–20.
DOI: https://doi.org/10.35117/A_ENG_19_03_03
10. Hurskyi V. A., Hromova O. Y. Improvement of the sales policy of the enterprise. *Economics. Finances. Law*. 2020. № 11/1. P. 30–33. DOI: [https://doi.org/10.37634/efp.2020.11\(1\).6](https://doi.org/10.37634/efp.2020.11(1).6)
11. Janić M. Multicriteria Evaluation of Intermodal (Rail/Road) Freight Transport Corridors. *Logistics & Sustainable Transport*. 2020. Vol. 11. Iss.1. P. 1–23. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlst-2020-0001>
12. Yan X., Cao P., Zhang M., Liu K. The optimal production and sales policy for a new product with negative word-of-mouth. *Journal of Industrial & Management Optimization*. 2011. Vol. 7. Iss. 1. P. 117–137.
DOI: <https://doi.org/10.3934/jimo.2011.7.117>

О. А. ХОДОСКИНА^{1*}, О. Ю. МОЙСЕЕНКОВА²

^{1*}Каф. «Економіка транспорту», Білоруський державний університет транспорту, вул. Кірова, 34, Гомель, Республіка Білорусь, 246653, тел. +37 (529) 730 35 91, ел. пошта hodoskinaolga@gmail.com, ORCID 0000-0003-2254-9638

²Каф. «Економіка транспорту», Білоруський державний університет транспорту, вул. Кірова, 34, Гомель, Республіка Білорусь, 246653, тел. +375 (29) 393 99 98, ел. пошта ektr@bsut.by, ORCID 0000-0001-6760-9927

Місце транспорту в збутовій політиці промислового підприємства

Мета. У наш час організація збуту на підприємстві є головним і безперервним процесом, що забезпечує економічну ефективність підприємства і доведення товарів до споживача. Метою цієї роботи є аналіз і порівняння видів транспорту та визначення його ролі в збуті продукції підприємства. **Методика.** Для побудови моделі збутової діяльності підприємства, а також під час моделювання механізму функціонування його організаційно-економічної та виробничої структури й місця транспорту в структурі промислового підприємства використані елементи економіко-математичного моделювання. Аналіз отриманих даних дозволяє вибрати найкращий спосіб транспортування, що є надзвичайно важливим для забезпечення задоволення потреб підприємства, а також потреб споживачів. **Результати.** Службам маркетингу та логістичним службам підприємства необхідно, вивчивши переваги й недоліки всіх видів транспорту, вибрати найбільш оптимальний серед них для перевезення вантажів. У ході збуту своєї продукції підприємству слід враховувати, що з плином часу витрати різних видів транспорту можуть змінюватися, тому слід переглядати схеми транспортування. У роботі проведено порівняння видів транспорту і структури вантажообігу за видами транспорту (у відсотках до підсумку). **Наукова новизна.** Застосування математичного апарату під час побудови функціональних залежностей, які складають загальну економіко-математичну модель, що характеризує організацію збутової діяльності підприємства, дозволить не тільки виявити «слабкі» місця, але й коригувати збутову політику підприємства відповідним чином, спираючись не на абстрактні умовиводи, а ґрунтуючись на отриманих чітких залежностях. **Практична значимість.** Корисним результатом є, перш за все, скорочення витрат у збутовій політиці підприємства й підвищення конкурентоспроможності, збільшення прибутку й максимальне задоволення вимог споживачів.

Ключові слова: транспорт; збутова політика; промислове підприємство; споживач; продукція; республіка Білорусь

REFERENCES

1. Bogomolova, I. P., Vasilenko, I. N., & Ibragimov, R. I. (2019). Marketing activities improving of the enterprise: theoretical aspects, scientific application solutions. *Modern economics: problems and solutions*, 8(116), 37-49. DOI: <https://doi.org/10.17308/meps.2019.8/2177> (in Russian)
2. Kabanov, F. O., & Isachenko, I. P. (2017). Logistika kak instrument povysheniya konkurentosposobnosti kompanii. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*, 9, 28-31.
DOI: <https://doi.org/10.18411/lj-30-11-2017-09> (in Russian)

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

3. Kozlov, P. A., Kozlova, V. P., & Osokin, O. V. (2020). On the economic essence of transport. *Transport: science, technology, management*, 2, 57-59. DOI: <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2020-02-10> (in Russian)
4. Pleshchenko, V. I. (2020). K voprosu o vybore vida transportirovki pri dostavke produktsii predpriyatiy chernoy metallurgii. *Logistics Today*, 2, 140-144. DOI: <https://doi.org/10.36627/2500-1302-2020-2-2-140-144> (in Russian)
5. Rachynska, A.V. (2016). Rail transport – component manufacturing material state. *The bulletin of transport and industry economics*, 53, 61-65. DOI: <https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i53.73897> (in Ukrainian)
6. Hodoskina, O. A., Anasovich, V. D., & Hilkevich, A. I. (2019). The role of transport logistics in the activities of industrial enterprises. *Science and Transport Progress*, 2(80), 49-59. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2019/164942> (in Russian)
7. Hodoskina, O. A., Kirpicheva, S. A., Samsonova, A. A., & Shvetsova, E. A. (2020). Modern trends in the development of transport and logistics systems. *Science and Transport Progress*, 1(85), 24-34. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/199736> (in Russian)
8. Sharkova, A. V. (2019). Diagnosis the results of production and marketing activities of organizations. *Russian Journal of Industrial Economics*, 12(1), 89-96. DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2019-1-89-96> (in Russian)
9. Antonowicz, M., Zielaskiewicz, H., & Kornaszewski, M. (2019). Development of logistic services in rail transport. *Transportation Overview – Przegląd Komunikacyjny*, 2019(3), 12-20. DOI: https://doi.org/10.35117/A_ENG_19_03_03 (in English)
10. Hurskyi, V., & Hromova, O. (2020). Improvement of the sales policy of the enterprise. *Economics. Finances. Law*, 11/1, 30-33. DOI: [https://doi.org/10.37634/efp.2020.11\(1\).6](https://doi.org/10.37634/efp.2020.11(1).6) (in English)
11. Janić, M. (2020). Multicriteria Evaluation of Intermodal (Rail/Road) Freight Transport Corridors. *Logistics & Sustainable Transport*, 11(1), 123. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlst-2020-0001> (in English)
12. Yan, X., Cao, P., Zhang, M., & Liu, K. (2011). The optimal production and sales policy for a new product with negative word-of-mouth. *Journal of Industrial & Management Optimization*, 7(1), 117-137. DOI: <https://doi.org/10.3934/jimo.2011.7.117> (in English)

Received: March 29, 2021

Accepted: July 30, 2021

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

УДК 004.622:[004.94:519.17]

О. С. КУРОП'ЯТНИК^{1*}, Б. М. ЯКОВЕНКО^{2*}

^{1*}Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта olena.kurapiatnyk@gmail.com, ORCID 0000-0003-2286-884X

^{2*}Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта bohdanyakovenko98@gmail.com, ORCID 0000-0001-6174-0027

Визначення відповідності тексту алгоритму програми на основі конструктивно-продукційної моделі графа керування

Мета. Основною метою статті є розробка та програмна реалізація методу визначення відповідності тексту алгоритму програми, представленого у вигляді блок-схеми. **Методика.** Для зіставлення тексту програми та блок-схеми побудовано математичну модель їх перетворювачів у графове представлення з використанням апарату конструктивно-продукційного моделювання та його методів: спеціалізації, конкретизації, інтерпретації та реалізації. Графове представлення (графи) тексту будується з урахуванням операторів керування, блок-схеми – за json-файлом, що містить опис елементів схеми та їх зв'язків. Для порівняння графів застосовано метод пошуку в ширину з підрахунком кількості однакових вершин. Для програмної реалізації розробленого методу й моделей була застосована технологія об'єктно-орієнтованого програмування та CASE-технології, в основі яких лежить уніфікована мова моделювання UML. **Результати.** Запропоновано метод, що дозволяє представити текст та блок-схему програми в єдиному форматі орієнтованого графа (графа керування) та виконати оцінку їх відповідності за кількістю однакових вершин. Для його формалізації та автоматизованого використання розроблено конструктивно-продукційні моделі перетворювачів вхідних даних. На основі моделей та методу створено програмний додаток. **Наукова новизна.** Отримали подальший розвиток методи конструктивно-продукційного моделювання в задачах обробки текстів, написаних штучними мовами. Побудована система конструкторів, що виконує перетворення тексту програм мовою C++ у граф керування. **Практична значимість.** Результати роботи мають значення для розв'язання таких задач, як зіставлення текстів програм із метою виявлення запозичень, визначення відповідності алгоритмів програм їх програмним реалізаціям із метою поліпшення навичок кодування. Графове представлення, яке продукує розроблена система конструкторів, може бути застосоване для дослідження впливу оптимізації та рефакторингу коду на складність програм із використанням метрик МакКейба.

Ключові слова: конструктивно-продукційне моделювання; конструктор; графове представлення тексту; граф керування програми; алгоритм; відповідність алгоритму

Вступ

Невід'ємною частиною навчального процесу студентів спеціальності «Інженерія програмного забезпечення» є вивчення, побудова та реалізація алгоритмів. Важливо правильно інтерпретувати позначення, які використовують під

час запису алгоритму, оскільки це дозволяє коректно його реалізувати у вигляді програмного коду. Студентам для самоконтролю, а викладачам для оцінювання якості виконаної роботи необхідна перевірка відповідності написаного програмного коду розробленому алгоритму.

Процес перевірки ускладнюється такими фа-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

кторами як: складність алгоритму, що зумовлено великою кількістю складових (блоків) та їх вкладеністю; довжина реалізації алгоритму; можлива зміна та доповнення позначень змінних; великі обсяги даних (для викладача) тощо.

Автоматизація цього процесу дозволить усім його учасникам заощадити час. Для її реалізації необхідна розробка та формалізація методу визначення відповідності тексту й алгоритму програми, що передбачає побудову відповідних математичних моделей обробки вхідних даних. Вхідними даними є текст (код) програми, написаний мовою високого рівня, та алгоритм, представлений у вигляді блок-схеми.

Також сферою застосування зазначеного методу є перевірка документації, яка містить представлення алгоритмів та програм, на академічний плагіат. Така перевірка потребує зіставлення алгоритмів між собою та аналогічне зіставлення текстів. Наявні наукові роботи присвячені розв'язанню задачі виявлення плагіату в природомовних текстах [7, 8, 9], у тому числі у структурованих документах [10], у програмному коді [4, 11, 6]. Також програмні коди зіставляють для визначення алгоритмічної схожості [5]. Верифікація програм дозволяє визначити відповідність програми її специфікації [1, 2]. Проте задача зіставлення й визначення відповідності програмного коду алгоритму є невирішеною.

Мета

Основною метою даної роботи є розробка методу визначення відповідності тексту (програмного коду) алгоритму програми на основі їх конструктивно-продукційних (КП) моделей. Метод передбачає виконання алгоритмів перетворення вхідних даних у графі керування та їх подальше зіставлення.

Методика

Для визначення відповідності тексту й алгоритму програми пропонується метод на основі КП-моделювання. Метод має такі складові кроки:

1. Попередня обробка тексту програми, що передбачає видалення незначимих частин коду (коментарі, пробіли тощо) та його розбиття на лексеми.

2. Проміжне представлення тексту програми, отриманого на попередньому кроці, у вигляді списку керуючих елементів (реалізують алгоритмічні структури вибору та циклу, а також операції передачі керування) та елементів процесу (відповідають алгоритмічній конструкції слідування).

3. Побудова графа керування програми за списком керуючих елементів.

4. Побудова графа керування за алгоритмом програми, що представлений блок-схемою.

5. Зіставлення графів керування програми та алгоритму шляхом обходу в ширину [3].

Для моделювання побудови графа керування програми та його проміжного представлення у вигляді списку застосовуємо апарат конструктивно-продукційного моделювання [13, 14], в основі якого лежить поняття узагальненого конструктора:

$$C = \langle M, \Sigma, \Lambda \rangle, \quad (1)$$

де M – неоднорідний носій, який містить конструктивні елементи з атрибутами та може поповнюватися; Σ – сигнатура операцій (і відповідних відношень) зв'язування, підстановки й виведення, операцій над атрибутами; Λ – множина тверджень інформаційного забезпечення конструювання (ІЗК). ІЗК (конструктивна аксіоматика) містить онтологію, мету, правила, обмеження, початкові умови та умови завершення конструювання.

Призначення конструктора полягає у формуванні множин конструкцій за допомогою операцій сигнатури, які задають правилами ІЗК.

Для формування конструкцій необхідно виконувати ряд уточнюючих перетворень конструктора [13, 14]:

- спеціалізацію ($_{\mathcal{S}} \mapsto$) – визначення предметної області застосування конструктора;
- інтерпретацію ($_{\mathcal{I}} \mapsto$) – зв'язування операцій сигнатури з алгоритмами виконання деякої алгоритмічної структури;
- конкретизацію ($_{\mathcal{K}} \mapsto$) – розширення ІЗК множиною правил продукцій, завдання конкретних множин нетермінальних і термінальних символів із їх атрибутами і, за необхідності, значень атрибутів;
- реалізацію ($_{\mathcal{R}} \mapsto$) – послідовне виконання

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

операції виведення для побудови конструкцій.

Результати

Конструктор списку. Спеціалізований конструктор для перетворення програмного коду в проміжне представлення у вигляді списку має вигляд:

$$C = \langle M, \Sigma, \Lambda \rangle \mapsto C_T = \langle M_T, \Sigma_T, \Lambda_T \rangle, \quad (2)$$

де M_T – неоднорідний розширюваний носій, що складається з термінальних і нетермінальних елементів; Σ_T – множина операцій і відношень на елементах M_T ; Λ_T – ІЗК, що містить онтологію, мету, обмеження, правила, умови початку й завершення конструювання.

Онтологія конструктора C_T : розширюваний носій складається з множини термінальних і нетермінальних елементів $M_T = \{T_T \cup N_T\}$. Терміналами є $T_T = \{txt, list, \{P_i\}, \{O_i\}, \{Ob_i\}, \{L_i\}, \varepsilon\}$, де $txt \supset \{Ob_i\} \cup \{O_i\} \cup \{P_i\}$ – послідовність операторів програмного коду; $list$ – конструкція, що містить послідовність операторів програмного коду та допоміжних лексем; P_i – позначення процесу, що відповідає будь-якій послідовності операторів, що реалізує алгоритмічну структуру «слідування»; $\{O_i\} = \{return, break, continue\}$ – множина керуючих операторів без тіла; $\{Ob_i\} = \{if, else, do, while, for, switch, case, default\}$ – множина керуючих операторів, що можуть мати власне тіло; $\{L_i\} = \{“+”, “-”\}$ – множина допоміжних лексем для заповнення списку, ε – порожній елемент (символ).

Розглянемо сигнатуру:

$$\Sigma_T = \langle \Theta_T, \{\rightarrow\}, \{+\} \rangle \cup \Psi_G, \quad (3)$$

де $\Theta_T = \{\Rightarrow, \vdash, \Vdash\}$ – множина операцій виведення; $\rightarrow$ – відношення підстановки; Ψ_G – множина правил продукції виведення $\psi_i = \langle \hat{s}_i, \check{s}_i \rangle$, де i – номер правила, $\hat{s}_i$ – правило підстановки для розпізнавання тексту програмного коду, $\check{s}_i$ – правило підстановки для побудови стеку; $+(el, list)$

– операція додавання нової вершини до списку, де el – значення нової вершини, $list$ – список.

Метою конструювання є побудова проміжного представлення програмного коду у вигляді списку.

Обмеження конструктора C_T накладають конструкцією програмного коду.

Початкова умова конструювання: η – нетермінал, із якого починається побудова конструкції списку; α – нетермінал, із якого починається розпізнавання тексту програми.

Умова завершення конструювання: форма не містить нетерміналів, побудована конструкція списку відповідає програмному коду.

У результаті конкретизації конструктора $C_{T_K} \mapsto_K C_T$ маємо такі правила підстановки:

$$\hat{s}_0 = \langle \alpha \rightarrow \gamma \alpha \mid \beta \alpha \rangle; \quad (4)$$

$$\hat{s}_1 = \langle \beta \rightarrow P_1 \mid P_2 \dots P_n \rangle, \quad (5)$$

$$\check{s}_1 = \langle \eta \rightarrow +(p, list) \eta \rangle;$$

$$\hat{s}_2 = \hat{s}_3 = \langle \gamma \rightarrow C_1 \mid C_2 \dots C_n \rangle, \quad (6)$$

$$\check{s}_2 = \langle \eta \rightarrow +(Ob_i, list) +$$

$$+ (“+”, list) \eta + (“-”, list) \eta \rangle;$$

$$\check{s}_3 = \langle \eta \rightarrow +(O_i, list) \eta \rangle; \quad (7)$$

$$\check{s}_4 = \langle \eta \rightarrow \varepsilon \rangle. \quad (8)$$

У ході інтерпретації проведемо зв’язування операцій сигнатури Σ_T з алгоритмами їх виконання:

$$\langle C_T = \langle M_T, \Sigma_T, \Lambda_T \rangle, C_A = \langle M_A, \Sigma_A, \Lambda_A \rangle \rangle \mapsto$$

$$I \mapsto_{I, C_A} C_T = \langle M_T, \Sigma_T, \Lambda_1 \rangle, \quad (9)$$

де $M_A \supset V_A, V_A = \{A_i^0 \mid_{X_i}^{Y_i}\}$ – множина базових алгоритмів; X_i, Y_i – множини визначення та значень алгоритму $A_i^0 \mid_{X_i}^{Y_i}$;

$$\Lambda_A = \left\{ M_A = \bigcup_{A_i^0 \in V_A} \left(X(A_i^0) \subset Y(A_i^0) \right) \cup \Omega(C_T) \right\} -$$

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

неоднорідний носій; $\Omega(C_T)$ – множина конструкцій списків, які задовольняють C_T ; $\Lambda_1 = \Lambda_T \cup \Lambda_A \cup \Lambda_2$.

Конструктор $_{I,CA} C_T$ містить алгоритми виконання операцій: $\Lambda_2 = \left\{ \left(A_1^0 |_{A,A_j}^{A,A_j} \downarrow \cdot \right), \left(A_2^0 |_S^A \downarrow \cdot \right), \left(A_3^{list} |_{el,list} \downarrow + \right), \left(A_4 |_{l_h,l_q,l_i}^{f_i} \downarrow \Rightarrow \right), \left(A_5 |_{f_i,\Psi}^{f_j} \downarrow \Rightarrow \right), \left(A_6 |_{\sigma,\Psi}^{\Omega} \downarrow \Rightarrow \right) \right\}$.

Результатом реалізації конструктора (9) є множина конструкцій списків, які є проміжним представленням тексту програми та відповідного йому графа керування.

Конструктор графа. Спеціалізований конструктор для побудови графа керування програми за її проміжним представленням у вигляді списку керуючих операторів буде таким:

$$C = \langle M, \Sigma, \Lambda \rangle_S \mapsto C_G = \langle M_G, \Sigma_G, \Lambda_G \rangle, \quad (10)$$

де M_G – неоднорідний розширюваний носій; Σ_G – множина операцій і відношень на елементах M_G ; Λ_G – ІЗК.

Онтологія конструктора C_G : розширюваний носій складається з множини термінальних і нетермінальних елементів $M_G = \{T_G \cup N_G\}$. Терміналами є конструкції графів та їх складові, проміжне представлення програмних кодів у вигляді списків та допоміжних конструкцій:

$$T_G = \{G \cup V \cup E \cup list \cup stack_temp \cup \quad (11)$$

$$\cup stack_root \cup stack_break \cup stack_next$$

$$\cup stack_continue \cup stack_switch \cup$$

$$\cup temp \cup l_vertex\},$$

де $G = \langle V, E \rangle$ – конструкція графа; $V = \{v_i\}$, $E = \{e_i\}$ – множина вершин і дуг відповідно; $list$ – побудована конструкція C_T ; допоміжні конструкції-стеки вершин графа з навантаженням: у вигляді назв керуючих операторів – $stack_temp$, які є коренем підграфа, що утворюється під час роботи з операторами $\{if, else, while, for, case\}$ – $stack_root$; "break"

– $stack_break$; "continue" – $stack_continue$; які мають спільні дуги з вершиною, що буде додана – $stack_next$; "case" – $stack_switch$; $temp$ зберігає вершину допоміжних стеків, l_vertex зберігає вершину $list$. Допоміжні конструкції стеків є впорядкованими наборами елементів, що формуються за принципом LIFO.

Вершина графа має атрибути $w_v \downarrow v = \langle index, name \rangle$, де $index$ – індекс вершини, набуває цілочислових значень, $name$ – навантаження вершини. Атрибути дуги $w_e \downarrow e = \langle start, finish \rangle$, де $start, finish$ – цілочислові індекси інцидентних вершин.

Граф має атрибути $w_G = \langle begin, end, current_v, current_e \rangle$, де $begin$ – початкова вершина графу, end – кінцева вершина графа, $current_v = \langle name, index, prev \rangle$ – поточна вершина під час формування графа, де $prev$ – попередня вершина графа, $current_e = \langle start, finish \rangle$ – поточна дуга під час формування графа.

Атрибути вершини проміжного представлення програмного коду l_vertex – $w_l = \langle name, prev \rangle$, де $name$ – навантаження вершини списку, $prev$ – навантаження попередньої вершини списку.

Атрибути вершини допоміжного стеку $temp$ – $w_{ST} = w_v$.

Розглянемо сигнатуру Σ_G :

$$\Sigma_G = \langle \Xi_G, \Theta_G, \Phi_G, \{\rightarrow\} \rangle \cup \Psi_G, \quad (11)$$

де $\Xi_G = \left\{ \tilde{\cup}, \cup \right\}$ – множина операцій зв'язування;

$\Theta_G = \{\Rightarrow, \vdash, \parallel \Rightarrow\}$ – множина операцій виведення; $\Phi_G = \{\div, :=, \%, \#, +, -, _, \times\}$ – множина операцій над атрибутами; $\rightarrow$ – відношення підстановки.

Розглянемо операції над атрибутами:

– $\div(c, n, L)$ – виконання n операцій зі списку L , якщо $c = true$;

$a := b$ – присвоєння, копіює значення операнду b в a ;

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

- $\%(index, V)$ – знаходження навантаження вершини, індекс якої дорівнює $index$, у множині вершин V ;
- $\#Q$ – обчислення потужності множини, визначає число, яке дорівнює кількості елементів у Q ;
- $+(el, stack)$ – додавання елемента el до допоміжного стеку $stack$;
- $-(el, stack)$ – вилучення вершини допоміжного стеку $stack$ в el за умови, що $stack$ не порожній;
- $-(el, list)$ – вилучення вершини списку $list$ та збереженні її в el за умови, що $list$ не порожній;
- $\times(a, b)$ – множення двох чисел, передбачає знаходження третього числа, що є їхнім добутком.

Операція об'єднання графів $w_G \downarrow G = \tilde{\cup}(w_1 \downarrow G_1, w_2 \downarrow G_2)$ передбачає формування нового графа $w_G \downarrow G$, що містить об'єднані множини вершин і дуг вихідних графів $w_G \downarrow G = \langle V, E \rangle$, де $V = V_1 \cup V_2$, $E = E_1 \cup E_2$, $w_1 \downarrow G_1 = \langle V_1, E_1 \rangle$, $w_2 \downarrow G_2 = \langle V_2, E_2 \rangle$, при цьому $\cup$ – традиційна операція об'єднання.

Відношення підстановки має вигляд:

$$\psi_i = \langle s_i, g_i \rangle, \quad s_i = \langle \bar{s}_i, \tilde{s}_i \rangle, \quad g_i = \langle \bar{g}_i, \tilde{g}_i \rangle, \quad (12)$$

де $\bar{s}_i, \tilde{s}_i$ – відношення підстановки для роботи зі списком і побудови конструкції графа відповідно; $\bar{g}_i, \tilde{g}_i$ – операції над атрибутами списку та графа, його вершин і дуг відповідно. Якщо операцію над атрибутами не виконують, відношення підстановки має вигляд $\psi_i = \langle s_i, \varepsilon \rangle$.

Операція повного виведення $\|\Rightarrow(\Psi, w_l \downarrow l)$ та більш детальна інформація щодо інших операцій наведена в роботах [13, 14]. Результатом операції виведення є конструкції-граф.

Метою конструювання є побудова графа керування програми за проміжним представленням у вигляді $list \in \Omega(C_T)$.

Обмеження конструктора C_G накладають навантаженням вершин у списку.

Початкова умова конструювання: σ – нетермінал, із якого починається побудова конструкції графа керування; ρ – нетермінал, із якого починається вилучення вершин із $list \downarrow C_T$.

Умова завершення конструювання: форма не містить нетерміналів, конструкція списку порожня.

У результаті конкретизації конструктора $C_G \vdash_K C_G$ маємо нижченаведені правила підстановки.

Правило ініціалізації графа має вигляд:

$$\bar{s}_1 = \varepsilon, \quad \bar{g}_1 = \varepsilon; \quad (13)$$

$$\tilde{s}_1 = \langle \sigma \rightarrow G\alpha \rangle;$$

$$\tilde{g}_1 = \langle index \downarrow v_1 := 1, name \downarrow v_1 := "begin",$$

$$index \downarrow v_2 := 0, name \downarrow v_2 := "end", begin \downarrow G := v_1,$$

$$end \downarrow G := v_2, current \downarrow G := v_1, V = \{v_1, v_2\} \rangle.$$

Побудова графа передбачає вилучення вершини конструкції $list$ ($\bar{s}_2$), тому далі для правил $G\alpha$ та $G\beta$, якщо $\bar{s}_i$ або $\bar{g}_i$ не вказано, відповідно $\bar{s}_i = \bar{s}_2$, $\bar{g}_i = \bar{g}_2$, а для правил Gf , $G\beta$ та $G\sigma$, якщо $\bar{s}_i$ або $\bar{g}_i$ не вказано, $\bar{s}_i = \varepsilon$, $\bar{g}_i = \varepsilon$:

$$\bar{s}_2 = \langle \rho \rightarrow -(l \downarrow vertex, list) \rangle; \quad (14)$$

$$\bar{g}_2 = \varepsilon.$$

Правило для додавання нових вершин до графа має вигляд:

$$\tilde{s}_2 = \langle G\alpha_{d_1} \rightarrow \tilde{\cup}(G, G^*)\alpha \rangle; \quad (15)$$

$$\tilde{g}_2 = \langle \div(name \downarrow l \downarrow vertex = P \mid el \in \{Cb_i\} \setminus$$

$$\setminus \{ "do", "else" \}, 9, d_1 := true, G^* = V^* \cup E^*,$$

$$V^* = \{v\}, E^* = \{e\}, name \downarrow v := name \downarrow l \downarrow vertex,$$

$$index \downarrow v := \#G, start \downarrow e := index \downarrow current \downarrow G,$$

$$finish \downarrow e := index \downarrow v, current \downarrow G := v \rangle.$$

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Далі наведемо правила для додавання вершин до конструкції *stack_temp*:

– вершина "do":

$$\tilde{s}_3 = \langle G\alpha_{d_2} \rightarrow G\alpha \rangle; \quad (16)$$

$$\tilde{g}_3 = \langle \div (name \downarrow l_vertex = "+" \& name \downarrow prev \downarrow l_vertex = "do", 2, d_2 := true, +(-1 \times (\#G + 1), stack_temp)) \rangle.$$

– вершина "else":

$$\tilde{s}_4 = \langle G\alpha_{d_3} \rightarrow G\alpha \rangle; \quad (17)$$

$$\tilde{g}_4 = \langle \div (name \downarrow l_vertex = "+" \& name \downarrow prev \downarrow l_vertex = "else", 2, d_3 := true, +(-1, stack_temp)) \rangle;$$

– інші вершини:

$$\tilde{s}_5 = \langle G\alpha_{d_4} \rightarrow G\alpha \rangle; \quad (18)$$

$$\tilde{g}_5 = \langle \div (name \downarrow l_vertex = "+" \& name \downarrow prev \downarrow l_vertex \neq el \in \{ "do", "else" \}, 2, d_4 := true, +(index \downarrow current \downarrow G, stack_temp)) \rangle.$$

Правила для обробки різних вершин конструкцій мають вигляд:

– "return" конструкції *list*:

$$\tilde{s}_6 = \langle G\alpha_{d_5} \rightarrow \tilde{U}(G, G^*)\alpha \rangle; \quad (19)$$

$$\tilde{g}_6 = \langle \div (name \downarrow l_vertex = "return", 5, d_5 := true,$$

$$G^* = E^*, E^* = \{e\}, start \downarrow e_i := index \downarrow current \downarrow G,$$

$$finish \downarrow e_i := index \downarrow end \downarrow G \rangle;$$

– "break" конструкції *list*:

$$\tilde{s}_7 = \langle G\alpha_{d_6} \rightarrow G\alpha \rangle; \quad (20)$$

$$\tilde{g}_7 = \langle \div (name \downarrow l_vertex = "break", 2, d_6 := true,$$

$$+(index \downarrow current \downarrow G, stack_break)) \rangle;$$

– "continue" конструкції *list*:

$$\tilde{s}_8 = \langle G\alpha_{d_7} \rightarrow G\alpha \rangle; \quad (21)$$

$$\tilde{g}_8 = \langle \div (name \downarrow l_vertex = "continue", 2, d_7 := true, +(index \downarrow current \downarrow G, stack_continue)) \rangle;$$

– "--" конструкції *list*:

$$\tilde{s}_9 = \langle G\alpha_{d_8} \rightarrow G\phi\alpha \rangle; \quad (22)$$

$$\tilde{g}_9 = \langle \div (name \downarrow l_vertex = "--", 1, d_8 := true) \rangle;$$

– "else" конструкції *stack_temp*:

$$\tilde{s}_{10} = \langle G\phi_{d_9} \rightarrow G\phi \rangle; \quad (23)$$

$$\tilde{g}_{10} = \langle -(temp, stack_temp), \div (temp = -1, 2, d_9 := true, +(index \downarrow current \downarrow G, stack_root)) \rangle;$$

– "do" конструкції *stack_temp*:

$$\tilde{s}_{11} = \langle G\phi_{d_{10}} \rightarrow \tilde{U}(G\beta, G^*)\chi\phi \rangle; \quad (24)$$

$$\tilde{g}_{11} = \langle -(temp, stack_temp), \div (temp < -1, 5,$$

$$d_{10} := true, G^* = E^*, E^* = \{e\},$$

$$start \downarrow e_i := index \downarrow current \downarrow G,$$

$$finish \downarrow e_i := temp \times -1) \rangle.$$

Правило для додавання нової вершини до графа має вигляду:

$$\tilde{s}_{12} = \langle G\beta \rightarrow \tilde{U}(G, G^*) \rangle; \quad (25)$$

$$\tilde{g}_{12} = \langle G^* = V^* \cup E^*, V^* = \{v\}, E^* = \{e\},$$

$$name \downarrow v := name \downarrow l_vertex, index \downarrow v := \#G,$$

$$start \downarrow e := index \downarrow current \downarrow G,$$

$$finish \downarrow e := index \downarrow v, current \downarrow G := v \rangle.$$

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Правило для обробки вершин "while" та "for" конструкції $stack_temp$:

$$\tilde{s}_{13} = \langle G\phi_{d_{11}} \rightarrow \tilde{U}(G, G^*)\chi\phi \rangle; \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \tilde{g}_{13} = & \langle -(temp, stack_temp), \div (\%(temp, V) = \\ & = "while" | "for", 6, d_{11} := true, G^* = E^*, E^* = \{e\}, \\ & start \downarrow e_i := index \downarrow current \downarrow G, finish \downarrow e_i := temp, \\ & +(temp, stack_root)) \rangle. \end{aligned}$$

Далі подано правила для обробки вершин конструкцій $stack_root$ та $stack_continue$ у правилі $\tilde{s}_{13}$:

$$\tilde{s}_{14} = \langle G\chi \rightarrow \tilde{U}(G, G^*)\chi \rangle; \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \tilde{g}_{14} = & \langle G^* = E^*, E^* = \{e\}, -(temp, stack_root), \\ & start \downarrow e := temp, finish \downarrow e := finish \downarrow current_e \downarrow G \rangle; \end{aligned}$$

$$\tilde{s}_{15} = \langle G\chi \rightarrow \tilde{U}(G, G^*)\chi \rangle; \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \tilde{g}_{15} = & \langle G^* = E^*, E^* = \{e\}, \\ & -(temp, stack_continue), start \downarrow e := temp, \\ & finish \downarrow e := finish \downarrow current_e \downarrow G | \\ & | start \downarrow current_e \downarrow G \rangle; \\ & \tilde{s}_{16} = \langle \chi \rightarrow \varepsilon \rangle. \end{aligned} \quad (29)$$

Правила для обробки вершини "if" конструкції $stack_temp$:

$$\tilde{s}_{17} = \langle G\phi_{d_{12}} \rightarrow G\phi \rangle; \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \tilde{g}_{17} = & \langle -(temp, stack_temp), \div (\%(temp, V) = "if", \\ & 3, d_{12} := true, +(temp, stack_next), \\ & +(index \downarrow current \downarrow G, stack_root)) \rangle; \end{aligned}$$

$$\tilde{s}_{18} = \langle G\phi_{d_{13}} \rightarrow G\phi \rangle; \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \tilde{g}_{18} = & \langle -(temp, stack_temp), \div (\%(temp, V) = "if", \\ & 3, d_{13} := true, +(temp, stack_root), \\ & +(index \downarrow current \downarrow G, stack_root)) \rangle. \end{aligned}$$

Подано правило для обробки вершини "case" та "default" конструкції $stack_temp$:

$$\tilde{s}_{19} = \langle G\phi_{d_{14}} \rightarrow G\phi \rangle; \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \tilde{g}_{19} = & \langle -(temp, stack_temp), \div (\%(temp, V) = \\ & = "case" | "default", 2, d_{14} := true, \\ & +(temp, stack_switch)) \rangle. \end{aligned}$$

Правило для обробки вершини "switch" конструкції $stack_temp$ має вигляд:

$$\tilde{s}_{19} = \langle G\phi_{d_{15}} \rightarrow G\delta\phi \rangle; \quad (33)$$

$$\begin{aligned} \tilde{g}_{19} = & \langle -(temp, stack_temp), \div (\%(temp, V) = \\ & = "switch", 1, d_{15} := true) \rangle. \end{aligned}$$

Правила для обробки вершин конструкцій $stack_switch$:

$$\tilde{s}_{20} = \langle G\delta \rightarrow \tilde{U}(G, G^*)\delta \rangle; \quad (34)$$

$$\begin{aligned} \tilde{g}_{20} = & \langle G^* = E^*, E^* = \{e\}, -(temp, stack_switch), \\ & start \downarrow e := start \downarrow current_e \downarrow G, finish \downarrow e := temp \rangle; \end{aligned}$$

$$\tilde{s}_{21} = \langle \delta \rightarrow \varepsilon \rangle. \quad (35)$$

Правила для обробки вершини конструкції $stack_break$:

$$\tilde{s}_{22} = \langle G\phi \rightarrow G\phi \rangle; \quad (36)$$

$$\begin{aligned} \tilde{g}_{22} = & \langle -(temp, stack_break), \\ & +(temp, stack_next) \rangle; \end{aligned}$$

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

$$\tilde{s}_{23} = \langle \phi \rightarrow \varepsilon \rangle. \quad (37)$$

Правило для обробки вершини конструкції $stack_next$ має вигляд:

$$\tilde{s}_{24} = \langle G\alpha \rightarrow \tilde{U}(G, G^*)\alpha \rangle; \quad (38)$$

$$\tilde{g}_{24} = \langle G^* = E^*, E^* = \{e\}, -(temp, stack_next),$$

$$start.\downarrow e := temp, finish.\downarrow e := index.\downarrow current_v.\downarrow G \rangle.$$

Правило для обробки вершини конструкції $stack_root$:

$$\tilde{s}_{25} = \langle G\alpha \rightarrow \tilde{U}(G, G^*)\alpha \rangle; \quad (39)$$

$$\tilde{g}_{25} = \langle G^* = E^*, E^* = \{e\}, -(temp, stack_root),$$

$$start.\downarrow e := temp, finish.\downarrow e := index.\downarrow current_v.\downarrow G | \\ | index.\downarrow end.\downarrow G \rangle.$$

Правила для додавання дуги до останньої вершини графа:

$$\tilde{s}_{26} = \langle G\alpha \rightarrow \tilde{U}(G, G^*)\alpha \rangle; \quad (40)$$

$$\tilde{g}_{26} = \langle G^* = E^*, E^* = \{e\},$$

$$start.\downarrow e := index.\downarrow current_v.\downarrow G,$$

$$finish.\downarrow e := index.\downarrow end.\downarrow G \rangle.$$

Наступне правило дозволяє завершити обробку вершин конструкції $stack$:

$$\tilde{s}_{27} = \langle \alpha \rightarrow \varepsilon \rangle. \quad (41)$$

У ході інтерпретації проведено зв'язування операцій сигнатури Σ_G з алгоритмами їх виконання:

$$\langle C_G = \langle M_G, \Sigma_G, \Lambda_G \rangle, C_{A'} = \langle M_{A'}, \Sigma_{A'}, \Lambda_{A'} \rangle \rangle_I \mapsto \\ I \mapsto_{I, C_{A'}} C_G = \langle M_G, \Sigma_G, \Lambda_3 \rangle, \quad (42),$$

де $M_{A'} \supset V_{A'}, V_{A'} = \{A_i^0 |_{X_i}^{Y_i}\}$ – множина базових алгоритмів; X_i, Y_i – множини визначення та значень алгоритму $A_i^0 |_{X_i}^{Y_i}$;

$\Lambda_{A'} = \left\{ M_{A'} = \bigcup_{A_i^0 \in V_{A'}} (X(A_i^0) \subset Y(A_i^0)) \cup \Omega(C_G) \right\}$ – неоднорідний носій; $\Omega(C_G)$ – множина конструкцій графів, які задовольняють C_G ; $\Lambda_3 = \Lambda_G \cup \Lambda_{A'} \cup \Lambda_4$.

Конструктор $_{I, C_A} C_G$ містить алгоритми виконання операцій:

$$\Lambda_4 = \left\{ \left(A_1^0 |_{A_i, A_j}^{A_i, A_j} \downarrow \cdot \right), \right. \\ \left(A_2^0 |_S^A \downarrow \cdot \right), \left(A_3 |_{l_h, l_q, f_i}^{f_i} \downarrow \Rightarrow \right), \left(A_4 |_{f_i, \Psi}^{f_i} \downarrow \Rightarrow \right), \\ \left(A_5 |_{\sigma, \Psi}^{\bar{\Omega}} \downarrow \Rightarrow \right), \left(A_6 |_{c, n, L}^L \downarrow \div \right), \left(A_7 |_{a, b}^a \downarrow := \right), \\ \left(A_8 |_{index, V}^{name} \downarrow \% \right), \left(A_9 |_Q^x \downarrow \# \right), \left(A_{10} |_{el, stack}^{stack} \downarrow + \right), \\ \left(A_{11} |_{el, stack}^{el} \downarrow - \right), \left(A_{12} |_{el, list}^{el} \downarrow - - \right), \left(A_{13} |_{a, b}^c \downarrow \times \right), \\ \left. \left(A_{14} |_{Q_1, Q_2}^Q \downarrow \cup \right), \left(A_{15} |_{G_1, G_2}^G \downarrow \bar{\cup} \right) \right\}.$$

Результатом реалізації конструктора (42) є множина конструкцій графів керування, побудованими за конструкціями з $\Omega(C_T)$.

Таким чином, правила (13) – (41) дозволяють перетворити текст програми, попередньо побудований за правилами (4) – (8), у граф керування. При цьому враховані оператори керування $\{C_i\} \cup \{Cb_i\}$. Інші оператори мають уніфіковане представлення у вигляді вершини-процесу.

Приклад використання моделі. Розглянемо приклад побудови графа керування для функції знаходження мінімуму з двох чисел, написаної мовою програмування C++. Програмний код функції:

```
int min(int a, int b)
{
    int _min = a;
    if(_min > b) _min = b;
    return _min;
}
```

Наведений код було перетворено в *list*-конструкцію, побудовану за допомогою C_T (рис. 1, а). Head – голова списку, принцип роботи

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

списку – FIFO. Граф потоку керування (рис. 1, б) будуємо за допомогою послідовного виконання правил:

$$\begin{aligned} \sigma_1 \rightarrow G\alpha_2 \rightarrow \tilde{U}(G, G^*)\alpha_2 \rightarrow, \\ 2 \rightarrow \tilde{U}(G, G^*)\alpha_5 \rightarrow G\alpha_2 \rightarrow \tilde{U}(G, G^*)\alpha_9 \rightarrow \\ 9 \rightarrow G\phi\alpha_{18} \rightarrow G\phi_{23} \rightarrow G\alpha_{25} \rightarrow \\ 25 \rightarrow \tilde{U}(G, G^*)\alpha_{25} \rightarrow \tilde{U}(G, G^*)\alpha_{27} \rightarrow \\ 27 \rightarrow \epsilon, \end{aligned} \quad (44)$$

де числові індекси стрілки є i -індексами правила $\tilde{S}_i$.

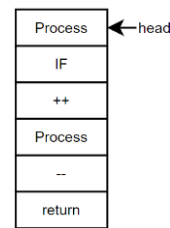
На рис. 1, б вершини графа містять позначки вершини списку, яким відповідають, а також номери вершини, що зазначено в дужках.

Об'єктно-орієнтована модель графа керування програми. Для зіставлення алгоритмів, представлених у вигляді блок-схем, та текстів програм подамо їх як графи керування. Граф керування будуємо за блок-схемою алгоритму, створеною в онлайн-редакторі [12]. Цей редактор дозволяє отримати схему у форматі json, розбір якого відбувається в такому порядку:

1. побудова проміжної моделі блок-схеми, що містить два класи, які відповідають за зчитування даних із файлу .json;

2. побудова графа керування на основі моделі блок-схеми, побудованої на попередньому кроці.

$a - a$



$b - b$

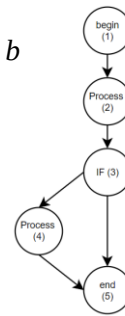


Рис. 1. Схема конструкцій, побудованих C_T і C_G : a – список керуючих операторів; b – граф керування

Fig. 1. Scheme of structures constructed by C_T and C_G : a – list of control operators; b – control graph

Граф керування програми будуємо за моделлю, описаною в (2) – (41).

Для програмної реалізації моделі графа керування програми виконаємо її об'єктно-орієнтоване (ОО) моделювання з використанням UML. Реалізацію моделі покладено на класи: PreprocessingCode, LexicalAnalysis, Graph (рис. 2).

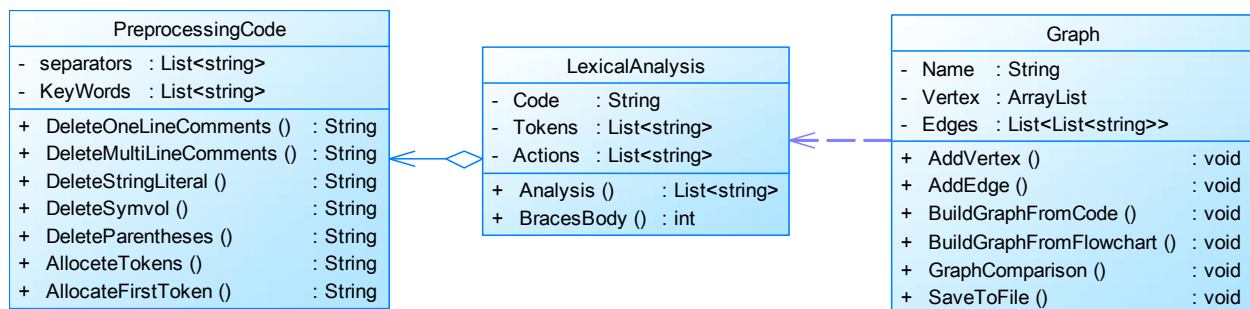


Рис. 2. Класове представлення конструкторів списку та графа керування

Fig. 2. Class representation of list and control graph constructors

Розглянемо відповідність алгоритмів конструктора стеку (9) методам класів (рис. 2):

A_1^0 – композиція алгоритмів – присутній у всіх методах, оскільки кожен із них складається з декількох підалгоритмів, таких як присвоєння, порівняння, об'єднання та інші;

A_2^0 – умовне виконання алгоритму – присутній у всіх методах, оскільки кожен із них містить оператор умовного виконання, що визначає використання тих чи інших алгоритмів;

A_3 – додавання вершини до списку – реалізовано методом LexicalAnalysis::BracesBody();

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

$A_4 - A_6$ – реалізовано методом `LexicalAnalysis::BracesBody()`, вони дозволяють послідовно заповнити стек.

Розглянемо відповідність алгоритмів конструктора графа (42) методам класів (рис. 1):

A_1^0, A_2^0 – відповідають алгоритмам, описаним у конструкторі списку;

$A_3 - A_5$ – реалізовано методом `Graph::BuildGraphFromCode()`, вони дозволяють послідовно побудувати граф;

A_6 – умовне виконання списку операцій – присутній у всіх методах;

A_7 – присвоєння операндів – присутній у всіх методах;

A_8 – пошук вершини графа за індексом – реалізовано у методі `Graph::BuildGraphFromCode()`;

A_9 – обчислення потужності множини – реалізовано у вигляді параметрів атрибутів класів;

A_{10} – додавання елемента до допоміжного стеку – реалізовано у методі `Graph::BuildGraphFromCode()`;

A_{11} – вилучення вершини допоміжного стеку – реалізовано у методі `Graph::BuildGraphFromCode()`;

A_{12} – вилучення вершини списку конструкції, побудованої конструктором C_T , – реалізовано у методі `Graph::BuildGraphFromCode()`;

A_{13} – множення двох чисел – реалізовано у методі `Graph::BuildGraphFromCode()`;

A_{14}, A_{15} – об'єднання множин та графів відповідно – реалізовано у методі `Graph::BuildGraphFromCode()`.

Порівняння графів, що відповідають тексту й алгоритму програми, виконуємо на основі методу пошуку в ширину: алгоритм перераховує всі досяжні з S вершини в порядку зростання відстані від S [1]. Перегляд вершин є паралельним на обох графах, а вершини помічають, якщо вони збігаються в обох графах.

Далі схожість графів виражаємо в числовому еквіваленті за формулою:

$$Match(A, B) = \frac{|A'| + |B'| - 2}{|A| + |B| - 2} \times 100, \quad (43)$$

де A, B – досліджувані графи; $|A|, |B|$ – кількість вершин у відповідних графах; $|A'|, |B'|$ – кількість помічених вершин. За порівняння графів відповідає метод `Graph::GraphComparison()`.

Для використання побудованих графових моделей та повної реалізації методу визначення відповідності тексту й алгоритму програми було розроблено та реалізовано ОО-модель додатку з GUI (рис. 3).

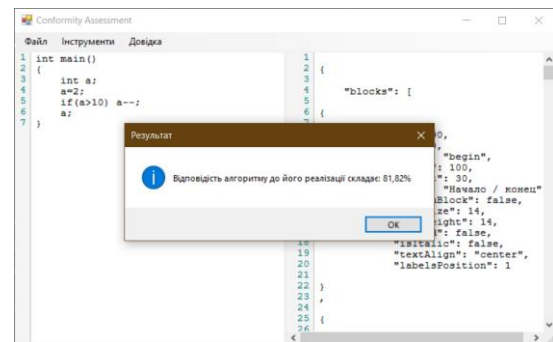


Рис. 3. Вікно додатку для зіставлення тексту й алгоритму програми

Fig. 3. Application window for comparing the text and algorithm of the program

Таким чином, метод для визначення відповідності програмного коду алгоритму, який він реалізує, передбачає використання розробленої системи конструкторів для перетворення програмного коду в граф керування. На її основі побудована об'єктно-орієнтована модель для конструювання графа керування програми та графа керування алгоритму.

Модель реалізовує побудову графів програми, алгоритму та їх порівняння, тобто повністю виконує кроки запропонованого методу.

Наукова новизна та практична значимість

У роботі отримали подальший розвиток методи конструктивно-продукційного моделювання в задачах обробки текстів, написаних штучними мовами. Запропоновано метод зіставлення алгоритму та його програмної реалізації. Метод передбачає використання розробленої системи конструкторів, що виконує перетворення тексту програм мовою C++ у граф керування для пода-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

льшого зіставлення з алгоритмом. Отримані результати мають значення для розв'язання таких задач, як зіставлення текстів програм із метою виявлення запозичень, визначення відповідності алгоритмів програм їх програмним реалізаціям із метою поліпшення навичок кодування. Графове представлення, яке продукує розроблена система конструкторів, може бути застосоване для дослідження впливу оптимізації та рефакторингу коду на складність програм із використанням метрик МакКейба.

Висновки

Запропоновано метод визначення відповідності тексту алгоритму програми. Використання апарату конструктивно-продукційного моделювання дозволило формалізувати процеси побудови графа керування програми, при цьому можливість розширення множини правил інформаційного забезпечення конструктора дає можливість в майбутньому врахувати класову структуру програми та модульність у цілому. Наявність поповнюваного носія в конструкторі дозволяє розширити модель для інших мов програмування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ивутин А. Н., Трошина А. Н. Метод формальной верификации параллельных программ с использованием сетей Петри. *Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета*. 2019. № 70. С. 15–26. DOI: <https://doi.org/10.21667/1995-4565-2019-70-15-26>
2. Кондратьев Д. А., Марьясов И. В., Непомнящий В. А. Автоматизация верификации С-программ с использованием символического метода элиминации инвариантов циклов. *Моделирование и анализ информационных систем*. 2018. № 25 (5). С. 491–505. DOI: <https://doi.org/10.18255/1818-1015-2018-5-491-505>
3. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. *Алгоритмы. Построение и анализ*. Москва : Вильямс, 2005. 1296 с.
4. Малышев Е. В., Смелов В. В. Алгоритм распознавания плагиатов кодов программ. *Труды БГТУ*. 2018. № 1 (206). С. 135–138.
5. Никитин В. Д., Иванов А. П. Разработка методов оценки сходства алгоритмов на основе графовых моделей. *Magyar Tudományok Journal*. 2018. № 23. С. 36–41.
6. Сарвар С., Кайум З. Уль, Сафьян М., Икбал М., Махмуд Я. Выявление характерных особенностей программ для борьбы с компьютерным пиратством на основе интеллектуального анализа графов. *Труды Института системного программирования РАН*. 2019. № 31 (2). С. 171–186. DOI: [https://doi.org/10.15514/ispras-2019-31\(2\)-12](https://doi.org/10.15514/ispras-2019-31(2)-12)
7. Шинкаренко В. И., Куропятник Е. С. Проблемы выявления плагиата и анализ инструментального программного обеспечения для их решения. *Наука та прогрес транспорту*. 2017. № 1 (67). С. 131–142. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/94034>
8. Khaled F., H., Al-Tamimi M. S. Plagiarism Detection Methods and Tools : An Overview. *Iraqi Journal of Science*. 2021. № 62 (8). P. 2771–2783. DOI: <https://doi.org/10.24996/ij.s.2021.62.8.30>
9. Kulkarni S., Govilkar S., Amin D. Analysis of Plagiarism Detection Tools and Methods. *SSRN Electronic Journal*. 2021. № 1. P. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3869091>
10. Kuropiatnyk O., Shynkarenko V. Text Borrowings Detection System for Natural Language Structured Digital Documents. *COLINS 2020. Computational Linguistics and Intelligent Systems. Proceedings of the 4th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS 2020)* (Lviv, 23–24 April 2020). Lviv, 2020. Vol. 2604. P. 294–305.
11. Pandit A. A., Toksha G. Review of plagiarism detection technique in source code. *International Conference on Intelligent Computing and Smart Communication 2019*. 2020. P. 393–405. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-0633-8_38
12. *Programforyou : редактор блок-схем*. URL: <https://programforyou.ru/block-diagram-redactor>

13. Shynkarenko V. I., Ilman V. M. Constructive-Synthesizing Structures and Their Grammatical Interpretations. i. Generalized Formal Constructive-Synthesizing Structure. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2014. Vol. 50. Iss. 5. P. 665–672. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-014-9655-z>
14. Shynkarenko V. I., Ilman V. M. Constructive-Synthesizing Structures and Their Grammatical Interpretations. II. Refining Transformations*. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2014. Vol. 50. Iss. 6. P. 829–841. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-014-9674-9>

O. S. KUROIPIATNYK^{*1}, B. M. YAKOVENKO^{*2}

^{1*}Dep. «Computer Information Technology», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail olena.kuropiatnyk@gmail.com, ORCID 0000-0003-2286-884X

^{2*}Dep. «Computer Information Technology», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail bohdanyakovenko98@gmail.com, ORCID 0000-0001-6174-0027

Identification of the Program Text and Algorithm Correspondence Based on the Control Graph Constructive-Synthesizing Model

Purpose. The main article purpose is to develop and implement the method for identifying the correspondence between the text and the program algorithm represented in the form of a flowchart. As part of the method work conversion of the input data in the graph representation is performed by means of constructive-synthesizing modelling. **Methodology.** To compare the program text and flowchart, we constructed a mathematical model for converting the program code into a graphical representation on the basis of control structures. To build the model, the apparatus of constructive-synthesizing modeling and its methods were used: specialization, concretization, interpretation and implementation. The graph representation of the text is created taking into account the control operators; the flowcharts are created using a json file containing the description of the diagram elements and their links. To compare the graphs we use the breadth-first search algorithm with the number of identical vertices being counted. To obtain the software implementation of the developed method and models we used the technology of object-oriented programming and CASE-technologies, which are based on the unified modeling language UML. **Findings** A method is proposed to present the text and the flowchart of the program in a uniform format of the directed graph (control graph) and to evaluate their correspondence by the number of identical vertices. For its formalization and automated usage, we developed constructive-synthesizing models of input data transformers. The program application was developed based on the models and the method. **Originality.** The methods of constructive-synthesizing modeling in the tasks of processing texts written in artificial languages were further developed. We developed the system of constructors, which transforms text program in C++ into a control graph. **Practical value.** The results are significant for solving such tasks as assembling program texts for borrowings detection, determining the correspondence of the program algorithms and their software implementations to improve coding skills. The graph representation produced by the developed system of constructors can be used for investigation of influence of optimization and code refactoring on the program complexity using McCabe's metrics.

Keywords: constructive-synthesizing modelling; constructor; graph representation of the text; program control graph; algorithm; algorithm correspondence

REFERENCES

1. Ivutin, A. N., & Troshina, A. G. (2019). Petri-net based method of parallel programs formal verification. *Vestnik of Ryazan State Radio Engineering University*, 70, 15-26. DOI: <https://doi.org/10.21667/1995-4565-2019-70-15-26> (in Russian)
2. Kondratyev, D., Maryasov, I., & Nepomniaschy, V. (2018). The Automation of C Program Verification by Symbolic Method of Loop Invariants Elimination. *Modeling and Analysis of Information Systems*, 25(5), 491-505. DOI: <https://doi.org/10.18255/1818-1015-2018-5-491-505> (in Russian)
3. Cormen, Th., Leiserson, Ch., Rivest, R., & Stein, C. (2005). *Introduction to Algorithms*. Moscow: Vilyams. (in Russian)

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

4. Malyshev, Ye. V., & Smelov, V. V. (2018). Plagiarism detecting algorithms for software code. *Proceedings of BSTU*, 1(206), 135-138. (in Russian)
5. Nikitin, V. D., & Ivanov, A. P. (2018). Development of Methods for Assessing the Similarity of Algorithms Based on Graph Models. *Magyar Tudományos Journal*, 23, 36-41. (in Russian)
6. Sarwar, S., Qayyum, Z. Ul., Safyan, M., Iqbal, M., & Mahmood, Y. (2019). Graphs Resemblance based Software Birthmarks through Data Mining for Piracy Control. *Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS*, 31(2), 171-186. DOI: [https://doi.org/10.15514/ispras-2019-31\(2\)-12](https://doi.org/10.15514/ispras-2019-31(2)-12) (in Russian)
7. Shynkarenko, V. I., & Kuropiatnyk, O. S. (2017). Plagiarism detection problems and analysis software tools for its solve. *Science and Transport Progress*, 1(67), 131-142. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/94034> (in Russian)
8. Khaled, F., & H. Al-Tamimi, M. S. (2021). Plagiarism Detection Methods and Tools: An Overview. *Iraqi Journal of Science*, 62(8), 2771-2783. DOI: <https://doi.org/10.24996/ijss.2021.62.8.30> (in English)
9. Kulkarni, S., Govilkar, S., & Amin, D. (2021). Analysis of Plagiarism Detection Tools and Methods. *SSRN Electronic Journal*, 1, 1-7. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3869091> (in English)
10. Kuropiatnyk, O., & Shynkarenko, V. (2020). Text Borrowings Detection System for Natural Language Structured Digital Documents. In *COLINS 2020. Computational Linguistics and Intelligent Systems. Proceedings of the 4th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS 2020)* (Vol. 2604, pp. 294-305). Lviv, Ukraine. (in Ukrainian)
11. Pandit, A. A., & Toksha, G. (2019). Review of Plagiarism Detection Technique in Source Code. In *Algorithms for Intelligent Systems*. (pp. 393-405). DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-0633-8_38
12. *Programforyou: redaktor blok-skhem*. Retrieved from <https://programforyou.ru/block-diagram-redactor> (in Russian)
13. Shynkarenko, V. I., & Ilman, V. M. (2014). Constructive-Synthesizing Structures and Their Grammatical Interpretations. i. Generalized Formal Constructive-Synthesizing Structure. *Cybernetics and Systems Analysis*, 50(5), 655-662. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-014-9655-z> (in English)
14. Shynkarenko, V. I., & Ilman, V. M. (2014). Constructive-Synthesizing Structures and Their Grammatical Interpretations. II. Refining Transformations*. *Cybernetics and Systems Analysis*, 50(6), 829-841. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-014-9674-9> (in English)

Надійшла до редколегії: 29.03.2021

Прийнята до друку: 30.07.2021

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.4.027.31-272.82:519.87

А. Я. КУЗИШИН^{1*}, С. А. КОСТРИЦЯ², Ю. Г. СОБОЛЕВСЬКА³, А. В. БАТІГ^{4*}

^{1*}Каф. «Рухомий склад і колія», Львівська філія Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. І. Блажкевич, 12-а, Львів, Україна, 79052, тел. +38 (032) 267 99 74, ел. пошта kuzyshyn1993@gmail.com, ORCID 0000-0002-3012-5395

²Каф. «Теоретична та будівельна механіка», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 11, ел. пошта kossa571@gmail.com, ORCID 0000-0002-7922-0975

³Каф. «Фундаментальні дисципліни», Львівська філія Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. І. Блажкевич, 12-а, Львів, Україна, 79052, тел. +38 (032) 267 99 74, ел. пошта sobolevskyu@gmail.com, ORCID 0000-0002-8087-2014

^{4*}Лаб. «Залізнично-транспортні дослідження», Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, вул. Липинського, 54, Львів, Україна, 79024, тел. +38 (032) 231 76 13, ел. пошта batigasha1992@gmail.com, ORCID 0000-0003-1205-6004

Світовий досвід створення математичних моделей пневматичної ресори: переваги та недоліки

Мета. Враховуючи потреби виробництва та впровадження в експлуатацію сучасного швидкісного рухомого складу з удосконаленою системою амортизації, автори передбачають провести аналіз створених на цей час математичних моделей динамічної поведінки пневматичної ресори, систематизувати їх та з'ясувати переваги й недоліки кожного з типів моделей. **Методика.** Для проведення аналізу використано порівняльно-хронологічний метод, який дає можливість простежити розвиток наявних концепцій і теорій. Залежно від типу розв'язувальних рівнянь наявні моделі пневматичних ресор було поділено на три групи: механічні, термодинамічні та скінченноелементні. Під час аналізу оцінено можливість врахування в моделі конструктивних особливостей ресори, теплопередачі, нелінійності характеристик матеріалів, форми мембрани, частоти збурювальної сили та ін. **Результати.** Показано, що особливістю механічних моделей є визначення вхідних параметрів на основі аналізу експериментальних результатів, яке вимагає доступу до складного вимірювального обладнання та яке потрібно виконувати для кожної нової моделі пневматичної ресори окремо. На відміну від механічних моделей, які дозволяють урахувати демпфувальний ефект пневморесори в горизонтальному та вертикальному напрямку, термодинамічні моделі переважно орієнтовані на дослідження динамічної поведінки пневматичної ресори у вертикальному напрямку. Використання методу скінченних елементів дозволяє найбільш точно відтворити динамічну поведінку пневматичної ресори, проте вимагає значних затрат сил та часу на створення скінченноелементної моделі й виконання розрахунків. **Наукова новизна.** Систематизовано математичні моделі динамічної поведінки пневматичної ресори та підкреслено важливість їх використання під час досліджень руху швидкісного залізничного рухомого складу. **Практична значимість.** Проведений аналіз математичних моделей динамічної поведінки пневматичної ресори показує шляхи подальшого їх удосконалення, вказує на можливість їх використання в просторовій математичній моделі рухомого складу відповідно до поставлених задач. Це дозволить ще на етапі проектування швидкісного рухомого складу оцінювати його динамічні показники та показники безпеки руху під час взаємодії з рейковою колією.

Ключові слова: пневматична ресора; рухомий склад; математична модель; жорсткість; демпфування; термодинаміка; тиск; температура

Вступ

Відповідно до Стратегії АТ «Укрзалізниця» на 2019–2023 роки, однією із загальних ініціатив бізнес-вертикалі є оновлення парку пасажирського та моторвагонного рухомого складу [5]. Оновлені вагони повинні гарантувати безпеку пасажирів та вантажів в умовах прискореного руху поїздів та, у найближчому майбутньому, швидкісного руху зі швидкостями від 161 до 200 км/год. Відповідно, важливими й актуальними постають питання проєктування швидкісного рухомого складу та його окремих конструкційних вузлів, створення надійної системи амортизації вагонів у процесі руху, розподілу мережі на лінії з вантажним і пасажирським рухом.

В Україні провідним підприємством у сфері впровадження в експлуатацію сучасного швидкісного рухомого складу є Крюківський вагонобудівний завод. В останніх розробках підприємства в конструкцію механічної частини рухомого складу було внесено зміни в частині використання в центральній ступені ресорного підвищення пневматичних ресор. Як показує досвід експлуатації, указана особливість дозволяє не тільки поліпшити динамічні показники рухомого складу, але й за рахунок примусового нахилу кузова вагона у кривій ділянці колії здійснювати вантажний та пасажирський швидкісний рух у межах однієї колії.

Основною особливістю застосування пневматичної ресори є отримання суттєво нелінійної силової характеристики з'єднання елементів конструкції за її обмежених габаритів та самодемпфувальних властивостей. Але перед установленням пневморесори на конкретний рухомий склад необхідно дати відповідь на ряд запитань, які полягають у виборі оптимальних розмірів додаткового резервуара й елементів дроселювання, оцінці самодемпфувальних властивостей пневматичного елемента, визначенні силової характеристики пневматичного підвищення, аналізі динамічних якостей рухомого складу з пневматичними ресорами в експлуатаційному й аварійному режимах, розробці та створенні конструкцій пневмосистеми з пристроями регулювання й управління. За наявності адекватної математичної моделі рухомого складу з пневморесорами поставлені задачі

можна розв'язувати чисельно на стадії проєктування без використання коштовного та складного натурного експерименту.

Тому проведення аналізу створених на цей момент математичних моделей пневматичної ресори є актуальним. Він дозволить установити переваги й недоліки запропонованих математичних моделей та розподілити їх відповідно до поставлених задач.

Мета

Основною метою роботи є аналіз та систематизація наявих математичних моделей динамічної поведінки пневматичної ресори; оцінка можливості врахування в моделях параметрів, які чинять основний вплив на роботу пневморесори, а також ефективності застосування розглянутих моделей під час створення моделі швидкісного залізничного поїзда.

Методика

Для проведення аналізу використано порівняльно-хронологічний метод, який дає можливість простежити розвиток декількох точок зору, концепцій, теорій. Відповідно до того, які обрано розв'язувальні рівняння, наявні моделі пневматичних ресор було поділено на три групи: механічні, термодинамічні та скінченно-елементні. Під час аналізу математичних моделей приділено увагу можливості врахування в них конструктивних особливостей пневматичної ресори, теплопередачі, нелінійних характеристик матеріалів, форми мембрани тощо.

Розгляд, аналіз та класифікація наявих математичних моделей пневматичних ресор є важливою передумовою для визначення напрямів подальшого створення уточнених математичних моделей пневматичних систем, а також побудови більш детальних просторових моделей інноваційного рухомого складу, які можна використовувати як для його модернізації, так і проєктування. Із точки зору динаміки, для отримання якісної та кількісної картини необхідно проводити дослідження роботи пневматичної ресори в частотному діапазоні від 0 до 20 Гц [45]. Очевидно, що спектр застосування наявих моделей пневматичних ресор суттєво розрізняється.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Результати

Механічні моделі представлені як еквівалентні механічні схеми (що складаються з пружин, мас, демпфувальних та інших елементів), значення параметрів яких зазвичай визначають експериментальним шляхом. Проста та швидка реалізація робить їх найбільш популярним варіантом у моделюванні. У 1963 році автор роботи [18] запропонував одну з перших механічних моделей як базову для аналізу характеристик пневматичної ресори в низькочастотному діапазоні (рис. 1). Для такої моделі прийнято припущення про один спільний об'єм пневморесори та додаткового резервуара, що є справедливим у випадку використання з'єднувального елемента значного діаметра або за малої частоти коливань системи.

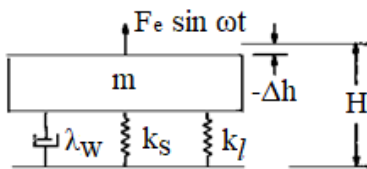


Рис. 1. Базова механічна модель роботи пневматичної ресори

Fig. 1. Basic mechanical model of the air spring operation

Рівняння руху маси m має вигляд:

$$m\Delta\ddot{h} = F_e \sin \omega t - \lambda_w \Delta\dot{h} - (K_s + K_l) \Delta h; \quad (1)$$

$$m = \frac{A_H p_g}{g}; \quad K_s = \frac{\gamma A_H p}{H}, \quad K_l = l \cdot p_g,$$

де m – маса вантажу; Δh – зміна висоти в процесі коливання пневморесори; ω – частота збурювальної сили; λ_w – коефіцієнт демпфування; K_s – адіабатична жорсткість пневморесори; K_l – жорсткість пневморесори внаслідок зміни її ефективної площі; l – постійна зміна ефективної площі пневморесори зі зміною її висоти; γ – відношення питомих теплоємностей повітря; A_H – ефективна площа пневморесори на проектній висоті; p_g – тиск повітря в пневматичній ресорі; p – абсолютний тиск повітря в пневматичній ресорі; H – проектна висота пневморесори.

Постійна в'язкого демпфування в загальному характеризує розсіювання енергії матеріалом пневматичної ресори та повітрям унаслідок його перетікання з пневматичної ресори в додатковий резервуар і навпаки.

Найбільш популярними механічними моделями пневматичних ресор є лінійна модель S. Nishimura [42], модель Simpack [44], модель Vampire (вертикальна й бокова) [6, 28] і модель Берга [9, 10].

Модель Nishimura була реалізована в програмному комплексі ADAMS/Rail [42, 57]. Математична модель розділяє об'єми пневматичної ресори V_b та додаткового резервуара V_r , а також може враховувати лінійне в'язке демпфування з коефіцієнтом C (рис. 2).

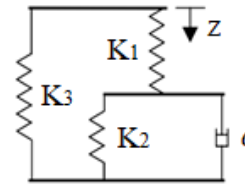


Рис. 2. Вертикальна математична модель пневматичної ресори (модель Nishimura)

Fig. 2. Vertical mathematical model of the air spring (Nishimura model)

Модель Simpac, наведена в роботі [53], є продовженням моделі Nishimura та додатково враховує вплив аварійної пружини з жорсткістю K_2 та демпфуванням c_2 (рис. 3).

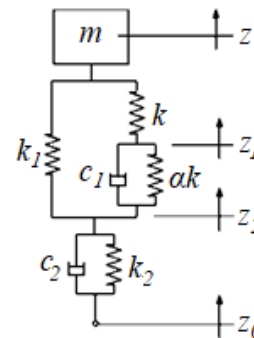


Рис. 3. Математична модель пневматичної ресори Simpac

Fig. 3. Mathematical model of the Simpac air spring

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Еквівалентну жорсткість пневматичної ресори знаходимо за формулою:

$$K_e = K \frac{\beta_2 \left(\beta_1 + \frac{\alpha}{1+\alpha} \right)}{\beta_1 + \beta_2 + \frac{\alpha}{1+\alpha}}; \quad (2)$$

$$K = \frac{A_{\text{эф}}^2 p n}{V}; \quad \alpha = \frac{V}{V_{\text{дод}}}; \quad \beta_1 = \frac{K_1}{K}; \quad \beta_2 = \frac{K_2}{K}.$$

де K – жорсткість пневматичної ресори; K_1 – жорсткість, яка визначається зміною ефективної площі пневматичної ресори; K_2 – жорсткість аварійної пружини; α – відношення об'ємів пневматичної ресори й додаткового резервуара.

Згодом моделі Nishimura та Simpas були уточнені шляхом додаткового використання «масової» моделі, яка враховує повітряну масу з'єднувального трубопроводу та відносне прискорення цієї маси (рис. 4). Цю модель було реалізовано у програмному комплексі Vampire.

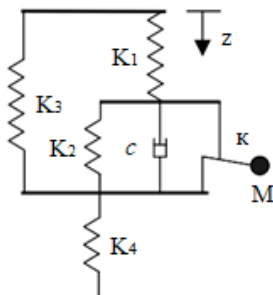


Рис. 4. Математична модель пневматичної ресори Vampire

Fig. 4. Mathematical model of the Vampire air spring

Оскільки маса повітря в з'єднувальному трубопроводі є малою, то здається, що нею можна знехтувати. Проте площа поперечного перерізу труби є набагато меншою, ніж пневматичної ресори або додаткового резервуара, тому швидкість повітря, що досягається в трубі, та інерція повітряної маси можуть бути значними, що впливає на характеристики пневматичної ресори під час її моделювання.

Слід зазначити, що модель Vampire також передбачає дослідження горизонтальної поведінки пневматичної ресори (рис. 5).

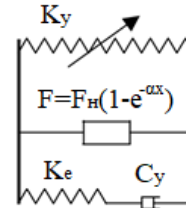


Рис. 5. Горизонтальна модель Vampire

Fig. 5. Horizontal Vampire model

Модель Gensys [8, 9] є найскладнішою механічною нелінійною тривимірною моделлю пневматичної ресори, яка може описувати її поперечну, поздовжню й вертикальну поведінку (рис. 6). Запропонована модель має 13 параметрів та описує три ефекти: пружність, тертя і в'язкість. У своїх роботах автор рекомендує визначати параметри на основі аналізу експериментальних результатів. Проте експерименти вимагають доступу до складного вимірювального обладнання, а також їх потрібно виконувати для кожної нової моделі пневматичної ресори.

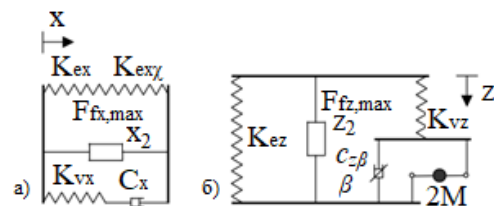


Рис. 6. Модель Gensys

Fig. 6. Gensys model

Вертикальна модель (рис. 6, б) описує пружні та демфувальні властивості ресори, а також враховує масу $2M$, яка описує інерцію повітря в зрівнювальному трубопроводі.

У горизонтальному напрямку для низьких частот пружини K_{ex}, K_{exh} є домінантними. У разі збільшення частоти в'язкий демпер C_x починає передавати силу, і жорсткість K_{vx} стає активною. Це призводить до зростання значення загальної горизонтальної жорсткості.

Значення горизонтальних параметрів перш за все залежать від властивостей гуми, яка розсіює енергію внаслідок молекулярного тертя. Для визначення параметрів необхідно провести два випробування:

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

– велика амплітуда зміщення (20–40 мм)
і низька частота ($< 0,1$ Гц);

– середня амплітуда зміщення (5–20 мм)
і середня частота (≈ 1 Гц).

Для визначення параметрів вертикальної моделі в роботах [45, 56] було розглянуто баланс сил, які виникають у з'єднувальному трубопроводі та діють на поршень (рис. 7).

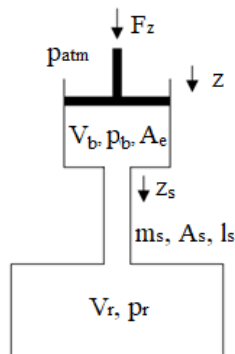


Рис. 7. Вертикальна модель пневматичної ресори

Fig. 7. Vertical model of the air spring

У результаті аналітичного розрахунку були отримані складові вертикальної жорсткості, визначена маса повітря, нелінійне в'язко-демпфування та демпфування в з'єднувальному трубопроводі.

У роботах [48, 50] було досліджено динамічну поведінку пневматичної ресори транспортних засобів компанії ZF Friedrichshafen AG. За основу була взята модель Gensys (рис. 6).

Силу тертя в цій моделі визначають за формулою:

$$F_{\text{тертя}} = \frac{(x - x_0)}{\beta + (x - x_0)} \text{sign}(\dot{x}), \quad (3)$$

де β – постійна величина; x – поточне зміщення; x_0 – зміщення в попередній точці.

Особливістю розрахунку за цією моделлю є те, що значення попереднього зміщення повинно бути присвоєно змінній x_0 , що не є стандартною процедурою в динамічному аналізі та призводить до збою алгоритму. З урахуванням цього для моделювання поведінки гуми було використано одновимірну модель із постійними коефіцієнтами [29], яка має пружні та в'язко-пружні елементи (рис. 8).

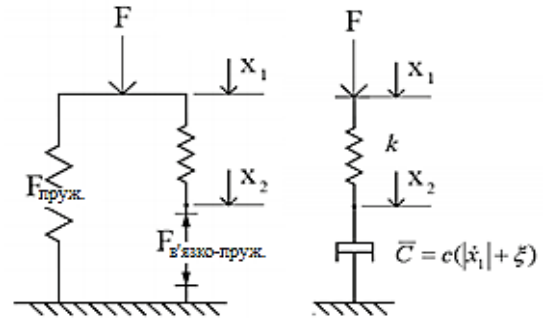


Рис. 8. Одновимірна модель Haupt & Sedlan

Fig. 8. Haupt&Sedlan one-dimensional model

У роботі [41] автори представили математичну модель пневматичної ресори на основі експериментальних характеристик. Спочатку була сформована нелінійна гідродинамічна модель, яка враховує жорсткість підвіски, коефіцієнт демпфування та пропускну здатність. Для практичного застосування модель лінеаризована шляхом розкладання нелінійних членів у ряди Тейлора та отримання величин першого порядку. У процесі дослідження жорсткість модельовано для двох експериментальних випадків: низькочастотного та високочастотного діапазонів.

Автори робіт [64, 65] представили динамічну модель пневматичної ресори, яка складається з трьох паралельно розташованих елементів та враховує термодинаміку пневматичної системи ресора – труба – резервуар, ефективне тертя та в'язко-пружне деформування гуми (рис. 9). Фрикційний елемент використано для можливості врахування гістерезисної поведінки пневматичної ресори за циклічного розширення.

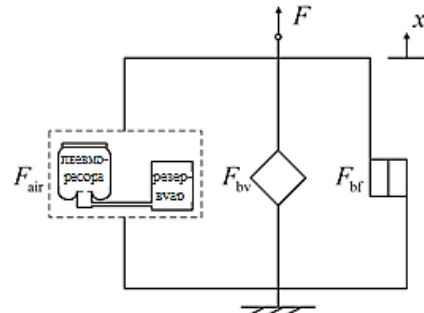


Рис. 9. Математична модель пневматичної системи з трьома паралельно розташованими елементами

Fig. 9. Mathematical model of the air system with three parallel elements

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Як альтернативну для моделювання динамічної поведінки пневматичної ресори можна використовувати модель Bouc-Wen [52, 59] (рис. 10).

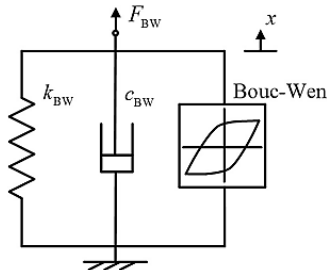


Рис. 10. Математична модель Bouc-Wen

Fig. 10. Bouc-Wen mathematical model

У ній загальну силу пневматичної ресори визначають за формулою:

$$F_{BW} = K_{BW}x + c_{BW}\dot{x} + \alpha_{BW}z, \quad (4)$$

де K_{BW} – лінійна жорсткість пружини; c_{BW} – коефіцієнт демпфування; α_{BW} – коефіцієнт масштабування, пов'язаний із тертям гуми; z – гістерезисна деформація.

Вплив пневматичного опору з'єднувального елемента на пружні та демпфувальні властивості пневматичної ресори було досліджено в роботах [2, 3]. При цьому була розроблена модель пневматичної ресори як динамічної системи з трьома фазовими координатами (тиск у балоні та додатковому резервуарі, маса повітря в балоні).

Ефективність найбільш популярних із цих механічних моделей була проаналізована в роботах [7, 25, 38, 49].

Отже, аналіз вищенаведених механічних моделей дозволив з'ясувати, що пневматична система в середньо-частотному діапазоні (від 6 до 14 Гц) є нелінійною, її параметри залежать від амплітуди коливань. Основним недоліком механічних моделей є невизначеність великої кількості вхідних параметрів, які пропонують знаходити з попередніх експериментів.

Термодинамічні моделі можна поділити на різні категорії залежно від кількості описаних елементів (пневморесора, з'єднувальний трубопровід, отвір, додатковий резервуар і регулювальні клапани) і фізичних явищ (втрати на

тертя, інерція повітря, можливість теплопередачі та ін.).

На рис. 11 представлена термодинамічна модель пневматичної ресори, яка містить пневмобалон, трубопровід і резервуар. Така модель переважно орієнтована на дослідження вертикальних коливань.

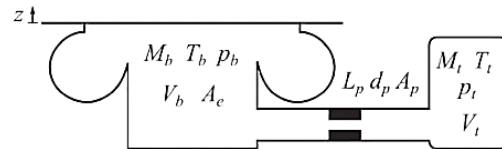


Рис. 11. Термодинамічна модель пневматичної ресори [21]

Fig. 11. Thermodynamic model of the air spring [21]

Важливим фактором під час дослідження термодинамічних процесів є те, що тиск газу всередині пневматичної ресори залежить від швидкості та величини її деформації. Швидка деформація пневматичної ресори призводить до адіабатичного стиснення з більш високим тиском і більш високою жорсткістю пневморесори, тоді як повільна деформація призводить до ізо-термічного процесу. Відповідно, змінюються основні рівняння математичної моделі.

Квазістатичну та динамічну жорсткість визначають за формулами:

$$K_z^{\text{дин}} = \gamma \cdot (p_a + p_g) \cdot \frac{A_e^2}{V} + p_g \cdot \frac{dA_e}{dz}; \quad (5)$$

$$K_z^{\text{ст}} = (p_a + p_g) \cdot \frac{A_e^2}{V} + p_g \cdot \frac{dA_e}{dz}. \quad (6)$$

Необхідно пам'ятати, що навіть невелика зміна площі може призвести до значного збільшення жорсткості пневматичної ресори. Указана особливість була врахована в роботах [41, 61] шляхом використання наближеного аналітичного методу.

У роботах [51, 61] наведені математичні моделі пневмобалона та додаткового резервуара в припущенні, що відстань між ними є невеликою (рис. 12). Було досліджено, як тиск у пневмобалоні, об'єм додаткового резервуара, розмір дроселювального отвору, частота та амплітуда збурювальної сили впливають на динамічну жорсткість пневматичної ресори.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

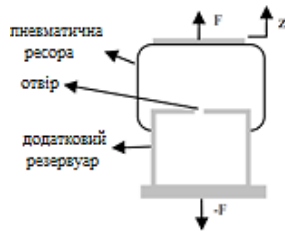


Рис. 12. Пневматична система без з'єднувального трубопроводу

Fig. 12. Air system without connecting pipe

Якщо взяти, що робоче повітря є ідеальним газом, то складові стану повітря в пневматичній ресорі будуть відповідати рівнянням [1, 4]:

$$P_s dV_s + V_s dP_s = R(m_s dT_s + T_s dm_s); \quad (7)$$

$$dQ = dE + P_s dV_s + h dm_s; \quad (8)$$

$$dE = C_v m_s dT_s + C_v T_s dm_s, \quad (9)$$

де P_s – абсолютний тиск у пневморесорі, Па; V_s – об'єм пневматичної ресори, м³; R – газова стала, $R = 286.9 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; m_s – повітряна маса в пневматичній ресорі, кг; T_s – температура повітря в пневматичній ресорі, К; dQ – теплообмін між пневматичною ресорою та навколишнім середовищем; dE – зміна внутрішньої енергії; h – ентальпія повітря, Дж/кг; C_v – питома теплоємність за постійного об'єму, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Для адіабатичного процесу $dQ = 0$ динамічну жорсткість пневматичної ресори знаходимо за формулою:

$$K_d = (P_s - P_0) \frac{\partial A_e}{\partial z} + \frac{k P_s A_e}{m_s} \frac{G}{z} - \frac{k P_s A_e}{V_s} \frac{\partial V_s}{\partial z}, \quad (10)$$

де z – вертикальна деформація пневматичної ресори, м; A_e – ефективна площа пневматичної ресори, м²; k – показник адіабати, $k = 1, 4$.

У роботі [7] була застосована ідея щодо використання в з'єднувальному трубопроводі клапана з регульовальним отвором, що дозволяє лінеаризувати систему.

У роботі [47] було представлено безрозмірну модель пневматичної ресори з додатковим резервуаром, які з'єднані гідравлічним опором. Модель була реалізована в середовищі Matlab-Simulink.

Автори вказують, що параметри всіх трьох елементів підвіски необхідно вибирати одночасно, оскільки попередній вибір пневморесори та додаткового резервуара на основі жорсткості або власної частоти, а вже потім вибір параметрів отвору, призведе до отримання недостатнього значення коефіцієнта демпфірування.

У роботі [25] розглянуто різницю між квазістатичним та динамічним підходами до експериментального визначення параметрів пневморесори. Динамічні випробування проведено в діапазоні частот 0–20 Гц. Відповідно до результатів проведених квазістатичних випробувань було запропоновано залежності лінійних сил від деформацій.

За динамічного підходу пневматичну ресору та резервуар моделювали як системи із зосередженими параметрами, які визначаються рівняннями нерозривності та рівняннями стану ідеального газу. Повітряний потік у з'єднувальному трубопроводі вважають одновимірним, без урахування стиснення повітря, як запропоновано в роботах [20, 21]. У цих припущеннях динаміку пневматичної системи повністю можна описати такою системою диференціальних рівнянь:

$$\dot{p}_A V_A + k p_A \dot{V}_A = k G_p R T; \quad (11)$$

$$\rho_p L_p \dot{u}_p = p_R - p_A -$$

$$- \frac{32 \mu L_p}{D_p^2} u_p - \frac{1}{2} d_{\text{conc}} \rho_p |u_p| u_p; \quad (12)$$

$$\dot{p}_R V_R = -k G_p R T, \quad (13)$$

де p_A і p_R – тиск пневматичної ресори та додаткового резервуара відповідно; V_A і V_R – об'єм пневморесори і резервуара відповідно; ρ_p і $\dot{u}_p$ – щільність і швидкість повітря в з'єднувальному трубопроводі; G_p – масовий розхід у з'єднувальному трубопроводі; L_p і D_p – довжина та діаметр з'єднувального трубопроводу; R і k – питома газова стала та питома теплоємність повітря; T – температура систе-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ми; μ – в'язкість повітря; d_{conc} – місцеві втрати в з'єднувальному трубопроводі.

Автори робіт [26, 63] провели дослідження різних типів з'єднань пневматичної ресори на основі створених математичних моделей: пневмобалон – отвір – резервуар; пневмобалон-труба – резервуар; пневмобалон – отвір – труба – резервуар. Порівнявши результати математичного моделювання з експериментальними даними, автори робіт рекомендували: для низьких частот використовувати тип з'єднання «пневмобалон-отвір-труба-резервуар», а для високих частот – «пневмобалон-отвір-резервуар». Тип з'єднання «пневмобалон-труба-резервуар» використовувати не рекомендували, щоб уникнути від'ємної жорсткості.

У роботі [16] було досліджено альтернативні шляхи оптимізації пневматичної системи.

Важливим фактором під час моделювання пневматичної системи є теплообмін з навколишнім середовищем. У загальному випадку теплообмін можна оцінити, урахувавши політропний процес [22, 31, 36]. У конкретних випадках процес можна розглядати як ізотермічний [13] або адіабатичний [22].

У статті [36] автори провели моделювання роботи пневморесори в умовах політропного процесу. Під час моделювання використано непрямий метод реалізації політропного процесу шляхом модифікації співвідношення тиску та об'єму, отриманого в результаті моделювання ізотермічного процесу. На основі отриманих результатів було встановлено, що термодинамічний процес у пневматичній ресорі можна вважати адіабатичним, коли частота перевищує 5 Гц, а політропний процес слід розглядати, коли частота нижче 5 Гц.

У роботі [57] було проведено моделювання та аналіз параметрів пневматичної ресори залежно від частоти збудовальної сили та швидкості її деформації. Ізотермічний процес використано за частоти нижче 0,1 Гц, політропний від 0,1 до 3 Гц, адіабатичний за частоти вище 3 Гц.

Слід зазначити, що на поведінку підвіски в значній мірі впливає показник політропи k . Це питання було розглянуто в роботах [19, 22], у яких враховано передачу тепла між пневматичними камерами та атмосферою, а швидкість теплового потоку взято пропорційною різниці

температур. Було встановлено, що динамічна жорсткість для адіабатичного випадку є більшою порівняно з ізотермічним та представляє резонансний ефект для частот, близьких до 15 Гц.

У роботі [14] була розроблена нова динамічна модель пневматичної ресори, де зміну стану повітря розділено на два процеси: зміна об'єму (адіабатичний) і тепловий баланс (ізохорний).

Ця математична модель за допомогою програмних пакетів ADAMS і Matlab / Simulink була інтегрована в загальну модель транспортного засобу.

У наш час існують математичні моделі пневматичної системи підвищення рухомого складу, де введені регулювальні, запобіжні клапани та клапани перепаду тиску [20, 22, 40].

У роботі [20] було зазначено, що відповідно до EN 14363 [24] є дві системи вирівнювання кузова вагона: чотириточкова, яка складається з чотирьох вирівнювальних клапанів на кожен кузов, та двоточкова (рис. 13).

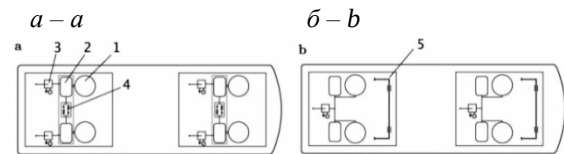


Рис. 13. Системи вирівнювання кузова:
а – чотириточкова; б – двоточкова

Fig. 13. Body leveling systems:
a – four-point; b – two-point

Під час моделювання регулювальних та запобіжних клапанів масова витрата повинна бути визначена з урахуванням тиску на вході й виході та зміщення важеля клапана. Для цього використовують європейський стандарт ISO 6358 [30].

Установлено, що чотириточкова конфігурація викликає значні коливання непідресорених мас порівняно з двоточною. З іншого боку, чотириточкова підвіска дозволяє обмежити кут нахилу кузова під час проходження кривих ділянок колії.

Слід відзначити, що в процесі математичного моделювання пневматичної ресори виникають невизначеності, які в першу чергу пов'язані з розрахуванням ефективної площі як функції висоти.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

У роботах [34, 35] автори запропонували нову аналітичну формулу для опису вертикальної жорсткості пневматичної ресори з урахуванням швидкості зміни її ефективної площі.

Формула вертикальної жорсткості пневматичної ресори має вигляд:

$$C = \gamma(p_0 + p_a) \frac{A_0^2}{V_0} + ap_0 \frac{A_0}{R_0}, \quad (14)$$

де a – коефіцієнт форми пневматичної ресори.

З аналізу отриманих результатів спостереження, що адекватність математичної моделі погіршується у випадку, коли пневматична ресора обладнана додатковим резервуаром великого об'єму порівняно з резервуаром малого об'єму. Указана особливість обумовлена неврахуванням складової жорсткості, яка пов'язана зі структурою діафрагми.

У роботі [46] було отримано аналітичні залежності зміни об'єму та зусилля пневматичної ресори від її переміщення у вертикальному напрямку.

У роботі [62] запропоновано розрахункову формулу для визначення вертикальної жорсткості пневморесори з урахуванням зміни ефективної площі та її об'єму внаслідок деформації.

Розрахунковим шляхом було отримано статичні й динамічні криві «деформація – жорсткість» пневматичної ресори.

У роботі [17] автори дослідили поведінку пневматичної ресори, використовуючи псевдодинамічну процедуру. Модель оболонки розраховано варіаційними методами, заснованими на концепції мінімальної енергії деформації та термодинамічних процесів. Для підвищення точності було враховано вплив швидкості деформації шляхом вибору режимів стиснення пневматичної ресори (ізотермічного або адіабатичного).

Для знаходження жорсткості пневморесори розглянуто дві моделі:

- перша модель передбачає, що тільки стиснене повітря є пружним елементом;
- особливістю другої моделі є накладання жорсткості оболонки пневморесори на жорсткість стисненого повітря, оскільки два елементи працюють паралельно.

Автори роботи [15] розробили нову математичну модель пневматичної ресори, яка враховує її структурні параметри, а саме: ефективну

площу, швидкість зміни ефективної площі, ефективний об'єм, швидкість зміни ефективного об'єму. Аналітичні залежності структурних параметрів від деформації пневморесори було отримано геометрично.

Скінченноелементні моделі. Перейдемо до розгляду та аналізу моделей, створених за допомогою методу скінченних елементів [11, 33, 54, 58, 60]. Такий вид моделювання дозволяє відтворити найбільш точну динамічну поведінку пневматичної ресори, проте затрати та час моделювання є значними.

За останнє десятиліття для аналізу динамічної поведінки систем та їх складових найбільш поширеним програмним пакетом, який використовує метод скінченних елементів і комп'ютерне проєктування, є Abaqus.

Перші кроки в моделюванні пневматичного елемента за допомогою методу скінченних елементів були зроблені в роботі [11] на основі рівняння ізоентропії газу.

У роботі [60] із використанням програмного пакета Abaqus було проведено дослідження впливу параметрів оболонки (корду) пневматичної ресори на її пружні характеристики. Оболонку пневматичної ресори моделювали арматурним елементом, а стиснене повітря було представлено елементом гідростатичної рідини.

Автор роботи [54] для дослідження вертикальної жорсткості пневматичної ресори спочатку виконав побудову сітки в програмному пакеті ANSA, який є потужним інструментом попередньої обробки, а потім розв'язав задачу в Abaqus (рис. 14).

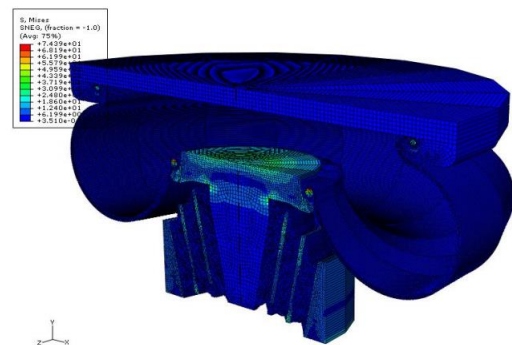


Рис. 14. Моделювання пневматичної ресори в програмному пакеті Abaqus

Fig. 14. Modeling of an air spring in the Abaqus software package

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

У роботах [12, 43] автори провели аналіз впливу факторів конструкції пневматичної ресори на її втомну міцність. Було зроблено висновок, що найбільший вплив на втомну міцність пневматичної ресори мають різниця діаметрів $\frac{D_0 - d_i}{2}$, кут корду ϕ та комбінація цих двох факторів.

У роботі [55] була створена скінченно-елементна модель пневматичної ресори з додатковим резервуаром у програмному пакеті Abaqus. Основною метою було дослідження впливу різнотипних з'єднувальних трубопроводів та додаткових резервуарів на вертикальну жорсткість при частоті до 10 Гц. Установлено, що при низькій частоті збудження системи та збільшенні об'єму додаткового резервуара динамічна жорсткість пневматичної ресори мало відрізняється від статичної. Збільшення динамічної жорсткості пневматичної ресори відбувається за рахунок збільшення початкового тиску.

Автори роботи [27] досліджували вертикальну статичну та динамічну жорсткість пневматичної ресори. Експериментальні дослідження провели на гідравлічній випробувальній машині «Instron» з частотою коливань до 400 Гц, із додатковим резервуаром та без нього. Розрахунки виконували за допомогою скінченно-елементної моделі, розробленої в програмному пакеті Abaqus. Було встановлено, що кут волокон оболонки пневматичної ресори має найбільший вплив на першу власну частоту коливань.

У роботі [39] було проведено дослідження щодо отримання вхідних параметрів пневматичної ресори (ефективна площа, зміна ефективної площі, в'язкі втрати, втрати на тертя та ін.) з використанням програмного пакета Abaqus. Проаналізовано вплив параметрів конструкції пневматичної ресори, особливо кута нахилу волокон оболонки, на значення вищенаведених вхідних параметрів, статичну й динамічну, вертикальну та горизонтальну жорсткості, частоту коливань та, відповідно, на комфортабельність руху.

Серед інших програмних пакетів, які використовують для дослідження поведінки пневматичної ресори, можна виділити програмну систему скінченно-елементного аналізу ANSYS [23, 32]. У роботі [32] автори використовували програму ANSYS для моделювання статичного тесту.

Було відзначено значний вплив кута нахилу волокон оболонки та внутрішнього початкового тиску на характеристики пневматичної ресори.

Отже, проведений аналіз наукових джерел показав значну кількість математичних моделей різного ступеня складності, що підтверджує важливість питання відтворення динамічної поведінки пневматичної ресори. Проте для врахування впливу коливань конструктивних елементів швидкісного рухомого складу під час руху залізничною колією необхідно розглядати модель пневморесори як складову частину його загальної просторової моделі. Створення такої узагальненої математичної моделі дозволить правильно оцінити динамічні показники та показники безпеки залізничних екіпажів у швидкісному русі.

Використання механічних моделей передбачає визначення вхідних параметрів на основі аналізу експериментальних результатів, що вимагає доступу до складного вимірювального обладнання та повинно виконуватися для кожної нової моделі пневматичної ресори окремо. На відміну від механічних моделей, які дозволяють враховувати демпфувальний ефект пневморесори в горизонтальному та вертикальному напрямку, термодинамічні моделі переважно орієнтовані на дослідження динамічної поведінки пневматичної ресори у вертикальному напрямку. Використання методу скінченних елементів дозволяє найбільш точно відтворити динамічну поведінку пневматичної ресори, проте вимагає значних затрат сил та часу на створення скінченно-елементної моделі та виконання розрахунків.

Наукова новизна та практична значимість

Автори систематизували математичні моделі динамічної поведінки пневматичної ресори та підкреслили важливість їх дослідження в сукупності з просторовою математичною моделлю швидкісного рухомого складу. Проведений аналіз математичних моделей динамічної поведінки пневматичної ресори показує шляхи подальшого їх удосконалення, указує на можливість їх використання в просторовій математичній моделі рухомого складу відповідно до поставлених задач.

Висновки

Упровадження швидкісного рухомого складу можливе лише за умови відповідності роботи його конструктивних елементів експлуатаційним режимам. Аналіз зазначених робіт показує важливість та безперервність проведення досліджень динамічної поведінки пневматичної ресори як основної складової ресорного підвищення рухомого складу. Під час моделювання руху поїзда обрана математична модель пневматичної ресори відіграє найважливішу роль, оскільки частота коливань системи, сили та моменти, які виникають у ній, залежать від характеристик ресорного підвищення. Проведений аналіз моделей пневморесор показав, що їх переважна більшість описує лише вертикальну поведінку без урахування горизонтальної. Це пов'язано, у першу чергу, із відсутністю інформації про конструктивні параметри діафрагми та нелінійністю характеристик гуми.

Під час використання механічних або термодинамічних моделей існують певні труднощі в отриманні вхідних параметрів, оскільки для цього потрібно проводити складні та дорогі експериментальні дослідження. Альтернативою можуть бути скінченноелементні моделі, які дозволяють урахувати гістерезисну поведінку гуми залежно від частоти та амплітуди коливань, температурні ефекти та інші фактори. Але введення таких моделей у просторову математичну модель швидкісного рухомого складу спричиняє значне ускладнення розрахунків.

Оскільки силовий вплив на пневморесору визначається коливаннями елементів рухомого складу, а частота й амплітуда коливань поїзда суттєво залежать від роботи самої пневморесори, важливим постає питання формування єдиної математичної моделі й дослідження взаємного впливу пневматичної ресори та інших конструктивних елементів швидкісного рухомого складу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мирам А. О., Павленко В. А. *Техническая термодинамика. Тепломассообмен* : учебное издание. Москва : Издательство АСВ, 2011. 352 с.
2. Рейдемейстер А. Г., Кивишева А. В. Зависимость свойств пневматической ресоры от пневматического сопротивления дросселя. *Наука та прогрес транспорту*. 2016. № 2 (62). С. 157–164. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/67339>
3. Рейдемейстер А. Г., Лагуза А. В. Определение характеристик дросселирующего устройства для пневматической ресоры. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 1 (73). С. 66–76. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/123394>
4. Стоянов Н. И., Смирнов С. С., Смирнова А. В. *Теоретические основы теплотехники (техническая термодинамика и тепломассообмен)* : учебное пособие. Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2014. 226 с.
5. *Стратегія АТ «Укрзалізниця» на 2019–2023 роки*. Кабінет Міністрів України від 12 червня 2019 року № 591-р. Київ, 2019. 66 с.
6. Aizpun M., Vinolas J., Alonso A. Using the stationary tests of the acceptance process of a rail vehicle to identify the vehicle model parameters. *Journal of Rail and Rapid Transit*. 2013. Vol. 228. Iss. 4. P. 408–421. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954409713478592>
7. Alonso A., Giménez J. G., Nieto J., Vinolas J. Air suspension characterisation and effectiveness of a variable area orifice. *Vehicle System Dynamics*. 2010. Vol. 48. Iss. sup1. P. 271–286. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423111003731258>
8. Berg M. An air spring model for dynamic analysis of rail vehicles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 1997. Vol. 211. Iss. 2. P. 95–108. DOI: <https://doi.org/10.1243/0954409971530941>
9. Berg M. A three-dimensional airspring model with friction and orifice damping. *Vehicle System Dynamics*. Vol. 33. Iss. sup1. P. 528–539. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.1999.12063109>
10. Berg M. *Modelling of springs and dampers for dynamic analysis of rail vehicles – a pilot study*. Railway Technology, Department of Vehicle Engineering, Royal Institute of Technology, 1994. 51 p.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

11. Berry D., Yang H. Formulation and experimental verification of a pneumatic finite element. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 1996. Vol. 39. Iss. 7. P. 1097–1114.
DOI: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0207\(19960415\)39:7<1097::aid-nme880>3.0.co;2-9](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0207(19960415)39:7<1097::aid-nme880>3.0.co;2-9)
12. Bešter T., Oman S., Nagode M. Determining influential factors for an air spring fatigue life. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. 2019. Vol. 42. Iss. 1. P. 284–294.
DOI: <https://doi.org/10.1111/ffe.12904>
13. Bruni S., Vinolas J., Berg M., Polach O., Stichel S. Modelling of suspension components in a rail vehicle dynamics context. *Vehicle System Dynamics*. 2011. Vol. 49. Iss. 7. P. 1021–1072.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.2011.586430>
14. Chang F., Lu Z.-H. Dynamic model of an air spring and integration into a vehicle dynamics model. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D : Journal of Automobile Engineering*. 2008. Vol. 222. Iss. 10. P. 1813–1825. DOI: <https://doi.org/10.1243/09544070JAUTO0867>
15. Chen J.-J., Yin Z.-H., Rakheja S., He, J.-H., Guo K.-H. Theoretical modelling and experimental analysis of the vertical stiffness of a convoluted air spring including the effect of the stiffness of the bellows. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D : Journal of Automobile Engineering*. 2017. Vol. 232. Iss. 4. P. 547–561. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954407017704589>
16. Coquis D. P. *Optimización de suspensiones neumáticas de vehículos ferroviarios*. Universidad Politécnica de Madrid. 2004. URL: <https://oa.upm.es/7538/>
17. De Melo F., Pereira A., Morais A. The simulation of an automotive air spring suspension using a pseudo-dynamic procedure. *Applied Sciences*. 2018. Vol. 8. Iss. 7. P. 1049–1069.
DOI: <https://doi.org/10.3390/app8071049>
18. Dixon G., Pearson J. Automatically controlled air spring suspension system for vibration testing. *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*. 1967. URL: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19670013958/downloads/19670013958.pdf>
19. Docquier N., Fisette P., Jeanmart H. *Influence of heat transfer on railway pneumatic suspension dynamics*. P. 1–11. URL: https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal%3A81161/datastream/PDF_01/view
20. Docquier N., Fisette P., Jeanmart H. Model-based evaluation of railway pneumatic suspension. *Vehicle System Dynamics*. 2008. Vol. 46. Iss. sup1. P. 481–493. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423110801993110>
21. Docquier N., Fisette P., Jeanmart H. Multiphysic modelling of railway vehicles equipped with pneumatic suspensions. *Vehicle System Dynamics*. 2007. Vol. 45. Iss. 6. P. 505–524.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00423110601050848>
22. Docquier N. *Multiphysics modelling of multibody systems application to railway pneumatic suspensions*. Université catholique de Louvain. 2010.
URL: https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:33474/datastream/PDF_01/view
23. Du J., Shi S., Luo S., Cheng T., Peng X., Feng P. Studies on modeling a single-bellows air spring and simulating its inherent characteristics. *Journal of Shenzhen University Science and Engineering*. 2013. Vol. 30. Iss. 2. P. 167–172. DOI: <https://doi.org/10.3724/sp.j.1249.2013.02167>
24. EN 14363:2005. *Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles – Testing of running behaviour and stationary tests*. 2005. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/28104202-ab20-4285-84c2-b17c37bdd183/en-14363-2005>
25. Facchinetti A., Mazzola L., Alfi S., Bruni S. Mathematical modelling of the secondary airsprung suspension in railway vehicles and its effect on safety and ride comfort. *Vehicle System Dynamics*. 2010. Vol. 48. Iss. sup1. P. 429–449. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.2010.486036>
26. Gao H. X., Chi M. R., Zhu M. H., Wu P. B. Study on different connection types of air spring. *Applied Mechanics and Materials*. 2013. Vol. 423–426. P. 2026–2034.
DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.423-426.2026>
27. Gil-Negrete N., Nieto F. J., Pradera-Mallabiarbarrena A., Gonzalez-Prada J. On the dynamic stiffness of air springs at medium-high frequencies. *28th International Conference on Noise and Vibration Engineering, ISMA 2018 and 7th International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics*. 2018. P. 3567–3579.
28. Haider A., Ameen N. *Experimental and Theoretical Study of Air Suspension System Control for Passenger Vehicles by Using PID and Fuzzy Controllers*. 2015. 204 p.
29. Haupt P., Sedlan K. Viscoplasticity of elastomeric materials: experimental facts and constitutive modeling. *Archive of Applied Mechanics (Ingenieur Archiv)*. 2001. Vol. 71. Iss. 2–3. P. 89–109.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s004190000102>

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

30. ISO 6358:1898. *Standard, Pneumatic fluid power – Components using compressible fluids – Determination of flowrate characteristics*. 1989. URL: <https://www.iso.org/standard/12666.html>
31. Lee S. Development and analysis of an air spring model. *International Journal of Automotive Technology*. 2010. Vol. 11. Iss. 4. P. 471–479. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12239-010-0058-5>
32. Li F., Yang W., Ding Y. Simulation of static test of air-spring. *Advanced Materials Research*. 2009. Vol. 11–12. Iss. 1. P. 713–716. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.11-12.713>
33. Li H., Guo K., Chen S., Wang, W., Cong F. Design of stiffness for air spring based on ABAQUS. *Mathematical Problems in Engineering*. 2013. Vol. 2013. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/528218>
34. Li X., He Y., Liu W., Wei Y. Research on the vertical stiffness of a rolling lobe air spring. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F : Journal of Rail and Rapid Transit* 2015. Vol. 230. Iss. 4. P. 1172–1183. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954409715585370>
35. Li X., Li T. Research on vertical stiffness of belted air springs. *Vehicle System Dynamics*. 2013. Vol. 51. Iss. 11. P. 1655–1673. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.2013.819984>
36. Li X., Wei Y., He Y. Simulation on polytropic process of air springs. *Engineering Computations*. 2016. Vol. 33. Iss. 7. P. 1957–1968. DOI: <https://doi.org/10.1108/EC-08-2015-0224>
37. Löcken F., Welsch M. The Dynamic Characteristic and Hysteresis Effect of an Air Spring. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*. 2015. Vol. 20. Iss. 1. P. 127–145. DOI: <https://doi.org/10.1515/ijame-2015-0009>
38. Mazzola L., Berg M. Secondary suspension of railway vehicles – air spring modelling: performance and critical issues. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F : Journal of Rail and Rapid Transit*. 2014. Vol. 228. Iss. 3. P. 225–241. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954409712470641>
39. Mendia-Garcia I., Gil-Negrete Laborda N., Pradera-Mallabiarrena A., Berg M. A survey on the modelling of air springs – secondary suspension in railway vehicles. *Vehicle System Dynamics*. 2020. P. 1–30. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.2020.1838566>
40. Nakajima T., Shimokawa Y., Mizuno M., Sugiyama H. Air Suspension System Model Coupled With Leveling and Differential Pressure Valves for Railroad Vehicle Dynamics Simulation. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*. 2014. Vol. 9. Iss. 3. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4026275>
41. Nieto A., Morales A., González A. An analytical model of pneumatic suspensions based on an experimental characterization. *Journal of Sound and Vibration*. 2008. Vol. 313. Iss. 1–2. P. 290–307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2007.11.027>
42. Oda N., Nishimura S. Vibration of air suspension bogies and their design. *Bulletin of JSME*. 1970. Vol. 13. Iss. 55. P. 43–50. DOI: <https://doi.org/10.1299/jsme1958.13.43>
43. Oman S., Nagode M. On the influence of the cord angle on air-spring fatigue life. *Engineering Failure Analysis*. 2013. Vol. 27. P. 61–73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2012.09.002>
44. Pellegrini C., Gherardi F., Spinelli D., Saporito G., Romani M. Wheel–rail dynamic of DMU IC4 car for DSB: modeling of the secondary air springs and effects on calculation results. *Vehicle System Dynamics*. 2006. Vol. 44. Iss. sup1. P. 433–442. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423110600872960>
45. Presthus M. *Derivation of air spring model parameters for train simulation*. Luleå University of Technology. 2002. 75 p.
46. Qing O., Yin S. The non-linear mechanical properties of an airspring. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2001. Vol. 17. Iss. 3. P. 705–711. DOI: <https://doi.org/10.1006/mssp.2001.1434>
47. Quaglia G., Sorli M. Air suspension dimensionless analysis and design procedure. *Vehicle System Dynamics*. 2001. Vol. 35. Iss. 6. P. 443–475. DOI: <https://doi.org/10.1076/vsd.35.6.443.2040>
48. Sayyaadi H., Shokouhi N. Effects of air reservoir volume and connecting pipes length and diameter on the air spring behavior in rail vehicles. *Iranian Journal of Science and Technology Transaction B : Engineering*. 2010. Vol. 34, № B5. P. 499–508.
49. Sayyaadi H., Shokouhi N. Improvement of passengers ride comfort in rail vehicles equipped with air springs. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*. 2009. Vol. 3. P. 592–598.
50. Sayyaadi H., Shokouhi N. New dynamics model for rail vehicles and optimizing air suspension parameters using GA. *International Journal of Science & Technology*. 2009. Vol. 16. Iss. 6. P. 496–512.
51. Sihong Z., Jiasheng W., Ying Z. Research on theoretical calculation model for dynamic stiffness of air spring with auxiliary chamber. *2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference* (Harbin, 3–5 Sept. 2008). Harbin, 2008. P. 2–7. DOI: <https://doi.org/10.1109/vppc.2008.4677717>

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

52. Spencer B. F., Dyke S. J., Sain M. K., Carlson J. D. Phenomenological model for magnetorheological dampers. *Journal of Engineering Mechanics*. 1997. Vol. 123. Iss. 3. P. 230–238.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9399\(1997\)123:3\(230\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9399(1997)123:3(230))
53. Spiroiu M. Railway vehicle pneumatic rubber suspension modelling and analysis. *J Mater Plastic*. 2018. Vol. 55. Iss. 1. P. 24–27. DOI: <https://doi.org/10.37358/mp.18.1.4956>
54. Sun J. Calculation of vertical stiffness of air spring with FEM. *4th ANSA & μ ETA International Conference* (Thessaloniki, 1-3 June 2011). Thessaloniki, 2011. P. 68–72.
55. Sun L., Li Z., Shen X., Zhu J. Simulation and test study on dynamic characteristic of air spring with auxiliary chamber. *Proceedings of the 2nd International Conference On Systems Engineering and Modeling*. 2013. P. 0648–0651. DOI: <https://doi.org/10.2991/icsem.2013.131>
56. Sundvall P. Comparisons between predicted and measured ride comfort in trains – a case study on modelling. *Division of Railway Technology*. 2001. URL: <https://trid.trb.org/view/715412>
57. Tadeusz U. *Railway Design, Simulation and Analysis by ADAMS/Rail Software*. Akademia Górniczo-Hutnicza. 2011. 82 p.
58. Weimin Y., Canhui Ch., Yaling Ch., Yansha R. Finite element analysis of an air spring for automobile suspension. *Journal of Beijing University of Chemical Technology*. 2004. Vol. 31, № 1. P. 105–109.
59. Wen Y.-K. Method for Random Vibration of Hysteretic Systems. *Journal of the Engineering Mechanics Division*. 1976. Vol. 102. Iss. 2. P. 249–263. DOI: <https://doi.org/10.1061/jmcea3.0002106>
60. Wenku S., Wan J., Ying H., Weimin Y., Hao Y., Zubin L. Finite element analysis of an air spring concerning initial pressure and parameters of cord fabric layer. *2009 Asia-Pacific Conference on Computational Intelligence and Industrial Applications (PACIIA)* (Wuhan, 28-29 Nov. 2009). Wuhan, 2009. DOI: 10.1109/PACIIA.2009.5406380
61. Xu L. Mathematical modeling and characteristic analysis of the vertical stiffness for railway vehicle air spring system. *Mathematical Problems in Engineering*. 2020. Vol. 220. P. 1–12.
DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/2036563>
62. Xu W., He L., Shuai C. Stiffness calculation and dynamic simulation of air spring. *ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (California, 24-28 Sep 2005). California, 2005. P. 1395–1399. DOI: <https://doi.org/10.1115/DETC2005-84338>
63. Zhong Y., Yang Q., Bao G. Nonlinear primary resonances of a pneumatic spring under simple harmonic excitations. *Proceedings of 2011 International Conference on Fluid Power and Mechatronics* (Beijing, 17-20 Aug. 2011). Beijing, 2011. P. 229–233. DOI: <https://doi.org/10.1109/FPM.2011.6045763>
64. Zhu H., Yang J., Zhang Y. A novel air spring dynamic model with pneumatic thermodynamics, effective friction and viscoelastic damping. *Journal of Sound and Vibration*. 2017. Vol. 408. P. 87–104.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2017.07.015>
65. Zhu H., Yang J., Zhang Y., Feng X., Ma Z. Nonlinear dynamic model of air spring with a damper for vehicle ride comfort. *Nonlinear Dynamics*. 2017. Vol. 89. Iss. 2. P. 1545–1568.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11071-017-3535-9>

A. Y. KUZYSHYN^{1*}, S. A. KOSTRITSIA², Y. H. SOBOLEVSKA³, A. V. BATIH^{4*}

^{1*}Dep. «Rolling Stock and Track», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lviv Branch, I. Blazhkevycha St. 12-a, Lviv, Ukraine, 79052, tel. +38 (032) 267 99 74, e-mail kuzyshyn1993@gmail.com, ORCID 0000-0002-3012-5395

²Dep. «Theoretical and Structural Mechanics», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 11, e-mail kossa571@gmail.com, ORCID 0000-0002-7922-0975

³Dep. «Fundamental Disciplines», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lviv Branch, I. Blazhkevycha St. 12-a, Lviv, Ukraine, 79052, tel. +38 (032) 267 99 74, e-mail sobolevskyu@gmail.com, ORCID 0000-0002-8087-2014

^{4*}Lab. «Railway-Transport Research», Lviv Research Institute of Forensic Sciences, Lypynskoho St., 54, Lviv, Ukraine, 79024, tel. +38 (032) 231 76 13, e-mail batigasha1992@gmail.com, ORCID 0000-0003-1205-6004

World Experience in Creating Mathematical Models of Air Springs: Advantages and Disadvantages

Purpose. Taking into account the production and commissioning of modern high-speed rolling stock, the authors are aimed to analyze the currently created mathematical models describing the dynamic behavior of the air spring, systematize them and consider the advantages and disadvantages of each model type. **Methodology.** For the analysis, a comparative chronological method was used, which makes it possible to trace the development of several points of view, concepts, theories. In accordance with the adopted decision equations, the existing models of air springs were divided into three groups: mechanical, thermodynamic and finite-elements. When analyzing mathematical models, the influence of a number of parameters on the dynamic behavior of the air spring, such as disturbing force frequency, heat transfer, nonlinear characteristics of materials, the shape of the membrane, etc., was considered. **Findings.** A feature of mechanical models is the determination of input parameters based on the analysis of experimental results, requires access to complex measuring equipment and must be performed for each new model of an air spring separately. Unlike mechanical models, which allow taking into account the damping effect of an air spring in the horizontal and vertical direction, thermodynamic models are mainly focused on studying the dynamic behavior of an air spring in the vertical direction. The use of the finite element method makes it possible to most accurately reproduce the dynamic behavior of an air spring, however, it requires significant expenditures of time and effort to create a finite element model and perform calculations. **Originality.** Mathematical models of the dynamic behavior of an air spring are systematized, and the importance of their study in conjunction with a spatial mathematical model of high-speed rolling stock is emphasized. **Practical value.** The analysis of the mathematical models of the dynamic behavior of the air spring shows the ways of their further improvement, indicates the possibility of their use in the spatial mathematical model of the rolling stock in accordance with the tasks set. It will allow, even at the design stage of high-speed rolling stock, to evaluate its dynamic characteristic and traffic safety indicators when interacting with a railway track.

Keywords: air spring; rolling stock; mathematical model; rigidity; damping; thermodynamics; pressure; temperature

REFERENCES

1. Miram, A. O., & Pavlenko, V. A. (2011). *Tekhnicheskaya termodinamika. Teplomassoobmen*: uchebnoe izdanie. Moscow: Izdatelstvo ASV. (in Russian)
2. Reidemeister, O. H., & Kivisheva, A. V. (2016). Dependence of air spring parameters on throttle resistance. *Science and Transport Progres*, 2(62), 157-164. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/67339> (in Russian)
3. Reidemeister, O. H., & Laguza, A. V. (2018). Determination of characteristics of throttling device for pneumatic spring. *Science and Transport Progress*, 1(73), 66-76. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/123394> (in Russian)
4. Stoyanov, N. I., Smirnov, S. S., & Smirnova, A. V. (2014). *Teoreticheskie osnovy teplotekhniki (tekhnicheskaya termo-dinamika i teplomassoobmen)*: uchebnoe posobie. Stavropol: North-Caucasus federal university. (in Russian)
5. *Strateghiya AT «Ukrzaliznycja» na 2019-2023 roky*. (2019). Kabinet Ministriv Ukrainy vid 12 chervnja 2019 roku No 591-r. (in Ukrainian)
6. Aizpun, M., Vinolas, J., & Alonso, A. (2013). Using the stationary tests of the acceptance process of a rail vehicle to identify the vehicle model parameters. *Journal of Rail and Rapid Transit*, 228(4), 408-421. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954409713478592> (in English)
7. Alonso, A., Giménez, J. G., Nieto, J., & Vinolas, J. (2010). Air suspension characterisation and effectiveness of a variable area orifice. *Vehicle System Dynamics*, 48(sup1), 271-286. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423111003731258> (in English)
8. Berg, M. (1997). An air spring model for dynamic analysis of rail vehicles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 211(2), 95-108. DOI: <https://doi.org/10.1243/0954409971530941> (in English)
9. Berg, M. (1999). A Three-Dimensional Airspring Model with Friction and Orifice Damping. *Vehicle System Dynamics*, 33(sup1), 528-539. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.1999.12063109> (in English)
10. Berg, M. (1994). *Modelling of springs and dampers for dynamic analysis of rail vehicles-a pilot study*. Railway Technology, Department of Vehicle Engineering, Royal Institute of Technology. (in English)

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

11. Berry, D., & Yang, H. (1996). Formulation and experimental verification of a pneumatic finite element. *Formulation and experimental verification of a pneumatic finite element*, 39(7), 1097-1114. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0207\(19960415\)39:7<1097::aid-nme880>3.0.co;2-9](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0207(19960415)39:7<1097::aid-nme880>3.0.co;2-9) (in English)
12. Bešter, T., Oman, S., & Nagode, M. (2018). Determining influential factors for an air spring fatigue life. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 42(1), 284-294. DOI: <https://doi.org/10.1111/ffe.12904> (in English)
13. Bruni, S., Vinolas, J., Berg, M., Polach, O., & Stichel, S. (2011). Modelling of suspension components in a rail vehicle dynamics context. *Vehicle System Dynamics*, 49(7), 1021-1072. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.2011.586430> (in English)
14. Chang, F., & Lu, Z.-H. (2008). Dynamic model of an air spring and integration into a vehicle dynamics model. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 222(10), 1813-1825. DOI: <https://doi.org/10.1243/09544070JAUTO867> (in English)
15. Chen, J.-J., Yin, Z.-H., Rakheja, S., He, J.-H., & Guo, K.-H. (2017). Theoretical modelling and experimental analysis of the vertical stiffness of a convoluted air spring including the effect of the stiffness of the bellows. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 232(4), 547-561. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954407017704589> (in English)
16. Coquis, D. P. (2004). *Optimización de suspensiones neumáticas de vehículos ferroviarios* (Doctoral dissertation). Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved from <https://oa.upm.es/7538/> (in English)
17. De Melo, F., Pereira, A., & Morais, A. (2018). The Simulation of an Automotive Air Spring Suspension Using a Pseudo-Dynamic Procedure. *Applied Sciences*, 8(7), 1049-1069. DOI: <https://doi.org/10.3390/app8071049> (in English)
18. Dixon, G., & Pearson, J. (1967). Automatically controlled air spring suspension system for vibration testing. In *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*. Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19670013958/downloads/19670013958.pdf> (in English)
19. Docquier, N., Fisette, P., & Jeanmart, H. *Influence of heat transfer on railway pneumatic suspension dynamics*. Retrieved from https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal%3A81161/datastream/PDF_01/view (in English)
20. Docquier, N., Fisette, P., & Jeanmart, H. (2008). Model-based evaluation of railway pneumatic suspensions. *Vehicle System Dynamics*, 46(sup1), 481-493. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423110801993110> (in English)
21. Docquier, N., Fisette, P., & Jeanmart, H. (2007). Multiphysic modelling of railway vehicles equipped with pneumatic suspensions. *Vehicle System Dynamics*, 45(6), 505-524. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423110601050848> (in English)
22. Docquier, N. (2010). *Multiphysics modelling of multibody systems application to railway pneumatic suspensions* (Doctoral dissertation). Université catholique de Louvain. Retrieved from https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:33474/datastream/PDF_01/view (in English)
23. Du, J., Shi, S., Luo, S., Cheng, T., Peng, X., & Feng, P. (2013). Studies on modeling a single-bellows air spring and simulating its inherent characteristics. *Journal of Shenzhen University Science and Engineering*, 30(2), 167-172. DOI: <https://doi.org/10.3724/sp.j.1249.2013.02167> (in English)
24. EN 14363:2005. *Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles – Testing of running behaviour and stationary tests*. Retrieved from <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/28104202-ab20-4285-84c2-b17c37bdd183/en-14363-2005> (in English)
25. Facchinetti, A., Mazzola, L., Alfi, S., & Bruni, S. (2010). Mathematical modelling of the secondary airspring suspension in railway vehicles and its effect on safety and ride comfort. *Vehicle System Dynamics*, 48(sup1), 429-449. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.2010.486036> (in English)
26. Gao, H. X., Chi, M. R., Zhu, M. H., & Wu, P. B. (2013). Study on Different Connection Types of Air Spring. *Applied Mechanics and Materials*, 423-426, 2026-2034. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.423-426.2026> (in English)
27. Gil-Negrete, N., Nieto, F. J., Pradera-Mallabiarrena, A., & Gonzalez-Prada, J. (2018). On the dynamic stiffness of air springs at medium-high frequencies. In *28th International Conference on Noise and Vibration Engineering, ISMA 2018 and 7th International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics* (pp. 3567-3579). (in English)
28. Haider, A., & Ameen, N. (2015). *Experimental and Theoretical Study of Air Suspension System Control for Passenger Vehicles by Using PID and Fuzzy Controllers* (PhD dissertation). (in English)

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

29. Haupt, P., & Sedlan, K. (2001). Viscoplasticity of elastomeric materials: experimental facts and constitutive modelling. *Archive of Applied Mechanics (Ingenieur Archiv)*, 71(2-3), 89-109.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s004190000102> (in English)
30. ISO 6358:1898. Standard, Pneumatic fluid power – Components using compressible fluids – Determination of flowrate characteristics. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/12666.html> (in English)
31. Lee, S. (2010). Development and analysis of an air spring model. *International Journal of Automotive Technology*, 11(4), 471-479. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12239-010-0058-5> (in English)
32. Li, F., Yang, W., & Ding, Y. (2006). Simulation of Static Test of Air-Spring. *Advanced Materials Research*, 11-12, 713-716. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.11-12.713> (in English)
33. Li, H., Guo, K., Chen, S., Wang, W., & Cong, F. (2013). Design of Stiffness for Air Spring Based on ABAQUS. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, 1-5. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/528218> (in English)
34. Li, X., He, Y., Liu, W., & Wei, Y. (2015). Research on the vertical stiffness of a rolling lobe air spring. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 230(4), 1172-1183. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954409715585370> (in English)
35. Li, X., & Li, T. (2013). Research on vertical stiffness of belted air springs. *Vehicle System Dynamics*, 51(11), 1655-1673. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.2013.819984> (in English)
36. Li, X., Wei, Y., & He, Y. (2016). Simulation on polytropic process of air springs. *Engineering Computations*, 33(7), 1957-1968. DOI: <https://doi.org/10.1108/EC-08-2015-0224> (in English)
37. Löcken, F., & Welsch, M. (2015). The Dynamic Characteristic and Hysteresis Effect of an Air Spring. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 20(1), 127-145.
DOI: <https://doi.org/10.1515/ijame-2015-0009> (in English)
38. Mazzola, L., & Berg, M. (2012). Secondary suspension of railway vehicles - air spring modelling: Performance and critical issues. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 228(3), 225-241. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954409712470641> (in English)
39. Mendia-Garcia, I., Gil-Negrete Laborda, N., Pradera-Mallabiarrena, A., & Berg, M. (2020). A survey on the modelling of air springs – secondary suspension in railway vehicles. *Vehicle System Dynamics*, 1-30.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.2020.1838566> (in English)
40. Nakajima, T., Shimokawa, Y., Mizuno, M., & Sugiyama, H. (2014). Air Suspension System Model Coupled With Leveling and Differential Pressure Valves for Railroad Vehicle Dynamics Simulation. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 9(3), 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4026275> (in English)
41. Nieto, A. J., Morales, A. L., González, A., Chicharro, J. M., & Pintado, P. (2008). An analytical model of pneumatic suspensions based on an experimental characterization. *Journal of Sound and Vibration*, 313(1-2), 290-307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2007.11.027> (in English)
42. Oda, N., & Nishimura, S. (1970). Vibration of Air Suspension Bogies and Their Design. *Bulletin of JSME*, 13(55), 43-50. DOI: <https://doi.org/10.1299/jsme1958.13.43> (in English)
43. Oman, S., & Nagode, M. (2013). On the influence of the cord angle on air-spring fatigue life. *Engineering Failure Analysis*, 27, 61-73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2012.09.002> (in English)
44. Pellegrini, C., Gherardi, F., Spinelli, D., Saporito, G., & Romani, M. (2006). Wheel–rail dynamic of DMU IC4 car for DSB: modeling of the secondary air springs and effects on calculation results. *Vehicle System Dynamics*, 44(sup1), 433-442. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423110600872960> (in English)
45. Presthus, M. (2002). *Derivation of air spring model parameters for train simulation* (PhD dissertation). Luleå University of Technology. (in English)
46. Qing, O., & Yin, S. (2003). The non-linear mechanical properties of an airspring. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 17(3), 705-711. DOI: <https://doi.org/10.1006/mssp.2001.1434> (in English)
47. Quaglia, G., & Sorli, M. (2001). Air Suspension Dimensionless Analysis and Design Procedure. *Vehicle System Dynamics*, 35(6), 443-475. DOI: <https://doi.org/10.1076/vesd.35.6.443.2040> (in English)
48. Sayyaadi, H., & Shokouhi, N. (2010). Effects of air reservoir volume and connecting pipes length and diameter on the air spring behavior in rail vehicles. *Iranian Journal of Science and Technology Transaction B: Engineering*, 34(B5), 499-508. (in English)
49. Sayyaadi, H., & Shokouhi, N. (2009). Improvement of Passengers Ride Comfort in Rail Vehicles Equipped with Air Springs. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 3, 592-598. (in English)
50. Sayyaadi, H., & Shokouhi, N. (2009). New dynamics model for rail vehicles and optimizing air suspension parameters using GA. *International Journal of Science & Technology*, 16(6), 496-512. (in English)

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

51. Sihong, Z., Jiasheng, W., & Ying, Z. (2008). Research on theoretical calculation model for dynamic stiffness of air spring with auxiliary chamber. In *2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference* (pp. 2-7). Harbin, China. DOI: <https://doi.org/10.1109/vppc.2008.4677717> (in English)
52. Spencer, B. F., Dyke, S. J., Sain, M. K., & Carlson, J. D. (1997). Phenomenological Model for Magnetorheological Dampers. *Journal of Engineering Mechanics*, 123(3), 230-238. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9399\(1997\)123:3\(230\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9399(1997)123:3(230)) (in English)
53. Spiroiu, M. A. (2018). Railway Vehicle Pneumatic Rubber Suspension Modelling and Analysis. *Materiale Plastice*, 55(1), 24-27. DOI: <https://doi.org/10.37358/mp.18.1.4956> (in English)
54. Sun, J. (2011). Calculation of vertical stiffness of air spring with FEM. In *4th ANSA & μ ETA International Conference* (pp. 68-72). Thessaloniki, Greece. (in English)
55. Sun, L., Li, Z., Shen, X., & Zhu, J. (2013). Simulation and Test Study on Dynamic Characteristic of Air Spring with Auxiliary Chamber. In *Proceedings of the 2nd International Conference On Systems Engineering and Modeling* (pp. 0648-0651). DOI: <https://doi.org/10.2991/icsem.2013.131> (in English)
56. Sundvall, P. (2001). Comparisons between predicted and measured ride comfort in trains – a case study on modelling. *Division of Railway Technology*. Retrieved from <https://trid.trb.org/view/715412> (in English)
57. Tadeusz, U. (2011). *Railway Design, Simulation and Analysis by ADAMS/Rail Software*. Akademia Górniczo-Hutnicza. (in English)
58. Weimin, Y., Canhui, Ch., Yaling, Ch., & Yansha, R. (2004). Finite element analysis of an air spring for automobile suspension. *Journal of Beijing University of Chemical Technology*, 31(1), 105-109. (in English)
59. Wen, Y.-K. (1976). Method for Random Vibration of Hysteretic Systems. *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 102(2), 249-263. DOI: <https://doi.org/10.1061/jmcea3.0002106> (in English)
60. Wenku, S., Wan, J., Ying, H., Weimin, Y., Hao, Y. & Zubin, L. (2009). Finite element analysis of an air spring concerning initial pressure and parameters of cord fabric layer. In *2009 Asia-Pacific Conference on Computational Intelligence and Industrial Applications (PACIIA)*. Wuhan, China. DOI: 10.1109/PACIIA.2009.5406380 (in English)
61. Xu, L. (2020). Mathematical Modeling and Characteristic Analysis of the Vertical Stiffness for Railway Vehicle Air Spring System. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/2036563> (in English)
62. Xu, W., He, L., & Shuai, C. (2005). Stiffness calculation and dynamic simulation of air spring. *ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. (pp. 1395-1399). California, USA. DOI: <https://doi.org/10.1115/DETC2005-84338> (in English)
63. Zhong, Y., Yang, Q., & Bao, G. (2011). Nonlinear primary resonances of a pneumatic spring under simple harmonic excitations. In *Proceedings of 2011 International Conference on Fluid Power and Mechatronics* (pp. 229-233). Beijing, China. DOI: <https://doi.org/10.1109/FPM.2011.6045763> (in English)
64. Zhu, H., Yang, J., Zhang, Y., & Feng, X. (2017). A novel air spring dynamic model with pneumatic thermodynamics, effective friction and viscoelastic damping. *Journal of Sound and Vibration*, 408, 87-104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2017.07.015> (in English)
65. Zhu, H., Yang, J., Zhang, Y., Feng, X., & Ma, Z. (2017). Nonlinear dynamic model of air spring with a damper for vehicle ride comfort. *Nonlinear Dynamics*, 89(2), 1545-1568. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11071-017-3535-9> (in English)

Надійшла до редколегії: 31.03.2021

Прийнята до друку: 02.08.2021

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 69:658.5

Є. Е. АРУТЮНЯН^{1*}

^{1*}Каф. «Міське будівництво і архітектура», Інженерний навчально-науковий інститут Запорізького національного університету, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (066) 283 01 76, ел. пошта arutyanyan@zpu.edu.ua, ORCID 0000-0002-0502-6651

Інноваційний інструментарій удосконалення процесів організації будівництва в умовах ущільненої міської забудови

Мета. Основна мета статті – на основі аналізу сучасних інноваційних підходів та інструментів удосконалення процесів організації будівництва в умовах ущільненої міської забудови створити науковий інструментарій із використанням логістики, яка має сучасні концепції поліпшення відповідних процесів. **Методика.** Проведено системний аналіз наукових праць у розрізі проблем організації будівельних процесів в умовах щільної забудови, який слугує платформою впровадження інноваційного інструментарію на базі такої галузі знань, як логістика. **Результати.** Обґрунтовано доцільність використання логістичних підходів та концепцій із врахуванням зовнішніх факторів та обмежень, зумовлених оточенням і конфігурацією ділянки, що спричиняють труднощі для внутрішньої організації будівництва. Логістичний інструментарій (підхід) дозволяє більш ефективно використовувати науково-практичний потенціал у розвитку та розробці методів удосконалення організаційно-технологічних рішень будівельного виробництва в умовах функціонально-планувальної інфраструктури міст. Принципи логістики дозволять збалансувати будівельне виробництво в умовах щільної забудови, використовувати гнучкий інструментарій як можливість унесення змін у графік закупівлі, терміни постачання будівельних матеріалів, конструкцій, деталей, а також мінімізувати об'єми запасів будівельних матеріалів. **Наукова новизна.** У ході досліджень представлена модель оптимізації організаційних процесів будівництва, що враховує умови ущільненої міської забудови та функціонально-планувальну інфраструктуру міст. Створено якісно – нову спеціалізовану науково-практичну підгалузь знань – будівельну логістику – для складних умов міської забудови та виконання організаційно-технологічних процесів нового будівництва. **Практична значимість.** Застосування логістичних підходів дозволить удосконалити та оптимізувати процеси організації будівництва з урахуванням суттєвих чинників функціонально-планувальної інфраструктури міста, в умовах яких необхідно приймати раціональні управлінські рішення. Гнучкість, альтернативність виробничо-господарських ситуацій і транспортних мереж під час виконання складних організаційно-технологічних процесів будівництва дає можливість скоротити собівартість будівельно-монтажних робіт та сприятиме зменшенню тривалості будівництва.

Ключові слова: організація будівництва; міська забудова; будівельно-монтажні роботи (БМР); логістика; концепція логістики; оптимізація організаційних процесів

Вступ

Будівництво в Україні є однією з фундаментальних галузей промисловості та найбільш високорозвинутою галуззю, що забезпечує створення нових, розширення та реконструкцію наявних основних фондів.

Зовнішні фактори й обмеження, зумовлені оточенням і конфігурацією ділянки, створюють

значні труднощі в організації будівельних процесів [1, 6].

У наш час умови будівництва у великих містах склалися таким чином, що найбільш інтенсивно будівельні роботи ведуться в їх центральній частині. Особливістю сучасного міського будівництва є прагнення до освоєння простору. Це пов'язано, з одного боку, із привабливістю

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

для інвесторів розміщення об'єктів у районах з уже розвинутою інженерною інфраструктурою та найбільшою концентрацією населення, а з іншого – з історичною психологією престижності об'єктів нерухомості в центральних районах міст [1, 6]. При цьому необхідно враховувати найбільш привабливі території та ділянки, де наявні комунікації та розвинена інфраструктура, а також брати до уваги економічне районування.

Але є істотні труднощі: привабливі ділянки які потрапляють під пляму забудови чи межують із житловими, громадськими або виробничими будівлями, дорогами, які не можуть бути переміщені, інженерними мережами та зеленими насадженнями. Переважно в центральних районах розташовані малоповерхові житлові будинки старої забудови, у тому числі пам'ятки історії та архітектури [1, 6].

Тому і постає проблема: як уже наявне врахувати та вписати в нове будівництво або проведення реконструкції, ремонту, обґрунтувати доцільність зведення нових будівель та споруд (а, можливо, реконструкцію) в умовах ущільненої забудови, передбачити можливість використання міської території та її благоустрій, паралельно довести економічну ефективність проєкту.

Вищесказане доводить необхідність оптимізації (удосконалення) організації будівельних процесів у складних умовах міської забудови та функціонально-планувальної інфраструктури великих міст.

Мета

Основна мета дослідження полягає в розробці дієвого інструментарію на платформі логістики, що дозволить удосконалити організаційні процеси будівництва з урахуванням суттєвих чинників зовнішніх факторів та обмежень функціонально-планувальної інфраструктури міста, зумовлених оточенням і конфігурацією ділянки, в умовах яких необхідно приймати раціональні управлінські рішення. Це дасть можливість скоротити собівартість будівельно-монтажних робіт і сприятиме зменшенню тривалості будівництва.

Методика

Проведено системний аналіз наукових праць в розрізі проблем щільної забудови (М. С. Авдєєва, Л. В. Тустановська [1], спеціалісти різних інститутів типового й експериментального проєктування житла рр. XX ст. 80-х Б. Бранденбург, З. Петрова, О. Василенко, В. Пересветов, Ю. Рєпін та ін. [6]). Для вирішення проблем будівництва житлово-цивільних будівель ми ознайомилися з науковими працями вчених Б. А. Анікіна, А. М. Гаджінського, В. М. Кірнос, І. Д. Павлова, В. О. Поколенка, А. В. Радкевича, О. М. Трідіда, О. А. Тугая, В. Н. Стаханова, що надало можливість проаналізувати питання, пов'язані з організацією будівельного виробництва в контексті реалізації методологічних підходів на базі логістичних засад.

Дослідивши низьку наукових робіт [4, 5, 7, 9, 14], ми ще раз переконуємося в доцільності логістики в будівництві.

Але необхідно враховувати, що будівельне виробництво – це складний комплекс взаємопов'язаних трудових процесів і виробничих відносин будівельного та монтажного напрямів, спрямованих на створення будівельної продукції (складова частина капітального будівництва, у процесі якого зводять нові будівлі та споруди, здійснюють розширення, реконструкцію, технічне переоснащення, капітальний і поточний ремонт наявних підприємств, будівель і споруд) [2–5, 7–9].

Тому для раціонального виконання будівельних процесів у місцях щільної забудови та наявних інфраструктури необхідно оптимізувати організацію будівельного виробництва, враховуючи суттєві чинники функціонально-планувальної інфраструктури міст України.

Аналіз наукових праць вітчизняних та іноземних фахівців-учених, таких як В. М. Кірнос, В. Р. Млодецький, І. Д. Павлов, В. О. Поколенко, А. В. Радкевич, В. Н. Стаханов, В. І. Торкатюк, О. А. Тугай, Р. Б. Тянь та ін., які віддзеркалюють спектр наявних проблем у розрізі практики організації будівельного виробництва, засвідчує необхідність розробки та впровадження відповідного інструментарію [3–5, 7, 9–10].

Платформа аналізу підштовхує до застосування логістики, яка активізує наявні методи організації будівництва.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Для розв'язання складних організаційно-виробничих питань у будівництві застосовуємо логістичні підходи (концепції), враховуючи специфічні умови будгенплану, які полягають у необхідності раціонального розташування відповідних складських приміщень, тимчасових

будівель, майстерень, будівельних машин і техніки.

Тимчасові будівлі, складські приміщення, відповідно до правил організації будівництва ДБН А.3.1–5–2016 [2], потрібно розташовувати в межах будівельного майданчика (рис. 1).

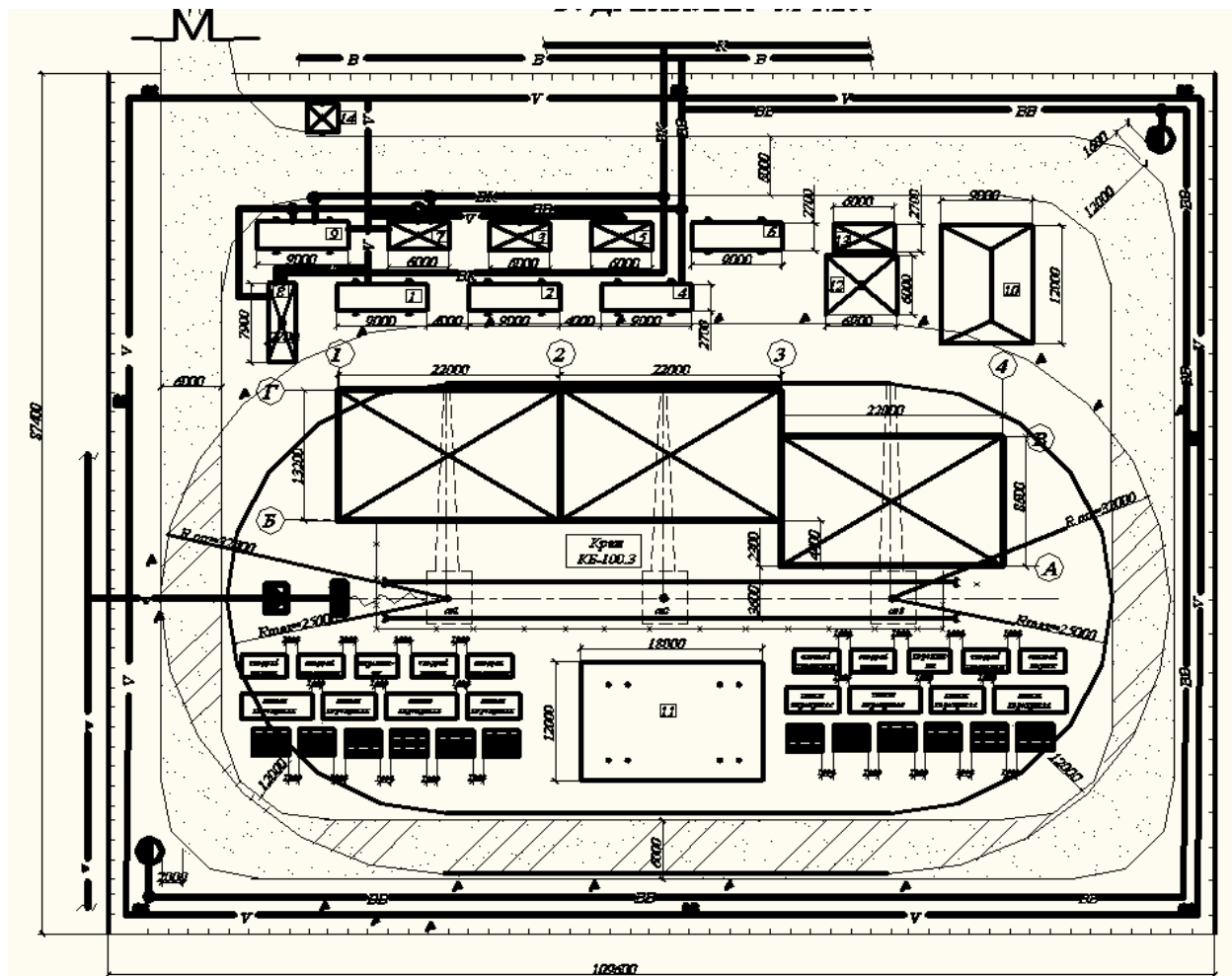


Рис. 1. Приклад будгенплану житлової трисекційної багатоповерхової будівлі

Fig. 1. Example of construction layout plan of a residential three-section multi-storey building

Результат

Поняття «будівництво» розуміють у кількох значеннях [2–5, 8]:

- 1) як процес спорудження будівель;
- 2) як галузь, що забезпечує створення нових підприємств, розширення, реконструкцію й технічне переобладнання підприємств та інших об'єктів виробничої сфери, а також об'єктів не-

виробничої сфери. До продукції будівництва належить і капітальний ремонт будівельних об'єктів.

Визначена у статті проблематика дає поштовх до необхідності створення дієвого інструментарію – будівельної логістики, що враховує складні умови міської забудови для виконання організаційно-технологічних процесів нового будівництва.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Принципи логістики дозволяють збалансувати будівельне виробництво в умовах щільної забудови; використовувати гнучкий інструментарій як можливість внесення змін у графік закупівлі матеріалів, змін у термінах постачання будівельних матеріалів, конструкцій, деталей; мінімізувати об'єми запасів будівельних матеріалів, конструкцій, деталей за рахунок раціональних підходів та розрахунків, а в деяких випадках повністю або частково відмовитися від складування, використовуючи концепцію «точно – вчасно»; змоделювати рух потоків будівельних матеріалів, конструкцій, деталей; раціонально управляти матеріальними потоками будівельних ресурсів; гарантувати надійність у забезпеченні будівельними матеріалоресурсами; підвищити економічність за рахунок скорочення рівня запасів будівельних ресурсів, а також враховувати дефіцит ресурсів; розробити раціональний план маршрутизації за рахунок оптимальної дорожньої карти та мінімізації транспортних витрат, своєчасної доставки матеріально-технічних ресурсів на будівельні майданчики; виконати раціональний вибір постачальника, враховуючи якість ресурсів, цінову політику, доброчесність, виробничу потужність.

Можемо зробити висновок, що логістика організації будівництва передбачає управління матеріальними потоками, своєчасне забезпечення будівельними матеріалами, конструкціями, деталями.

Управління матеріальними потоками включає операції вантаження, розвантаження, транспортування, комплектації та інші, а відповідний матеріальному інформаційний потік характеризується операціями збору, обробки й передачі інформації.

Дослідження ряду логістичних концепцій дає змогу зробити висновок: для вдосконалення (поліпшення) організації виконання будівельно-монтажних робіт в умовах щільної міської забудови доречно використовувати можливості таких концепцій:

– концепція JIT «точно – вчасно» [4, 9, 11, 12, 14] удосконалення графіка постачань; схема «точно – вчасно» разом із тим сприяє концентрації основних постачальників будівельних ресурсів, які стають, по суті, партнерами будівельних організацій [4, 7, 9, 12];

– концепція RP у виробництві та постачанні, що містить системи MRP I і MRP II – Materials Requirements Planning / Manufacturing Resource Planning (система планування потреб у матеріалах / виробниче планування потреб у ресурсах), а в розподілі DRP I і DRP II – Distribution Requirements Planning / Distribution Resource Planning (система планування розподілу продукції й розподілу ресурсів відповідно) [6]. Система MRP – це визначення терміну будівництва, ритмічності постачань будівельних ресурсів та їх кількості відповідно до проектно-кошторисної документації, яка враховує специфіку будівлі;

– концепція OPT – Optimized Production Technology (оптимізовані виробничі технології), яка дозволяє не реагувати на появу «вузьких» місць у ланцюгу міжсистемних зв'язків «постачання – виробництво – збут» [9, 12, 13].

Під час формування оптимального графіка проведення будівельно-монтажних робіт (БМР) використовують критерій забезпеченості постачань будівельних матеріалів, конструкцій, виробів, ефективність використання будівельних ресурсів, мінімум запасів і гнучкість виробництва відповідно до етапів будівництва.

Ефект системи OPT – зниження виробничих і транспортних витрат; зменшення обсягів незавершеного виробництва; скорочення виробничого циклу; зниження потреби в складських і виробничих площах; підвищення ритмічності відвантаження виготовленої продукції замовнику [4, 7, 9, 13].

Виходячи з вищезазначеного, можемо стверджувати: логістика є сучасним механізмом, який визначає шляхи оновлення методів організації будівельних процесів і здатний успішно вирішувати найбільш суттєві проблеми за рахунок надійного управління потоками в межах виробничої діяльності будівельних організацій. Ключовим аспектом логістики є організація, управління матеріальними та нематеріальними потоками.

Для досягнення головної мети запропоновано оптимізувати організаційні процеси з урахуванням концепції логістики, при цьому взято до уваги відповідні заходи як для будівництва, ремонту або реконструкції, так і умови щільної міської забудови (рис. 2).

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

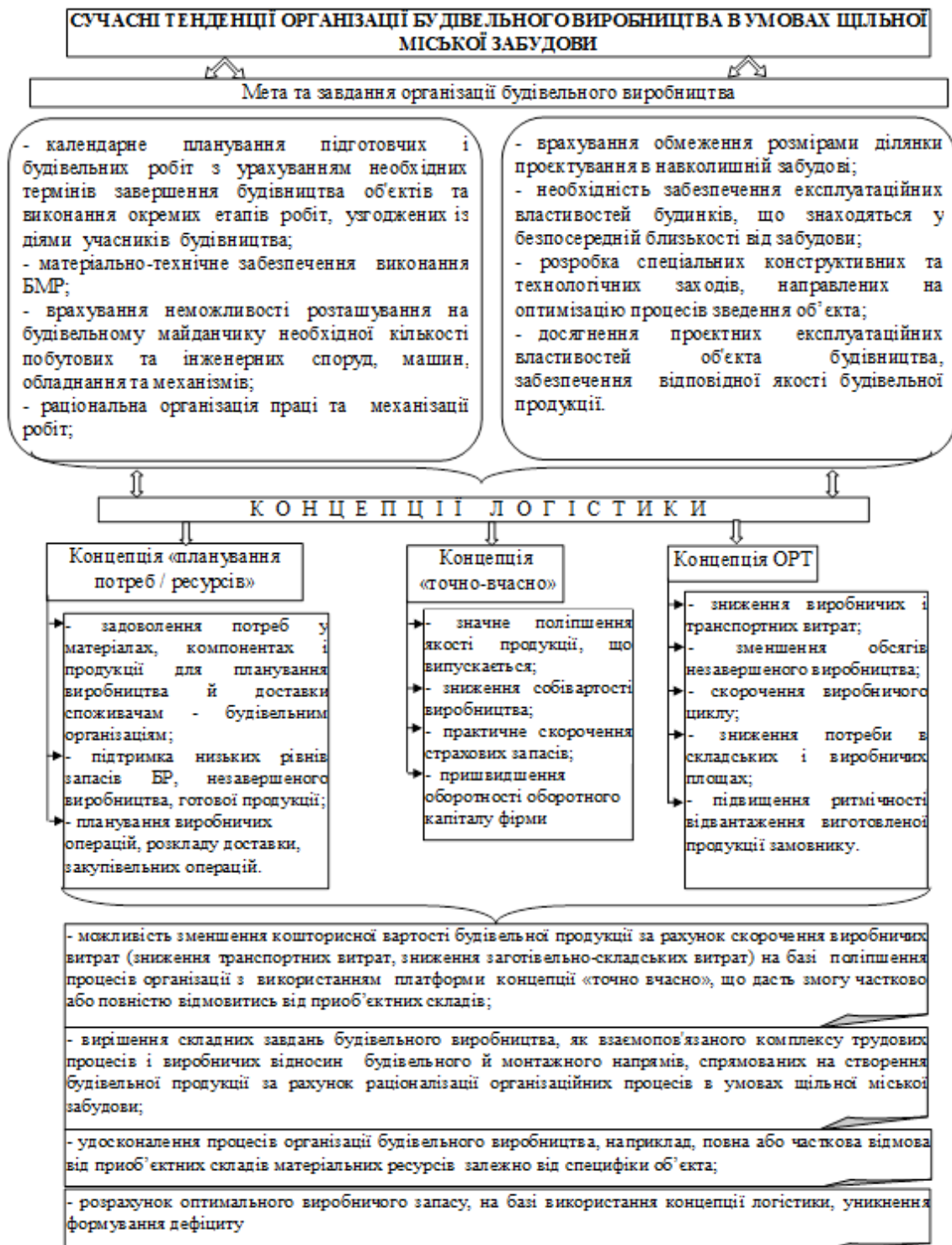


Рис. 2. Оптимізація організації будівельного виробництва в умовах щільної міської забудови з використанням концепції логістики

Fig. 2. Optimization of the organization of construction production in the conditions of dense city development using the concepts of logistics

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Наукова новизна та практична значимість

На основі наукових досліджень отримана модель оптимізації організаційних процесів будівництва з урахуванням умов ущільненої міської забудови та функціонально-планувальної інфраструктури міст.

Зважаючи на труднощі зовнішніх факторів та обмежень функціонально-планувальної інфраструктури міст знайдено оптимальне розв'язання складних організаційних задач, що дає можливість скоротити собівартість будівельно-монтажних робіт і сприятиме зменшенню тривалості будівництва.

Висновок

У ході дослідження виявлено можливості вдосконалення процесів організації будівництва в умовах ущільненої міської забудови за рахунок застосування логістики зокрема основних

елементів її концепцій, що сприяє формуванню механізму оптимального розв'язання складних організаційно-технологічних задач будівельного виробництва: удосконалення графіка поставок за схемою «точно – вчасно»; планування потреб у будівельних ресурсах відповідно до специфіки об'єкта; визначення терміну будівництва, ритмічності поставок будівельних ресурсів та їх кількості відповідно до проектно-кошторисної документації.

Нова концептуальна основа оптимізації організаційних процесів будівельного виробництва в умовах щільної міської забудови за рахунок застосування логістичних концепцій «точно – вчасно», «планування потреб / ресурсів», ОРТ дозволяє кардинально переосмислити теорію і практику будівельного виробництва в разі розміщення нових житлових будинків на земельних ділянках у мікрорайонах під час проведення розрахунків граничної щільності населення, об'єктів благоустрою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авдєєва М. С., Тустановська Л. В. Особливості проектування житлових будинків в умовах щільної забудови. *Проблеми розвитку міського середовища*. 2016. Вип. 2. С. 3–9.
2. ДБН А.3.1-5-2016 Організація будівельного виробництва [Чинний від 2016-01-01.]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 49 с.
3. Киринос В. М., Залуний В. Ф., Дадиверина Л. Н. *Организация строительства* : учебник. Днепропетровск : Пороги, 2005. 309 с.
4. *Наукові основи розвитку будівельної галузі України* : монографія / ред. І. А. Арутюнян. Запоріжжя : Запорізька державна інженерна академія, 2017. 460 с.
5. Павлов І. Д., Полтавець М. О., Павлов Ф. І. Системологічне управління виробничими системами в будівництві. *Наукові вісті Давіського університету : електронне наукове фахове видання*. 2018. № 17. С. 53–61. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2020/205011>
6. Петренко Ю. В. Особливості архітектурно-планувальних та містобудівельних рішень при проектуванні будівель в умовах щільної забудови. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2017. № 878. С. 141–148.
7. Радкевич А. В., Арутюнян І. А. Організація системи матеріального забезпечення будівництва. *Наука та прогрес транспорту*. 2014. № 3 (51). С. 146–159.
8. Трач Р. В. Сучасні концепції управління проектом у будівництві. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2018. № 2 (82). С. 232–239.
9. Arutiunian I., Dankevych N., Arutiunian Y., Saikov D., Poltavets M., Maranov A., Frolov D. Development of a mathematical model for selection and rationale for making optimal construction decisions. *Advances in Mathematics : Scientific Journal*. 2020. Vol. 9, №. 12. P. 10649–10659. DOI: <https://doi.org/10.37418/amsj.9.12.50>
10. Engström S., Stehn, L., Sardén Y. Competitive impact of industrialized building – in search for explanations to the current state. *Proceedings 25th Annual ARCOM Conference* (Nottingham, 7-9 September 2009). Nottingham, UK, 2009. P. 413–424.
11. Jonsons J. C., Wood D. F. *Contemporary Logistics*. New York : MacMillan, 2017. 325 p.

12. Moller C., Johansen J. *Paradigms in Logistics*. Department of Production. Denmark : University of Aalborg, 2005. 324 p.
13. Noel M. *Project engineer's manual for construction* : textbook. Michigan, 2015. 86 p.
14. Prakash K. *Elements of civil engineering* : textbook. Department of Civil Engineering Sri Jayachamarajendra College of Engineering, Mysore. 2015. 44 p.

Y. E. ARUTIUNIAN^{1*}

^{1*}Dep. «Urban Construction and Architecture», Engineering Educational and Scientific Institute of Zaporizhzhia National University, Sobornyi Av., 226, Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (066) 283 01 76, e-mail arytynyanevgen@gmail.com, ORCID 0000-0002-0502-6651

Innovative Tools for Improvement of Construction Organization Processes in the Conditions of Dense Urban Development

Purpose. The article is aimed to create scientific tools based on the analysis of modern innovative approaches and tools to improve the processes of construction organization in the conditions of dense urban development using logistics, which has modern concepts of improving the corresponding processes. **Methodology.** A systematic analysis of scientific works in terms of problems of organization of construction processes taking into account the conditions of dense development, which serves as a platform for the introduction of innovative tools based on the field of logistics knowledge. **Findings.** The expediency of using logistical approaches and concepts is substantiated, taking into account external factors and limitations that are caused by the environment and configuration of the site, causing difficulties for the internal organization of construction. Logistics tools (approach) allow more efficient use of scientific and practical potential in the further development of methods for improving organizational and technological solutions of construction production under conditions of the functional and planning infrastructure of cities. Principles of logistics will allow to balance construction production in the conditions of dense building; to use flexible tools as an opportunity to make changes in the schedule of material purchase, changes in terms of delivery of building materials, designs, details; minimize stocks of building materials. **Originality.** Based on scientific research, a model of optimization of organizational construction processes is presented, taking into account the conditions of dense urban development and functional and planning infrastructure of cities. A qualitatively new specialized scientific and practical sub-branch of knowledge, construction logistics, was created for complex conditions of urban development to perform organizational and technological processes of new construction. **Practical value.** The use of logistics approaches will improve and optimize the processes of construction organization, taking into account the essential factors of functional and planning infrastructure of the city, in which it is necessary to make rational management decisions. Flexibility, alternativeness of production and economic situations and transport networks during the complex organizational and technological processes of construction make it possible to reduce the cost of construction and installation works and help reduce the duration of construction.

Keywords: construction organization; urban development; construction and installation works; logistics; logistic conception; optimization of organizational processes

REFERENCES

1. Avdeeva, M., & Tustanovska, L. (2016). Osoblyvosti proektuvannja zhytlovykh budynkiv v umovakh shhil'noji zabudovy. *Problemy rozvytku misjkogho seredovyshha*, 2, 3-9. (in Ukrainian)
2. *Orghanizacija budivel'nogho vyrobnyctva*, 49 DBN A.3.1-5-2016. (2016). (in Ukrainian)
3. Kirnos, V., Zalunin, V., & Dadiverina, L. (2005). Organizatsiya stroitelstva: uchebnik. Dnipropetrovsk: Porogi. (in Russian)
4. Arutiunian, I. (Ed.). (2017). *Naukovi osnovy rozvytku budivel'noji ghaluzi Ukrajinny: monohrafiya*. Zaporizhzhia: ZSEA. (in Ukrainian)
5. Pavlov, I. D., Poltavets, M. O., & Pavlov, F. I. (2020). System management of organizational-technological reliability of production processes in building. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, 17, 53-61. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2020/205011> (in Ukrainian)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

6. Petrenko, Yu. (2017). Features of architectural planning and urban planning decisions of the design of buildings in a dense development. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*, 878, 141-148. (in Ukrainian)
7. Radkevich, A., & Arutyunyan, I. (2014). System organization of material providing of building. *Science and Transport Progress*, 3(51), 146-159. (in Ukrainian)
8. Trach, R. V. (2018). Modern concepts of project management in construction. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. Bulletin of the National university of water and environmental engineering*, 2(82), 232-239. (in Ukrainian)
9. Arutiunian, I., Dankevych, N., Arutiunian, Y., Saikov, D., Poltavets, M., Maranov, A., & Frolov, D. (2020). Development of a mathematical model for selection and rationale for making optimal construction decisions. *Advances in Mathematics: Scientific Journal*, 9(12), 10649-10659. DOI: <https://doi.org/10.37418/amsj.9.12.50> (in English)
10. Engström, S., Stehn, L., & Sardén, Y. (2009). Competitive impact of industrialized building – in search for explanations to the current state. In *Proceedings 25th Annual ARCOM Conference* (pp. 413-424). Nottingham, UK, England. (in English)
11. Jonsons, J. C., & Wood, D. F. (2017). *Contemporary Logistics*. New York: MacMillan. (in English)
12. Moller, C., & Johansen, J. (2005). *Paradigms in Logistics*. Department of Production. Denmark: University of Aalborg. (in English)
13. Noel, M. (2015). *Project engineer's manual for construction: textbook*. Michigan. (in English)
14. Prakash, K. (2015). *Elements of civil engineering: textbook*. Department of Civil Engineering Sri Jayachamarajendra College of Engineering, Mysore. (in English)

Надійшла до редколегії: 31.03.2021

Прийнята до друку: 02.08.2021

УДК 625.745.1-049.6

Н. О. ДАНКЕВИЧ^{1*}, М. В. П'ЯТНИЦЯ²

^{1*}Каф. «Промислове та цивільне будівництво», Інженерний навчально-науковий інститут Запорізького національного університету, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (066) 482 42 78, ел. пошта DankevichNatali28@gmail.com, ORCID 0000-0002-7146-9303

²Каф. «Промислове та цивільне будівництво», Інженерний навчально-науковий інститут Запорізького національного університету, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (050) 533 30 25, ел. пошта pytnitsa99@gmail.com, ORCID 0000-0003-1899-8991

Оцінка надійності та технічна діагностика мостової споруди через р. Верхня Хортиця у м. Запоріжжя

Мета. Автори мають на меті провести оцінку надійності та технічну діагностику мостової споруди, а також розробити методи усунення дефектів і відновлення експлуатаційної придатності пошкоджених будівельних конструкцій, оскільки більшість аварійних ситуацій виникає через незадовільний технічний стан споруд, конструкцій та їх значну зношеність унаслідок закінчення нормативного строку експлуатації. **Методика.** Важливу роль у дослідженні відіграє формування знань і вмінь використання сучасного інженерно-технічного підходу до проведення обстеження будівельних конструкцій з метою відновлення їх експлуатаційної придатності. Обстеження будівельних об'єктів проводять відповідно до правил, визначених відповідними нормативними актами. Дефекти і пошкодження описуються в матеріалах обстежень із зазначенням можливих причин їх появи та прогнозування їх подальшого впливу на надійність і довговічність споруди. **Результати.** У роботі проведено аналіз наукових досліджень і нормативних документів, які відображають проблему підвищення безпеки експлуатації будівель і споруд та виконання оцінювання технічного стану конструкцій. Застосовано методи оцінки надійності й технічної діагностики мостових споруд. Обґрунтовано результати обстеження та розроблено рекомендації, щодо забезпечення експлуатаційної придатності та підвищення ресурсу пошкоджених конструкцій об'єкта дослідження. **Наукова новизна.** На основі проектно-технологічної документації, нормативної бази, наукових досліджень отримано модель грамотної систематизації даних з обстеження споруд. Звернено увагу на своєчасне проведення капітального ремонту, а також поточного середнього ремонту для поліпшення технічного стану елементів мосту, а в ряді випадків – і цілої споруди. **Практична значимість.** Застосування методів обстеження – візуального та інструментального – дозволило сформулювати висновки і рекомендації, орієнтовані на широке впровадження в практику оцінки надійності й технічного стану споруд.

Ключові слова: мостові споруди; аварійний стан; технічний стан; контрольовані параметри; безпека експлуатації; надійність

Вступ

Більшість аварійних ситуацій виникає через незадовільний технічний стан споруд, конструкцій та їх значну зношеність унаслідок закінчення нормативного строку експлуатації – нормативного ресурсу, невиконання нормативних обсягів планово-попереджувальних ремонтів, порушення регламенту експлуатації та недостатня надійність функціонування в умовах екстремальних природних явищ.

Згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 05.05.97 № 407 усі об'єкти виробничого, громадського, складського призначення, інженерно-технічні споруди, а також інженерні

мережі, із метою забезпечення їх надійності, безпечної експлуатації та запобігання аваріям на них, підлягають паспортизації та технічному обстеженню із залученням відповідних науково-дослідних і проектних організацій [3, 10, 12–14].

Проблема оцінки та прогнозу безпечного строку експлуатації пішохідних мостів у Запорізької області, із якою стикається і вся країна в цілому, є особливо вагомим через значну кількість несприятливих причин, а саме: нестабільне економічне та фінансове становище; майже останнє місце в Європі за розвитком дорожньої мережі; малий строк служби залізобетонних

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

прогонових споруд мостів; відсутність належної системи експлуатації та інші.

У зв'язку зі збільшення пішохідного потоку та строку експлуатації пішохідних мостів в Україні, зростає необхідність активізації робіт із ремонтів мостів та вдосконалення системи їх утримання.

Мета

Оскільки ремонтним роботам передують обстеження, обробка отриманої інформації та викладення її у вигляді паспорта й технічного звіту про стан споруди, потрібно мати чітке уявлення про структуру та основні аспекти оформлення цих документів згідно із сучасними нормативами. Важливо, щоб роботи з обстеження також здійснювали на підставі чинної нормативної бази [2, 3, 11, 14].

Тому метою цієї роботи є оцінка, розробка методів усунення дефектів і відновлення експлуатаційної придатності пошкоджених будівельних конструкцій пішохідного мосту через річку Верхня Хортиця в м. Запоріжжя, а також формування рекомендацій щодо подальшої безпечної експлуатації наявних будівельних конструкцій споруди.

Методика

Обстеження будівельних об'єктів проводять відповідно до правил, закріплених відповідними нормативними актами. Обстеження мостів є однією зі складових технічної експлуатації, що забезпечує належний рівень надійності й довговічності згідно з ДСТУ–Н Б В.2.3–23:2012.

Обстеження мостів проводять згідно з програмою, розробленою виконавцем робіт і узгодженою з власником споруди. Програму робіт можна коригувати в процесі виконання обстеження, якщо цього вимагають отримані під час обстеження дані. Інформація, отримана в процесі обстеження, повинна відображати рівень деградації й тенденцію розвитку дефектів. Вона має бути достатньо повною, щоб виконати класифікацію технічного стану споруди й оцінити вартість усунення дефектів [1, 2, 9, 10, 14].

Дефекти й пошкодження описують у матеріалах обстежень із зазначенням можливих причин їх появи та прогнозу їх подальшого впливу

на надійність і довговічність споруди. Найбільш небезпечні й характерні пошкодження та дефекти фотографують. Геодезичну зйомку моста та його елементів проводять для оцінки відповідності положення споруди в плані та профілі, зазначених у проєктній, виконавчій або експлуатаційній технічній документації.

Підсумковим результатом обстеження є оцінка технічного стану мостової споруди, яку визначають шляхом усебічного аналізу даних, отриманих під час обстеження і випробування, та за показниками її основних властивостей (довговічності, безпеки та ін.) з урахуванням результатів аналізу і класифікації наявних дефектів за категоріями.

Загальну оцінку стану мостової споруди (узгальнений показник стану споруди) використовують для визначення правильної стратегії ремонту, а також для визначення режиму експлуатації споруди [2, 3, 10, 12–14].

Технічне обстеження будівельних конструкцій на об'єкті «Пішохідний міст через р. Верхня Хортиця, вул. Героїв 37-го батальйону – вул. Зачиняєва, м. Запоріжжя» виконано за договором із замовником, у якому вказані елементи об'єкта, що підлягають обстеженню, завдання й терміни виконання робіт.

Споруда розрахована на пропуск пішохідних потоків над річкою Верхня Хортиця.

У плані міст розташований перпендикулярно до русла річки Верхня Хортиця (рис. 1).

Для оцінки технічного стану в обсяг обстеження увійшли такі конструктивні елементи споруди: мостове полотно; прогонові споруди; опори; підходи; укоси; русло.

Конструктивно міст виконано за балковою нерозрізною схемою однопрогоновим, з обпиранням прогонових конструкцій на залізобетонні плити та залізобетонні блоки опор. Повна довжина мосту за зовнішніми гранями прогонової споруди становить 12,4 м. Ширина по верху прогонової споруди – 1,5 м, належить до класу наслідків СС1, нормативне навантаження 0,4 т/м². Споруда розташована в Дніпровському районі міста Запоріжжя. Природно-кліматична характеристика майданчика розташування мосту, належить до II кліматичного району згідно з ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО



Рис. 1. Ситуаційний план пішохідного мосту через р. Верхня Хортиця

Fig. 1. Situational plan of the pedestrian bridge across the Verkhnia Khortytsia River

Споруда має горизонтальний поздовжній профіль. Рух пішоходів здійснюється по одній смузі. Покриття мосту – сталевий просічно-втяжний лист. Організований водовідвід з поверхні не запроєктовано. Водовідведення з поверхні відбувається за рахунок отворів у просічно-втяжному листі покриття. Штучне освітлення споруди – відсутнє. На момент обстеження споруда перебуває в експлуатації. Функціональне призначення відповідає проекту.

Загальний вигляд мосту наведено на рис. 2, ситуаційний план – рис. 1.



Рис. 2. Загальний вигляд пішохідного мосту через р. Верхня Хортиця, м. Запоріжжя

Fig. 2. General view of the pedestrian bridge across the Verkhnia Khortytsia River, Zaporizhzhia

Програмою обстеження проведення інженерно-геологічних вишукувань не передбачено. Класифікація технічного стану споруди визначена відповідно до ДСТУ–Н Б В.2.3.–23:2012.

Програма обстеження передбачала виконання таких робіт:

1) Загальне обстеження споруди, умов експлуатації.

2) Виконання обмірювальних робіт і складання креслень.

3) Зовнішній огляд і виявлення пошкоджень, дефектів, геометричних характеристик конструкцій, а також встановлення відповідності вузлів сполучення вимогам норм проектування. Фотографування та виконання необхідних ескізів пошкоджень, дефектів, а також інших невідповідностей вимогам будівельних норм за результатами зовнішнього огляду.

4) Вивчення результатів зовнішнього огляду та інструментального вимірювання.

2) Оцінювання технічного стану мосту в цілому для рангування споруди за потребою експлуатаційних заходів.

У процесі обстеження будівельних конструкцій використано такі прилади та інструменти:

1) далекомір лазерний ручний Leica Disto D2, діапазон вимірювань 0,05–150,0 м, похибка $\Delta = \pm 1,5$ мм;

2) рулетка вимірювальна металева Р10УЗК, діапазон вимірювань 0–10000 мм, ціна поділки 1 мм, 3 кл.;

3) цифрова фотокамера;

4) рейка нівелірна РН–3;

5) нівелір НН–3П.

За результатами обстеження технічного стану споруди через р. Верхня Хортиця, між вул. Героїв 37-го батальйону й вул. Зачиняєва, м. Запоріжжя, складено відомість дефектів, у якій наведені основні дефекти й пошкодження, а також заходи, щодо їх усунення. За результатами експертизи буде підготовлено експертний звіт, на вимогу замовника – паспорт технічного стану будівлі.

Результати

Для досягнення поставленої мети проведено аналіз праць як вітчизняних, так і закордонних науковців, обґрунтовано вибір нормативної

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

бази, використано матеріали натурних обстежень мостів подібних конструкцій, які експлуатуються на території Запорізької області.

Дослідження проводилось аналітичним та експериментальним методом відповідно до чинних нормативних документів. У ході обстеження сформована відомість основних дефектів (табл. 1).

Таблиця 1

Відомість дефектів пішохідного мосту

Table 1

Defect list of the pedestrian bridge		
№ з/п	Найменування дефектів та пошкоджень	Заходи щодо їх усунення
1. Мостове полотно		
1	Деформація, недостатня жорсткість листа покриття мосту (рис.3)	Замінити листи покриття мосту
2	Огорожа (перила) мостової споруди не відповідає нормативним вимогам (рис. 4)	Виконати огорожу згідно з ДСТУ Б В.2.3–11–2004
3	Відсутність освітлення на всій території споруди	Установити опору освітлення
4	Корозія поверхні металевих конструкцій мосту (рис. 5)	Очистити елементи від продуктів корозії, покрити захисною антикорозійною сумішшю й пофарбувати
2. Прогонові споруди		
5	Проростання дерев та чагарників у безпосередній близькості до прогонових споруди (рис. 6)	Провести вирубку дерев і кущів, що знаходяться на відстані менше ніж 3,0 метри від конструктивних елементів споруди

Продовження табл. 1

Continuation of Table 1

№ з/п	Найменування дефектів та пошкоджень	Заходи щодо їх усунення
6	Корозія поверхні металевих конструкцій мосту	Очистити елементи від продуктів корозії, покрити захисною антикорозійною сумішшю й пофарбувати
3. Опори		
7	Розмив та зсув фундаментних блоків через підвищенні рівня річкової води (рис. 7)	Установлення фундаментних блоків у проєктне положення, укріплення основи фундаментів
4. Фундаменти		
8	Пошкодження споруди, викликаних незадовільним станом фундаменту, у ході обстеження не виявлено	
5. Підходи		
9	Відсутність освітлення на всій території споруди	Установити опору освітлення
10	Розмиття ґрунту підходів до мосту через відсутність організованого водовідведення та належного покриття (рис. 8)	Виконати організоване водовідведення на підходах до мосту
11	Відсутність пандуса, належного підходу до мосту	Установити пандус на підході до мосту
6. Русло		
12	Замулення, проростання рослинності, засмічення русла річки (рис. 9)	Розчистити русло від рослинності та сміття

Для визначення стану основних бетонних конструктивних елементів (залізобетонні підпірні стіни) необхідно встановити міцність бетону за допомогою ударно-імпульсного вимірювача для контролю міцності бетону «Онiкс–2.5».

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО



Рис. 3. Деформація, недостатня жорсткість листа покриття мосту

Fig. 3. Deformation, insufficient rigidity of the sheet covering the bridge



Рис. 4. Огорожа (перила) мостової споруди

Fig. 4. The fence (railing) of the bridge structure



Рис. 5. Корозія поверхні металевих конструкцій

Fig. 5. Corrosion of the surface of metal structures



Рис. 6. Проростання дерев та чагарників у безпосередній близькості до прогонових споруд

Fig. 6. Germination of trees and shrubs in the immediate vicinity of the outbuildings



Рис. 7. Розмив та зсув фундаментних блоків через підвищення рівня річкової води

Fig. 7. Erosion and displacement of foundation blocks with increasing summer water level



Рис. 8. Розмиття ґрунту підходів до мосту через відсутність організованого водовідведення та належного покриття

Fig. 8. Soil erosion of approaches to the bridge due to the absence of organized drainage and proper coverage of the bridge



Рис. 9. Замулення, проростання рослинності, засмічення русла річки

Fig. 9 Siltation, germination of vegetation, clogging of the riverbed

За результатами обстеження та відповідно до експертної експлуатаційної оцінки стан споруди пішохідного мосту через р. Верхня Хортиця, між вул. Героїв 37-го батальйону й вул. Зачиняєва, м. Запоріжжя, можна визначити як середньозважене значення експлуатаційного стану груп конструктивних елементів споруди, згідно з п. 7 ДСТУ–Н Б В.2.3–23:2012:

$$E = \frac{80(5 - \sum_{i=1}^{i=7} \alpha_i D_i)}{4} + 20, \quad (1)$$

де D_i – номер експлуатаційного стану групи конструктивних елементів споруди згідно з класифікаційною; α_i – коефіцієнт впливу стану i -го елемента на загальний стан споруди (нормалізовані коефіцієнти ваги), $i = 1, 2, \dots, 7$.

Згідно з розрахунком, експертна експлуатаційна оцінка (рейтинг) споруди в цілому за таблицею 4.1 ДСТУ–Н Б В.2.3–23:2012 становить $E=72$ (стан 3, працездатний).

Додаткового аналізу вимагають питання, пов'язані з розробкою технічного паспорту споруди за результатами експертизи.

Наукова новизна та практична значимість

Отримано модель грамотної систематизації даних з обстеження споруд із використанням наукових та нормативних джерел. Звернено увагу на своєчасне проведення капітального ремонту, а також поточного середнього ремонту для поліпшення технічного стану елементів мосту, а у ряді випадків і цілої споруди.

Розроблена методика допомагає систематизувати й полегшити роботу з ведення обліку та виконання ремонту дефектів споруд.

Висновки

Як показують результати проведеного обстеження, виявлені дефекти й пошкодження будівельних конструкцій об'єкта «Пішохідний міст через р. Верхня Хортиця, вул. Героїв 37-го батальйону – вул. Зачиняєва, м. Запоріжжя» пов'язані відсутністю належної системи спостереження й технічного обслуговування.

У ході обстеження виконано обмірні роботи з уточненням габаритних розмірів і складу перетинів елементів, проведено зіставлення фактичної конструктивної схеми будови з проєктним рішенням, а також здійснено оформлення ескізів та фотозйомку виявлених дефектів і пошкоджень.

На підставі аналізу результатів обстеження конструкцій об'єкта, характеру та місця розташування дефектів і пошкоджень можна вважати, що запас міцності несучої здатності досліджуваної споруди в цілому недостатній.

У цілому споруда, з огляду на характер пошкоджень та їх вплив на експлуатаційну придатність, перебуває у працездатному стані та підлягає подальшій експлуатації за умови обов'язкового проведення планових обстежень, скорочення термінів між періодичними оглядами, виконання поточних ремонтів. За необхідності слід обмежувати швидкість руху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Банах В. А., Павлов І. Д., Радкевич А. В., Арутюнян І. А., Бичевий П. П., Мальований І. В., ... Афана-сьєв В. В. *Наукові основи розвитку будівельної галузі України* : монографія. Запоріжжя : Вид-во ЗДІА, 2017. 460 с.
2. Бондар Л., Коваль П., Степанов С. Обстеження мостів та вдосконалення критеріїв планів з обстеження. *Дороги і мости*. 2017. Вип. 17. С. 42–53. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2017.17.042>
3. Барашиков А. Я., Малишев О. М. *Оцінювання технічного стану будівельних та інженерних споруд*. Київ : Основа, 2008. 320 с.
4. *ДБН В.2.3-6:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування*. [Чинний від 2009-11-11]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 63 с.
5. *ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування*. [Чинний від 2014-10-06]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 206 с.
6. *ДСТУ Б В.2.6-193:2013. Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування*. [Чинний від 2013-08-08]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 49 с.
7. *ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів*. [Чинний від 2012-12-28]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. 55 с.
8. *ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія*. [Чинний від 2010-12-16]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 123 с.
9. Малишев О. М. *Технічне обстеження та нагляд за безпечною експлуатацією будівель та інженерних споруд*. Київ : Відлуння, 2007. 708 с.
10. Плоский В. О., Гетун Г. В., Вироцький В. *Технічна експлуатація та реконструкція будівель*. Кам'янець-Подільський : Рута, 2018. 750 с.
11. Пшінько О. М., Зінкевич А. М., Савицький М. В. *Відновлення експлуатаційної придатності бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій* : навч. посіб. Дніпро : Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2018. 224 с.
12. Якименко О. В., Кіктьова К. О. *Технічна експлуатація будівель та споруд* : навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 247 с.
13. Ratay R. T. *Ratay Structural Condition Assessment*. New York, United States : John Wiley, 2005. 712 p.
14. Schmid K. F. *Building Inspection Manual: A Guide for Building Professionals for Maintenance, Safety, and Assessment*. New York : Momentum Press, 2014. 268 p.

N. O. DANKEVYCH^{1*}, M. V. PIATNYTSIA²

^{1*}Dep. «Industrial and Civil Engineering», Engineering Educational and Scientific Institute, Zaporizhzhia National University, Sobornyi Av., 226, Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (098) 272 90 77, e-mail DankevichNatali28@gmail.com, ORCID 0000-0002-7146-9303

²Dep. «Industrial and Civil Engineering», Engineering Educational and Scientific Institute, Zaporizhzhia National University, Sobornyi Av., 226, Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (050) 533 30 25, e-mail pytnitsa99@gmail.com, ORCID 0000-0003-1899-8991

Reliability Assessment and Technical Diagnostics of the Bridge Structure across the Verkhnia Khortytsia River in Zaporizhzhia

Purpose. The authors aim to assess the reliability and technical diagnostics of the bridge structure, as well as to develop the methods for eliminating defects and restoring the serviceability of damaged building structures, as most accidents occur due to unsatisfactory technical condition of structures and their significant wear due to expiration of the standard service life. **Methodology.** An important role in the study is played by the formation of knowledge and skills of using a modern engineering approach to the survey of building structures in order to restore their serviceability. Inspections of construction sites are carried out in accordance with the rules set by the relevant regulations. Defects and damages are described in inspection materials with the indication of the possible reasons of their occurrence and forecasting their further influence on reliability and durability of construction. **Findings.** The analysis of scientific research and normative documents reflecting a problem of the operation safety increase of buildings and structures

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

and estimation of a technical condition of structures is carried out in work. Methods of assessment of reliability and technical diagnostics of bridge constructions are applied. The results of the inspection are substantiated and recommendations are developed to ensure the serviceability and increase the service life of damaged structures of the object of study. **Originality.** Based on the design and technological documentation, normative base, scientific research, the model of competent systematization of the construction inspection data is obtained. Attention is paid to the timely major, as well as current medium repairs to improve the technical condition of the bridge elements, and in some cases the entire structure. **Practical value.** Application of the survey methods – visual and instrumental – allowed formulating the conclusions and recommendations aimed at widespread implementation in practice of assessing the reliability and technical condition of structures.

Keywords: bridge structures; emergency condition; technical condition; controlled parameters; operational safety; reliability

REFERENCES

1. Banakh, V. A., Pavlov, I. D., Radkevich, A. V., Arutiunian, I. A., Bichevoy, P. P., Malovanyi, I. V., ... & Afanasiev, V. V. (2017). *Naukovi osnovy rozvytku budivelnjoi ghaluzi Ukrainy: monohrafiya*. Zaporizhzhia: Vydavnytstvo ZSEA. (in Ukrainian)
2. Bodnar, L., Koval, P., & Stepanov, S. (2017). Inspection of bridges and improvement of the criteria of bridges inspections schedules. *Roads and Bridges*, 17, 42-53.
DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2017.17.042> (in Ukrainian)
3. Barashkyov, A. Ja., & Malyshev, O. M. (2008). *Ocinjuvannja tekhnichnogho stanu budivelnjnykh ta inzhenernykh sporud*. Kyiv: Osnova. (in Ukrainian)
4. *Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennja i vyprobuvannja*, 63 DBN V.2.3-6:2009. (2009). (in Ukrainian)
5. *Stalevi konstrukciji. Normy proektuvannja*, 206 DBN V.2.6-198:2014. (2014). (in Ukrainian)
6. *Zakhyst metalevykh konstrukcij vid koroziji. Vymoghy do proektuvannja*, 49 DSTU B V.2.6-193:2013. (2013). (in Ukrainian)
7. *Nastanova z ocinjuvannja i prohnozuvannja tekhnichnogho stanu avtodorozhnykh mostiv*, 55 DSTU-N B V.2.3-23:2012. (2012). (in Ukrainian)
8. *Budivelnja klimatologhija*, 123 DSTU-N B V.1.1-27:2010. (2010). (in Ukrainian)
9. Malyshev, O. M. (2007). *Tekhnichne obstezhennja ta nahliad za bezpechnoiu ekspluatatsiieiu budivel ta inzhenernykh sporud*. Kyiv: Vidlunnja. (in Ukrainian)
10. Ploskyi, V. O., Hetun, H. V., & Vyrotskyi, V. (2018). *Tekhnichna ekspluatatsiia ta rekonstruktsiia budivel*. Kamianets-Podilskyi: Ruta. (in Ukrainian)
11. Pshinko, O. M., Savitsky, M. V., & Zinkevich, A. M. (2018). *Vidnovlennja ekspluatatsiinoi prydatnosti betonnykh, zalizobetonnykh y kam'anykh konstruktsii: navchalnyi posibnyk*. Dnipro: Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. (in Ukrainian)
12. Yakimenko, O. V., & Kiktyova, K. O. (2019). *Tekhnichna ekspluatatsiia budivel ta sporud: navchalnyi posibnyk*. Kharkiv: O. M. Beketov NUUE. (in Ukrainian)
13. Ratay, R. T. (2005). *Ratay Structural Condition Assessment*. New York, United States: John Wiley. (in English)
14. Schmid, K. F. (2014). *Building Inspection Manual: A Guide for Building Professionals for Maintenance, Safety, and Assessment*. New York: Momentum Press. (in English)

Надійшла до редколегії: 31.03.2021

Прийнята до друку: 02.08.2021

УДК 624.05-044.4

А. В. РАДКЕВИЧ¹, М. І. НЕТЕСА², А. М. НЕТЕСА^{3*}¹Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (098) 307 81 44, ел. пошта anatolij.radkevich@gmail.com, ORCID 0000-0001-6325-8517²Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (067) 195 50 27, ел. пошта andreynetes@meta.ua, ORCID 0000-0002-9134-8023^{3*}Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (063) 769 25 51, ел. пошта andreynetes@meta.ua, ORCID 0000-0002-3364-3446**Підвищення ефективності поєднання будівельно-монтажних робіт під час улаштування нульового циклу в умовах ущільненої забудови**

Мета. Розвиток урбанізації в умовах ХХІ сторіччя характеризується зростанням частки багатофункціональних інфраструктурних комплексів серед загального обсягу нового та відновленого будівництва. Значним попитом характеризуються проєкти з розвиненою стилістичною частиною та при розміщенні паркувальних майданчиків в просторі підземних поверхів. Такі рішення дозволяють ефективно використати підземний простір при мінімізації заповнення 1–5 поверхів. Остання вимога є характерною для забудови історичних центрів, де містобудівними обмеженнями регламентується гранична висота будівлі. Дослідження спрямовано на підвищення ефективності виконання робіт за умови їх суміщення під час улаштування нульового циклу багатофункціональних комплексів, які зводять в історичній частині міст, в умовах ущільненої забудови та вкрай обмеженого простору. **Методика.** Автори провели огляд світового досвіду влаштування багатофункціональних комплексів і запровадили передовий досвід прийняття організаційно-технологічних рішень під час розробки проєктно-технологічної документації з улаштування нульового циклу об'єкта «Нове будівництво багатофункціонального комплексу з автопаркінгом за адресою вул. Володимира Вернадського, 25, м. Дніпро». Розглянуто основні будівельні процеси влаштування нульового циклу в складних умовах ущільненої забудови та визначено критичні елементи під час їх проєктування. Удосконалено технологічну послідовність виконання суміжних робіт різними підрядними організаціями з метою створення резерву часу та підвищення надійності всього технологічного процесу. **Результати.** Визначено організаційно-технологічні рішення, що дозволяють виконувати суміщення будівельно-монтажних процесів улаштування нульового циклу багатофункціональних комплексів за значної кількості субпідрядних організацій в умовах ущільненої забудови, а також у складних гідрогеологічних умовах або під час будівництва в просторі історичної забудови центральної частини міст. **Наукова новизна.** Автори вперше провели наукове дослідження в галузі влаштування нульового циклу з огляду на розташування будівельної техніки в умовах обмеженого простору будівельного майданчика в історичній частині м. Дніпро та запропонували ряд рішень, що забезпечили підвищення надійності основного будівельного процесу. **Практична значимість.** На основі отриманих результатів можна корегувати розташування будівельної техніки та визначення раціональної послідовності будівельно-монтажних робіт, а також прогнозувати подальший розвиток технології будівельного виробництва. Ці дослідження можуть бути корисними під час вивчення дисциплін «Технологія будівельного виробництва», «Технологія спеціальних робіт», для організації науково-практичних семінарів, курсів підвищення кваліфікації тощо.

Ключові слова: умови ущільненої забудови; багатофункціональний комплекс; організаційно-технологічні фактори; підземний паркінг; історична частина міста; стилістична; шпунтове огороження

Вступ

Розвиток урбанізації в умовах ХХІ сторіччя характеризується зростанням частки багатофункціональних інфраструктурних комплексів серед загального обсягу нового та відновленого

будівництва [1, 6, 8]. Зокрема, значний попитом мають проєкти з розвиненою стилістичною частиною та розміщенням паркувальних майданчиків у просторі підземних поверхів [10]. Такі рішення дозволяють ефективно використати

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

підземний простір за мінімізації заповнення 1–5-го поверхів [7]. Остання вимога є характерною для забудови історичних центрів, де містобудівними обмеженнями регламентовано граничну висоту будівлі (2–4). На рис. 1 показаний приклад улаштування підземного паркінгу під час реконструкції будівлі: в'їзд до багаторівневого паркінгу виконано безпосередньо з вулиці, а шляхом раціонального використання ефективних архітектурних рішень він практично не виділяється із загального ансамблю будівлі. Таким чином, зовнішнє естетично-психологічне сприйняття окремих будівель та вулиці в цілому не погіршується.

Мета

Враховуючи вищезгадане, автори ставлять за мету проаналізувати організаційно-технологічні рішення, прийняті під час спорудження нульового циклу багатофункціонального комплексу в історичній частині міста, та сформувати принципи поєднання будівельно-монтажних процесів в умовах ущільненої забудови для узгодженості роботи кількох субпідрядних організацій в умовах обмеженого будівельного майданчика та високої механізації із застосуванням габаритної будівельної техніки.



Рис. 1. В'їзд до підземного паркінгу в реконструйованій будівлі готелю, вул. Альянс, 27, м. Будапешт, Угорщина

Fig. 1. Entrance to the underground parking in the renovated hotel building, Alliance St, 27, Budapest, Hungary

Методика

Під час планування робіт в умовах ущільненої забудови, через суттєве обмеження простору будівельного майданчика, необхідно ретельно планувати послідовність виконання будівельно-монтажних робіт [12]. Особливу увагу слід приділяти роботам етапу нульового циклу, оскільки в цей період виникає потреба сумі-

щення дій цілої низки спеціалізованих бригад із високим рівнем механізації, а також суттєво обмежений простір монтажного горизонту [9]. Ускладнення виникає і під час будівництва в складних гідрогеологічних умовах [5], а також у разі близького розташування навколишніх будівель і споруд, коли значно обмежений простір для влаштування котловану та розташування укосів [11].

На етапі планування організаційно-технологічних рішень процесу влаштування нульового циклу передбачена така послідовність виконання робіт. Від перетину осей 4 та Д виконують шпунтове огороження котловану. Для цього проводять локальну розробку ґрунту з формуванням тераси. Далі паралельно з процесом улаштування паль виконують улаштування фундаментної балки для об'єднання роботи паль. Поступово продовжують подальші роботи з формування тераси до позн. 94,600 у межах осей 1–4. Розташування будівельної техніки та організацію будівельного майданчика показано на рис. 2.

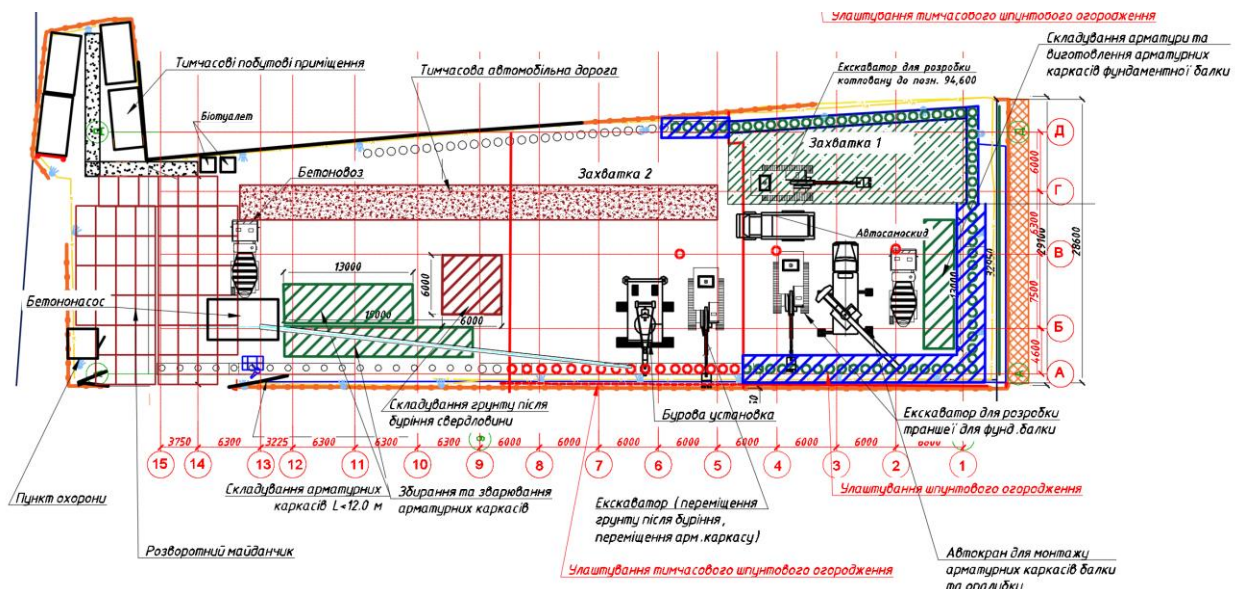


Fig. 2. Organization of the construction site at the stage of installation of sheet pile wall of the pit within the axes 1–9. Author's drawing

створює значні ускладнення роботи будівельної техніки.

Під час подальших робіт забезпечено пере-
сування процесу влаштування шпунтового ого-
родження до осей 5–15 з метою звільнення
майданчика в межах осей 1–5 та початку влаш-
тування там розподільної системи для май-
бутнього влаштування розпорок (рис. 3) та без-
посереднього монтажу розпірних конструкцій
(рис. 4).

[illegible]

Fig. 3. Beginning of the cross-tie system arrangement. Hanging anchors.
Author's drawing

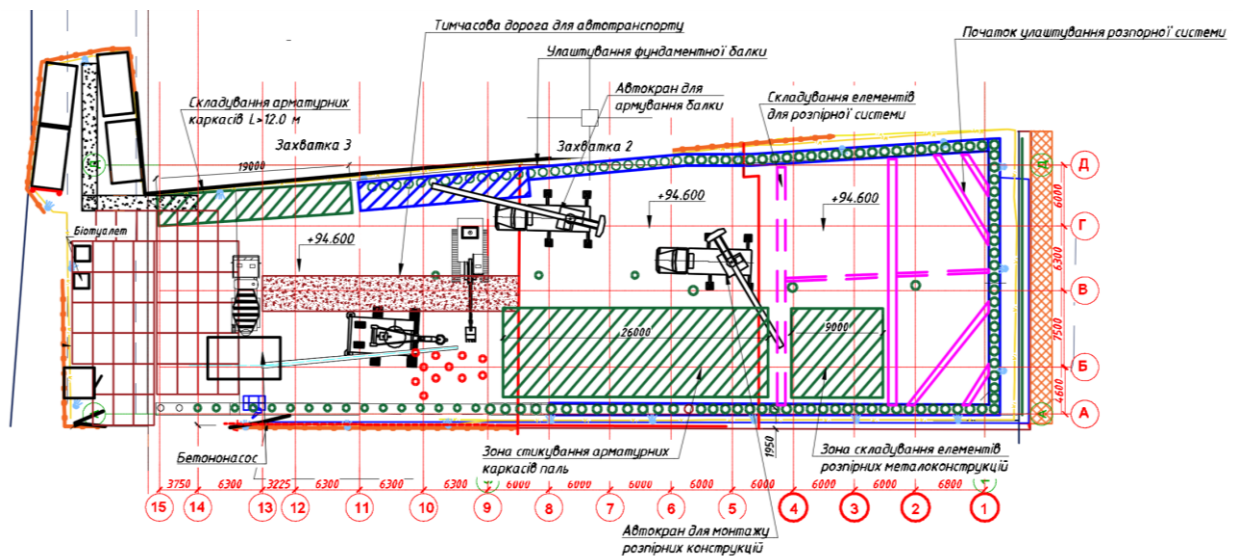


Fig. 4. Cross-bar arrangement in axes 1-4.
Author's drawing

верх фундаменту та верх основної плити. Проте через складність доставки на будівельний майданчик габаритної бурової установки масою близько 100 т і неможливість її спуску в котлован підкранові палі виконано з поверхні, з по-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

дальшим зрубуванням до проектної позначки після розробки котловану.

Після завершення шпунтового огородження та набуття бетоном міцності, а також завершення влаштування розпірної системи передбачено розробку котловану з улаштуванням

в'їзду по вісі Г в межах осей 9–12. При цьому для забезпечення фронту робіт з улаштування кранового фундаменту спочатку передбачена розробка ґрунту в просторі між осями 8–11 та А–В, потім подальше розвинення в напрямі осей 1–4 (рис. 5).

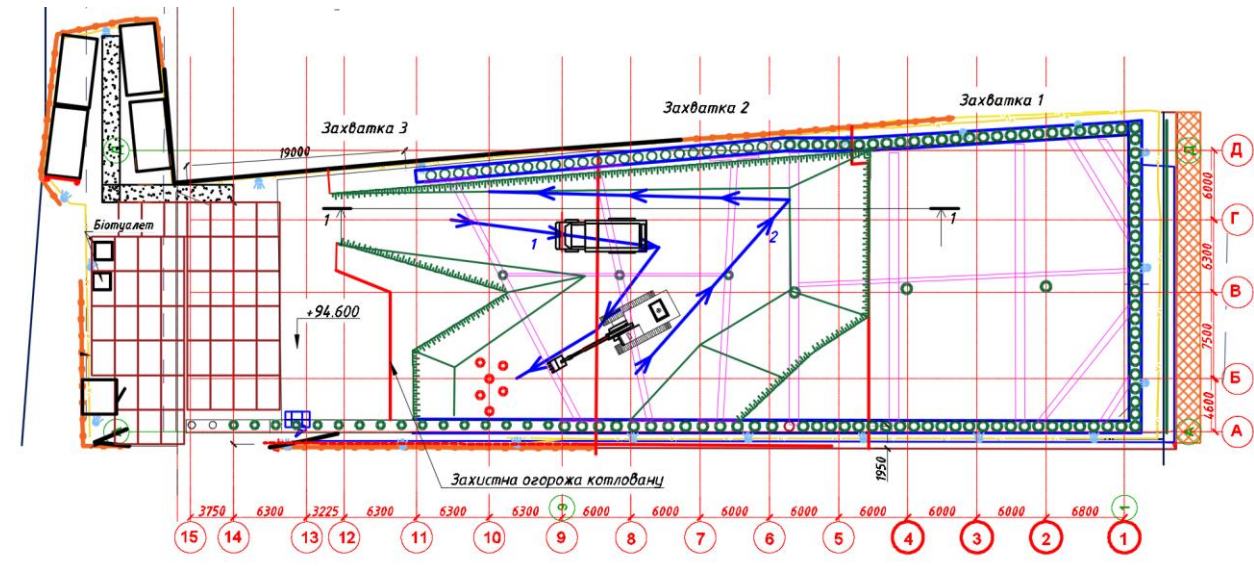


Рис. 5. Розробка котловану з боку осі 12, улаштування в'їзду в котлован.
Авторське креслення

Fig. 5. Development of the pit from the axis 12, arrangement of the entrance to the pit.
Author's drawing

Під час проектування в'їзду особливу увагу приділено технічним характеристикам машин, задіяних у розробці котловану – екскаватора (на вимогу субпідрядника, мінімальна висота від рівня дна котловану до найближчої розпірної конструкції мала складати 5,0 м) та автосамос-

кида MAN TGS 41.400 8X4 (габаритна висота 3,6 м; максимальний ухил в'їзду заповненого автосамоскида 25°). Розріз по в'їзду в котлован із зазначенням критичних розмірів указаний на рис. 6.

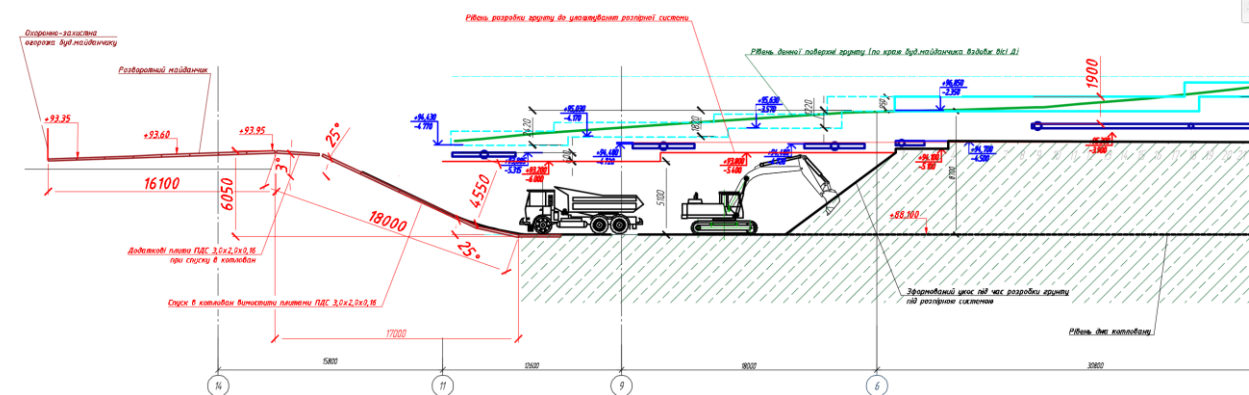


Рис. 6. В'їзд у котлован. Основні обмежувальні розміри. Розріз. Авторське креслення

Fig. 6. Entrance to the pit. The main limiting dimensions. Cut. Author's drawing

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Унаслідок обмеження під'їздів до будівельного майданчика, а також недопущення перекривання вул. Вернадського, на етапі укладання бетонної суміші для фундаментної плити прийнято рішення виконувати бетонування одночасно двома бетононасосами. Перший бетононасос установлюють на поверхні котловану поблизу осі 12 за межами можливого обрушення ґрунту, він приймає бетонну суміш із бетоновозів та подає її до бетононасоса № 2. Бетонона-

сос № 2, стоячи в котловані, виконує безпосередню подачу бетонної суміші до місця укладання, розташовуючи стрілу над розпірними конструкціями та рухаючись поступово в напрямку від осі 1 до осі 9. Схема розташування будівельної техніки на цьому етапі виконання робіт показана на рис. 7. Безпосередня подача бетонної суміші в приймальний бункер бетононасоса № 2 бетононасосом № 1 показана на рис. 8.

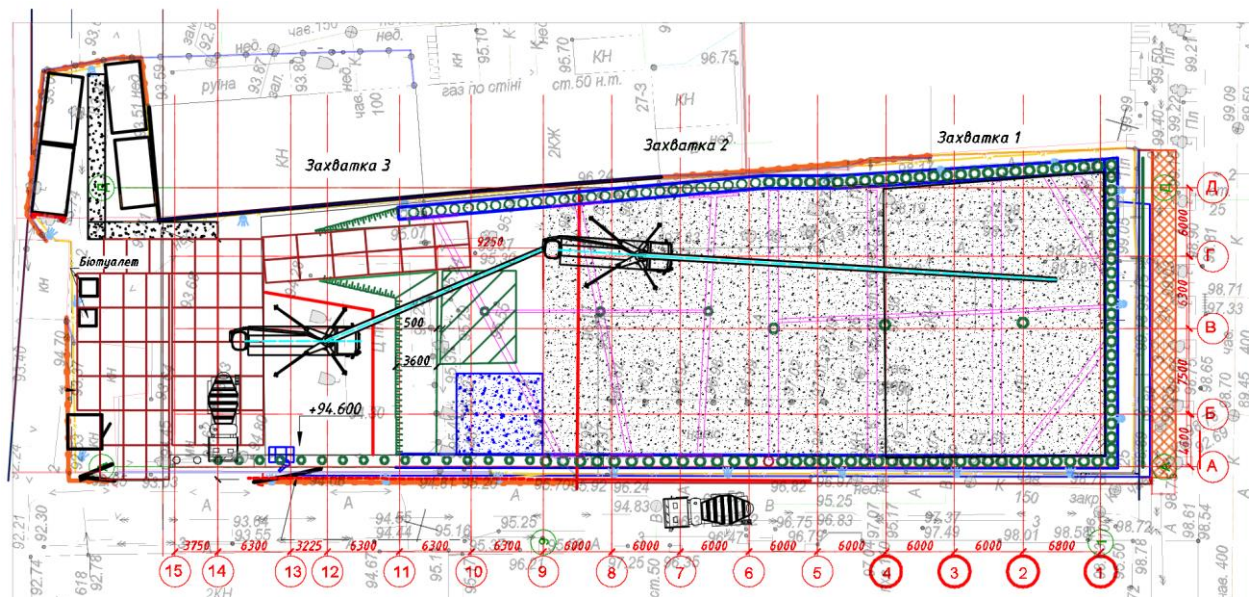


Рис. 7. Розташування будівельної техніки на етапі бетонування фундаментної плити.
Авторське креслення

Fig. 7. Location of construction equipment at the stage of concreting the ground slab.
Author's drawing

За рахунок використання ефективних бетононасосів Daewoo (робочий радіус – до 48 м, діаметр бетоноводу – 120 мм, продуктивність подачі бетонної суміші – до 120 м³/год) була забезпечено безперервну подачу раціонально спроектованої бетонної суміші (рухливість – П5, клас за міцністю – С16/20). При цьому необхідність одночасного використання двох бетононасосів та відповідні витрати коштів на оренду спецтехніки компенсовано ефективним вивантаженням бетоновозів без затримки на місці розвантаження внаслідок наявності роз-

воротного майданчика та 12-метрових воріт на в'їзді до будівельного майданчика.

За рахунок ефективного планування послідовності виконання робіт вдалося раціонально поєднати виробничі процеси спеціалізованих підрядних організацій на етапі влаштування нульового циклу. Унаслідок постійного використання спланованого фронту робіт в умовах обмеженості будівельного майданчика забезпечено високу надійність виробничого процесу з можливістю застосування резервів часу для ефективного виконання робіт.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО



Рис. 8. Подача бетонної суміші бетононасосом № 1 до приймального бункера бетононасоса № 2 в умовах обмеженості будівельного майданчика.
Фото автора на будівельному майданчику

Fig. 8. Supply of concrete mix by concrete pump no. 1 to the receiver hopper of concrete pump no. 2 under the conditions of limited construction site.
Photo by the author on a construction site

Наукова новизна та практична значимість

У цій роботі на основі аналізу попередніх досліджень і застосування передового досвіду в проєктуванні раціональних технологічних процесів в умовах будівельного майданчика виконано дослідження в галузі організації будівельного виробництва. Доведено, що найбільш перспективними для подальших досліджень є організаційно-технологічні рішення з раціонального поєднання спеціалізованих підрядних організацій для забезпечення їх ефективної сумісної роботи в умовах ущільненої забудови.

нального поєднання спеціалізованих підрядних організацій для забезпечення їх ефективної сумісної роботи в умовах ущільненої забудови.

Висновки

Аналіз отриманих рішень щодо забезпечення надійного функціонування будівельного майданчика в умовах обмеженості простору внаслідок ущільненої навколишньої забудови дав змогу зробити такі висновки:

1. Стан розвитку сучасної будівельної техніки та наявних організаційно-технологічних параметрів для процесів улаштування спеціальних робіт на території України дозволяє виконувати складні проєктні рішення зі зведення нових багатофункціональних інфраструктурних комплексів, у тому числі в складних гідрогеологічних умовах, а також в історичній частині міст.

2. Урбанізація та розвиток автотранспорту призводять до підвищення потреби в наявних місцях паркування, зокрема в просторі підземних поверхів нових та реконструйованих будівель.

3. Раціональне проєктування будівельних процесів з огляду на можливість їх суміщення та підвищення надійності внаслідок створення резервів часу дозволяє підвищити ефективність улаштування нульового циклу багатопверхових будівель і споруд і, як наслідок, забезпечити надійне виконання робіт. Проте необхідно вдосконалювати теоретичні та практичні засоби проєктування, оцінки й аналізу відповідних рішень для створення комплексної методики всебічного оцінювання можливих рішень та вибору найбільш раціональної послідовності виконання робіт. В умовах ринкової економіки й необхідності створення надійної системи функціонування підрядних організацій під час втілення особливо складних проєктів багатфункціональних інфраструктурних комплексів відповідні заходи призводять до підвищення інвестиційної сприятливості проєктних рішень, і загального інвестиційного клімату регіонів та України в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вяткін К. І. Етапи розвитку містобудівних систем: ретроспективний аналіз та тенденції. *Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування*. 2021. № 59. С. 189–202.
DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.59.189-202>
2. ДБН Б.2.2-12:2019 *Планування та забудова територій*. [Чинний від 2019-01-10]. Київ, 2019. 185 с.
3. ДБН В.1.2-12-2008 *Система надійності та безпеки в будівництві. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки*. [Чинний від 2009-01-01]. Київ, 2008. 34 с.
4. ДБН В.2.2-41:2019 *Висотні будівлі. Основні положення*. [Чинний від 2020-01-01]. Київ, 2008. 59 с.
5. Заяць Є. І., Млодецький В. Р., Ткач Т. В., Нетеса А. М. Застосування криволінійної підпірної стіни при будівництві багатоповерхових будівель. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2020. Вип. 43. С. 115–123.
6. Лойко В. В., Жукова Ю. М., Сундук А. М., Швець П. А. Глобальні урбаністичні тенденції розвитку міст як окремих соціально-економічних систем. *Економіка та держава*. 2021. № 9. С. 10–18.
DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.9.10>
7. Пшінько О. М., Радкевич А. В., Нетеса М. І., Косячевська С. М. Особливості зведення багатоповерхових будівель громадсько-житлового призначення з підземними поверхами та розвиненою стилобатною частиною в умовах ущільненої забудови. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2020. Вип. 43. С. 104–114.
8. Соколан Ю., Кучеренко Л. Аналіз досвіду планування системи благоустрою житлових територій при реконструкції. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2021. № 2. С. 17–25.
DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2021-295-2-17-25>
9. Трофимович Н. В. Пропозиції щодо проектування та будівництва житлових будинків у складних інженерногеологічних умовах у міській забудові. *Наука, техніка і технології: глобальні та сучасні тенденції*. 2021. С. 197–202. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-046-9-48>
10. Тютюкін О. Л., Ігнатенко Д. Ю. Визначення раціональних параметрів підпірних конструкцій із ґрунтоцементних паль на зсувонебезпечних схилах. *Наука та прогрес транспорту*. 2021. № 6 (90). С. 97–105.
DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/225281>
11. Ihnatenko D. Y., Petrenko V. D., Tiutkin O. L. Interaction of soil-cement pile supporting structures with the body of a landslide. *Science and Transport Progress*. 2017. № 5 (71). P. 115–123.
DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/113619>
12. Pshynko O., Radkevych A., Netesa M., Netesa A. (2020). Problems of Development of an Underground Transport Infrastructure of Cities. *Transport Problems*. 2020. Vol. 15. Iss. 1. P. 81–91.
DOI: <https://doi.org/10.21307/tp-2020-008>

A. V. RADKEVYCH¹, M. I. NETESA², A. M. NETESA^{3*}

¹Dep. «Construction Production and Geodesy», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (098) 307 81 44, e-mail anatolij.radkevich@gmail.com, ORCID 0000 -0001-6325-8517

²Dep. «Construction Production and Geodesy», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 195 50 27, e-mail andreynetesa@meta.ua, ORCID 0000-0002-9134-8023

^{3*}Dep. «Construction Production and Geodesy», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (063) 769 25 51, e-mail andreynetesa@meta.ua, ORCID 0000-0002-3364-3446

Improving the Efficiency of Combination of Construction and Installation Works During the Underground Phase Under Conditions of Compacted Construction

Purpose. The urbanization development in the twenty-first century is characterized by increasing the share of multifunctional infrastructure complexes among the total volume of new and renovated construction. Projects with a developed stylobate part are characterized by significant demand, as well as placing parking lots in the space of

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

underground floors. Such solutions make it possible to effectively use the underground space while minimizing the filling of 1–5 floors. The latter requirement is typical for the construction of historic centers, where urban restrictions regulate the maximum height of the building. The research is aimed at increasing the efficiency of works provided they are combined during the arrangement of underground phase of multifunctional complexes, which are built in the historic part of cities, in a densely built-up area and extremely limited space. **Methodology.** The authors reviewed the world experience in the installation of multifunctional complexes and introduced best practices in organizational and technological solutions during the development of design and technological documentation for the arrangement of underground phase of the object «New construction of a multifunctional complex with parking at 25 Volodymyra Vernadskoho Street, Dnipro.» The main construction processes of the underground phase arrangement in difficult conditions of compacted construction are considered and the critical elements during their design are determined. The technological sequence of performing related works by various contractors has been improved in order to create a time reserve and increase the reliability of the entire technological process. **Findings.** Organizational and technological solutions have been identified that allow combining construction and installation processes of underground phase of multifunctional complexes with a significant number of subcontractors under conditions of compacted construction, as well as under complex hydrogeological conditions or during construction in the historic buildings of the central part of cities. **Originality.** The authors for the first time conducted research in the field of underground phase arrangement given the location of construction equipment in the limited space of the construction site in the historic part of Dnipro and proposed a number of solutions to increase the reliability of the main construction process. **Practical value.** Based on the results obtained, one can correct the location of construction equipment and determine the rational sequence of construction and installation works, as well as predict the further development of construction technology. These studies can be useful during the study of disciplines «Technology of Construction Production», «Technology of special works», for the organization of scientific and practical seminars, refresher courses and more.

Keywords: conditions of compacted buildings; multifunctional complex; organizational and technological factors; underground parking; historical part of the city; stylobate; sheet pile wall

REFERENCES

1. Viatkin, K. (2021). Stages development of urban construction systems: retrospective analysis and trends. *Current Problems of Architecture and Urban Planning*, 5, 189-202. (in Ukrainian)
2. *Planuvannya ta zabudova terytoriy*, 185 DBN B.2.2-12:2019. (2019). (in Ukrainian)
3. *Systema nadiynosti ta bezpeky v budivnytstvi. Budivnytstvo v umovakh ushchil'nenoyi zabudovy. Vymohy bezpeky*, 34 DBN V.1.2-12-2008. (2008). (in Ukrainian)
4. *Vysotni budivli. Osnovni polozhennya*, 59 DBN V.2.2-41:2019. (2008). (in Ukrainian)
5. Zaiats, Y. I., Mlodetskiy, V. R., Tkach, T. V., & Netesa, A. M. (2020). Application of a curved retaining wall in the construction of multi-storey buildings. *Ways to Improve Construction Efficiency*, 43, 115-123. (in Ukrainian)
6. Loiko, V., Zhukova, Y., Sunduk, A., & Shvets, P. (2021). Global urban tendencies of city development as individual socio-economic systems. *Ekonomika Ta Derzhava*, 9, 10-18. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.9.10> (in Ukrainian)
7. Pshynko, A. M., Radkevych, A. V., Netesa, M. I., & Kosiachevska, S. M. (2020). Features of erection of multi-story public-residential buildings with underground floors and developed stylobate part in conditions of compacted construction. *Ways to Improve Construction Efficiency*, 43, 104-114. (in Ukrainian)
8. Sokolan, I., & Kucherenko, L. (2021). Analysis of planning experience of inhabited localities urban beautification in view of reconstruction. *Herald of Khmelnytskyi National University*, 2, 17-25. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2021-295-2-17-25> (in Ukrainian)
9. Trofymovych, N. V. (2021). Propozytsiyi shchodo proektuvannya ta budivnytstva zhytlovykh budynkiv u skladnykh inzhenernoheolohichnykh umovakh u mis'kiy zabudovi. *Science, engineering and technology: global trends, problems and solutions*, 197-202. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-046-9-48> (in Ukrainian)
10. Tyutkin, O. L., & Ignatenko, D.Yu. (2021). Visualization of rational parameters of supporting structures from runtoement cement piles on landslide slopes. *Science and Transport Progress*, 6(90), 97-105. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/225281> (in Ukrainian)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

11. Ignatenko, D. Y., Petrenko, V. D., & Tyutkin, O. L. (2017). Interaction of soil-cement pile supporting structures with the body of a landslide. *Science and Transport Progress*, 5(71), 115-123.
DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/113619> (in Ukrainian)
12. Pshynko, O., Radkevych, A., Netesa, M., & Netesa, A. (2020). Problems of development of an underground transport infrastructure of cities. *Transport Problems*, 15(1), 81-92.
DOI: <https://doi.org/10.21307/tp-2020-008> (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії: 31.03.2021

Прийнята до друку: 02.08.2021

УДК 69:658.567

А. А. ШУВАСЬ^{1*}

^{1*}Каф. «Промислове та цивільне будівництво», Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (096) 180 45 99, ел. пошта shywazp@gmail.com, ORCID 0000-0002-4919-485X

Організаційно-функціональна структура системи інформаційно-аналітичного управління потоками відходів будівництва

Мета. За основну мету роботи поставлено визначення та обґрунтування принципів, функціональних вимог і завдань реалізації інформаційно-аналітичної підтримки управління потоками відходів будівництва та зносу як вторинних ресурсів; розроблення організаційно-функціональної структури системи інформаційно-аналітичного управління, яка б задовольняла умовам упровадження логістичного підходу в межах комплексного управління потоками відходів будівництва і стала основою створення єдиної інформаційної платформи. **Методика.** Як методологічну основу дослідження процесу управління потоками вторинних ресурсів і реверсивних потоків у будівельній галузі застосовано логістичний підхід, що передбачає аналіз факторів впливу на систему та дослідження її динамічної поведінки як складної адаптивної системи. Системний підхід у розробці інформаційно-аналітичних систем управління передбачає розв'язання таких задач: розробку функціональної моделі системи управління потоками відходів будівництва та зносу; побудову матриць взаємодії автоматизованих процесів і процесів маршрутизації даних; моделювання логічної архітектури сховища даних; розробку комплексу програмних і технічних засобів. **Результати.** Обґрунтовано основні завдання розроблення інформаційної підтримки логістичної системи управління потоками відходів будівництва та зносу. Запропоновано інтеграцію в систему таких функціональних блоків: формування бази даних; блок оцінки сукупних економічних витрат на процес; блок оцінки екологічних збитків; оцінки інформаційних ризиків; оцінки альтернативних способів управління потоками відходів; блок формування оптимального маршруту; блок візуалізації. На підставі узагальнення вимог і можливостей проаналізованих за функціональністю інформаційно-аналітичних систем та вимог, які б забезпечували ефективність управління потоками відходів будівництва, запропоновано організаційно-функціональну структуру системи інформаційно-аналітичного управління. **Наукова новизна.** У роботі аргументовано включення до переліку функціональних блоків організаційно-функціональної структури системи інформаційно-аналітичного управління, яка має стати основою створення інформаційної платформи управління потоками відходів будівництва та зносу, оцінки екологічних ризиків та оцінки інформаційних ризиків. **Практична значимість.** Реалізація в межах інформаційно-аналітичного управління оцінки екологічних збитків (як складової оцінки ефективності управління потоками відходів будівництва) та оцінки інформаційних ризиків (як інструменту логістичного підходу) забезпечить можливість прогнозування ключових показників системи, прийняття оптимальних рішень, спрямованих на максимальне включення до системи потоків відходів будівництва як потенційної вторинної сировини, достатній рівень економічної та екологічної ефективності з оптимальним рівнем логістичних витрат.

Ключові слова: логістичний підхід; організаційно-функціональна структура; система комплексного управління потоками відходів будівництва та зносу (СКУПВ); інформаційно-аналітична підтримка; функціональні блоки інформаційної системи; інформаційна платформа

Вступ

Проблема управління відходами будівельної галузі набуває актуальності як у контексті наукових досліджень, спрямованих на створення ефективної та науково-обґрунтованої концепції управління (з урахуванням економічних, екологічних, соціальних, технологічних факторів впливу), так і запровадження практичного ін-

струментарію, у тому числі зарубіжного досвіду управління потоками відходів будівництва.

Вважаємо обґрунтованим, що систему управління переробкою будівельних відходів потрібно розглядати як систему комплексного управління потоками відходів будівництва (СКУПВ) [3], що охоплює комплекс взаємопов'язаних заходів, процедур та задач організаційно-технічного, технологічного та економічного характеру, які здатні забезпечити збір, со-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

ртування, транспортування, переробку будівельних відходів та отримання вторинної сировини (матеріалів) із заданими техніко-економічними показниками, а також максимально залучити будівельні відходи до повторного господарського циклу [4]. Окремо в межах СКУПВ необхідно розглядати систему логістики потоків відходів будівництва, що безпосередньо впливає на ефективність функціонування першої (оптимізація розподілу, вартість транспортування, інтеграція інформаційних потоків та ін.) і здатна забезпечити перерозподіл відходів будівництва з одночасною максимізацією їх залучення до СКУПВ.

Сьогодні в більшості країн світу відбувається активне формування логістичної системи вторинних ресурсів, яка дозволяє залучати максимальні обсяги відходів виробництва, у тому числі будівництва, до вторинної переробки; забезпечувати цілеспрямовану діяльність служб замовника, будівельних, проєктних, транспортних, постачальницьких та переробних підприємств за рахунок узгодженості дій, збалансованості трудових та матеріально-технічних ресурсів.

Актуальність дослідження логістичної системи потоків відходів будівництва (вторинних ресурсів) пов'язана з її динамічністю, складністю механізму формування та розвитку, постійним виникнення нових факторів (економічні проблеми галузі, зростання вартості ресурсів, обмеженість ресурсів, зростання екологічного навантаження, соціальні зміни та ін.), що мають істотний та неоднозначний вплив [5–10].

Згідно з дослідженнями [1, 2, 6], присвяченими логістиці в управлінні потоками відходів, використання сучасних інформаційних технологій та відповідних програмних рішень є запорукою ефективного та оптимального застосування наявних ресурсів для транспортування, розподілу потоків відходів будівництва, зниження рівня впливу на навколишнє середовище. Відповідно, логістика відходів, або екологістика, акумулює процеси планування, організації, управління, контролю, регулювання процесів збору і транспортування відходів за умови мінімізації витрат та негативного впливу на екологію [8–10].

Актуальним завданням у цій сфері є формування адаптивної системи організаційного уп-

равління потоками відходів будівництва, що передбачає також забезпечення адекватної інформаційно-аналітичної підтримки процесів управління логістикою відходів будівництва та зносу [1, 2, 7].

Інформаційно-аналітична підтримка (як основа логістичної системи в складі СКУПВ) повинна забезпечити базу для інтеграції різнопланової інформації щодо всіх аспектів діяльності з управління потоками відходів будівництва та зносу, розвитку можливостей обміну даними та впорядкування інформаційних потоків між усіма стейкхолдерами системи на всіх етапах – від збору і транспортування до переробки та утилізації.

Мета

Основною метою дослідження є визначення та обґрунтування принципів, функціональних вимог і завдань реалізації інформаційно-аналітичної підтримки управління потоками відходів будівництва як потенційних вторинних ресурсів; розроблення організаційно-функціональної структури системи інформаційно-аналітичного управління, яка б задовольняла умовам впровадження логістичного підходу в комплексне управління потоками відходів будівництва та зносу і стала основою створення єдиної інформаційної платформи.

Також передбачено обґрунтування необхідності впровадження єдиної цифрової платформи комплексного управління потоками відходів будівництва, яка дозволить в онлайн-режимі контролювати рух відходів будівництва від продуцентів (місця утворення) до місця їх переробки (утилізації); здійснювати облік; виявляти порушення; будувати оптимальну логістику; прогнозувати та моделювати управлінські процеси в межах системи та визначати оптимальне розміщення інфраструктури.

Методика

Застосування логістичного підходу як методологічної основи дослідження процесу управління потоками вторинних ресурсів і реверсивних потоків у будівельній галузі базується на аналізі факторів впливу на систему, дослідженні її динамічної поведінки як складної адаптивної системи [6]. Особливість логістич-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

ного підходу як системного в дослідженні процесів управління потоками відходів будівництва та зносу полягає в тому, що кожний стан досліджуваної системи та їх сукупність розглядають у взаємозв'язку, наступності та розвитку в процесі переходу до якісно нового стану. При цьому складні об'єкти системи потрібно розглядати як ієрархічно побудовані відкриті системи, а в процесі прийняття обґрунтованого рішення враховувати його вплив на суміжні елементи та зв'язки. Інструментами застосування логістичного підходу в цьому дослідженні є аналіз і синтез системи управління потоками відходів будівництва.

Відповідно, із точки зору систематики управління будівельними відходами слід розглядати як складну адаптивну систему, тобто сукупність окремих агентів, що можуть діяти непередбачувано [1, 6, 9], тому розуміння окремих складових системи не дає автоматичного розуміння її поведінки в цілому [6].

Системний підхід у розробці інформаційно-аналітичних систем управління передбачає розв'язання таких задач: розробку функціональної моделі системи управління потоками відходів будівництва та зносу; побудову матриць взаємодії автоматизованих процесів та процесів маршрутизації даних; моделювання логічної архітектури сховища даних; розробку комплексу програмних і технічних засобів.

Результати

Активний розвиток концепції інтегрованої (комплексної) системи управління відходами будівництва пов'язаний з технологічно обґрунтованим зростанням потенціалу використання вторинних ресурсів (відходів будівництва та зносу) [8]. Згідно з цією концепцією, у першу чергу необхідно скорочувати кількість відходів (джерел відходів), тобто зменшити потенційно небезпечні відходи до того, як вони стануть потоками відходів, а потім уже здійснювати доцільну та раціональну переробку відходів (тобто повернути відходи до виробничого ланцюга). У більшості західних країнах, цю концепцію застосовують як 3R-концепцію (reduce, reuse, recycle), що безпосередньо пов'язано з реалізацією задач підвищення ефективності інвестиційних проєктів у сфері будівництва. Ефективність реалізації 3R-концепції у сфері

управління потоками відходів будівництва та зносу можна значно підвищити за рахунок застосування логістичних методів управління [5, 9].

Інтеграція інфраструктур з управління потоками відходів будівництва та зносу в регіональні (міжрегіональні) логістичні центри здатна забезпечити такі переваги:

- максимальне залучення обсягів відходів будівництва як потенційної вторинної сировини до централізованого управління;
- полегшення процесу контролю за екологічними нормами переробки та утилізації відходів будівництва та зносу;
- підвищення ефективності переробки відходів та їх залучення в повторний господарський обіг (за рахунок оптимізації логістичних витрат, зниження собівартості переробки);
- оптимізація транспортних потоків, перевезення, у тому числі великогабаритних відходів;
- активізація розвитку переробної галузі, створення додаткової вартості, робочих місць та збільшення податкових надходжень;
- зниження навантаження на екосистему шляхом вибору найбільш екологічних організаційно-технологічних рішень.

Основними завданнями інформаційної підтримки логістичної системи управління потоками відходів будівництва та зносу є:

1) інформаційний супровід процесів збору та транспортування відходів будівництва і зносу (на підставі акумулювання статистичних даних щодо обсягів утворення відходів за видами, отриманих від продуцентів відходів; даних щодо виробничих потужностей і технологічних можливостей підприємств – від переробників відходів будівництва; даних щодо можливостей транспортування – від транспортних компаній; даних щодо наявних обмежень на утилізацію, захоронення та переробку відходів будівництва за класами небезпеки – від регулювальних органів влади);

2) диспетчеризація управління процесом транспортування (контроль і моніторинг);

3) автоматизація формування маршрутів (геоінформаційні системи) та планування графіків і розкладів транспортування;

4) розрахунок фінансових витрат, з урахуванням забезпечення принципів ефективності управління потоками відходів для кожного ок-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

ремого стейкхолдера системи та системи в цілому (на підставі обмежень, критеріїв прийняття рішень);

5) забезпечення динамічного розвитку системи у випадку настання ситуації невизначеності (інформаційних ризиків), що передбачає коригування управлінських рішень, із метою досягнення цільових показників ефективності;

6) оцінка екологічного збитку, у тому числі його розміру, якого можна запобігти за умови оптимізації та ефективного управління потоками відходів будівництва та зносу (із метою його врахування як складової оцінки ефективності СКУПВ).

Виходячи з цього, функціональними можливостями, які повинна забезпечувати інформаційна система логістичного управління потоками відходів будівництва та зносу, є:

- планування ресурсів для реалізації логістичного підходу;
- розрахунок економічних витрат (вартість збору та транспортування);
- формування статистики даних;

– оцінка екологічних збитків (у тому числі відвернених екологічних збитків у разі оптимального логістичного рішення);

– коригування планів на підставі оцінки інформаційних ризиків;

– формування звітності;

– планування оптимальних маршрутів;

– врахування дорожньої обстановки – моніторинг руху автотранспорту в реальному часі.

Серед можливих для застосування інформаційних систем, які б задовольняли поставленим перед логістичною системою управління потоками відходів завданням, слід виділити: ANTOR Logistics Master – програмний комплекс для транспортної логістики [11]; Top Logistic – програмна система планування та управління перевезенням вантажів [6]; Magenta Systems – мультиагентні системи для моделювання і планування логістики, які забезпечують бізнес-процеси [8]; системи підтримки прийнятих рішень (СППР) для управління транспортною системою міста та система контролю мобільних об'єктів (СКМО) [9] (табл. 1).

Таблиця 1

Функціональні можливості інформаційних систем у сфері логістичного управління [6]

Table 1

Functional capabilities of information systems in the field of logistics management [6]

Функціональні можливості	Програмні рішення				
	ANTOR Logistics Master	Top Logistic	Magenta Systems	СППР	СКМО
Планування ресурсів для реалізації логістичного підходу	так	так	так	так	ні
Розрахунок економічних витрат (вартість збору та транспортування)	ні	так	так	так	ні
Формування статистики даних	так	ні	так	так	так
Оцінка екологічних збитків	ні	ні	ні	ні	ні
Коригування планів з урахуванням інформаційних ризиків	ні	ні	ні	ні	ні
Формування звітності	так	так	так	так	так
Планування оптимальних маршрутів	так	так	так	так	так
Урахування дорожньої обстановки	так	так	ні	так	так
Моніторинг руху автотранспорту в реальному часі	так	так	так	ні	так

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Із табл. 1 видно, що ANTOR Logistics Master, Top Logistic та Magenta Systems мають функціональні можливості, які здебільшого задовольняють вимогам логістичної системи управління потоками відходів будівництва та зносу, крім того, їх успішно застосовують в управлінні побутовими відходами в межах міст [5].

Але жодна з інформаційних систем не забезпечена функцією оцінки екологічних збитків (відвернених екологічних збитків). Прикладом вирішення цієї проблеми є розроблена програмна система управління логістикою побутових відходів АИС УЛО [6], яка здійснює розрахунок збитків, завданих зовнішньому середовищу в процесі транспортування відходів. Але в межах СКУПВ цього недостатньо для вибору оптимального варіанта спрямування потоків відходів будівництва, з урахуванням мінімальної шкоди для екології (не лише в процесі транспортування, а і в процесі збору, утилізації і переробки відходів). Тобто інформаційна система на підставі бази даних повинна визначити найбільш ефективний та екологічно безпечний спосіб спрямування потоків відходів будівництва, що дозволяє здійснювати найбільш оптимальний вибір із можливих альтернатив.

Важливість цієї функціональної можливості пояснюється включенням розміру екологічних збитків (за різними альтернативами спрямування потоків будівництва та зносу) до сукупного показника ефективності СКУПВ [4], що дає можливість обирати варіант спрямування потоків відходів будівництва з найбільшим екологічним та економічним ефектом.

Крім того, у жодній із розглянутих інформаційних систем не передбачено оцінки інформаційних ризиків та, відповідно, автоматичного коригування планів на підставі її результатів.

Процес управління потоками відходів неминує буде здійснюватись в умовах невизначеності, що пов'язано з виникненням інформаційних ризиків, наслідками яких, у свою чергу, є збитки, що передбачають зниження ефективності.

Тому проблему невизначеності слід вирішувати шляхом планування та прогнозування обсягів ресурсів, необхідних для управління потоками відходів будівництва, обсягів відходів будівництва, динаміки випуску продукції із

вторинної сировини та рівня логістичного інформаційного ризику.

Інформаційні ризики пов'язані з потоками інформації, що спрямовується від продуцентів відходів будівництва (обсяги та види відходів будівництва і зносу), переробників (технічні можливості і технологічні потужності) до єдиної інформаційної платформи та у зворотному напрямі – інформація щодо оптимізації логістичних витрат, розподілу матеріальних потоків, прогнозні обсяги ресурсів.

Адаптація наявних, або створення нової інформаційно-аналітичної системи має передбачати інтеграцію в систему функціональних блоків, здатних забезпечити процес управління логістикою потоків відходів будівництва та зносу (рис. 1):

- формування бази даних (координати продуцентів відходів, обсяги та види відходів будівництва, координати переробників та місць утилізації, види технологій, за якими можна здійснювати переробку, виробничі потужності переробників та обмеження, інформація перевізників);

- блок оцінки сукупних економічних витрат на процес від збору, сортування до переробки та утилізації відходів будівництва;

- блок оцінки екологічних збитків (вплив на екологію в разі захоронення відходів на звалищах, у процесі переробки відходів будівництва за видами й технологіями, у процесі транспортування);

- оцінки інформаційних ризиків (оцінка непередбачуваних витрат (ризиків), пов'язаних із невідповідністю вхідних даних і ситуацій невизначеності системи; оцінка логістичних витрат (витрати, пов'язані з транспортуванням відходів від продуцента до переробника, місця утилізації, оптимізацією маршрутизації потоків відходів);

- оцінки альтернативних способів управління потоками відходів будівництва та зносу (кожен варіант можливого спрямування потоку відходів будівництва (місце спрямування, спосіб транспортування, спосіб переробки) потрібно оцінювати за критеріями оптимальних витрат, ефективності та розміру нанесення збитків навколишньому середовищу);

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

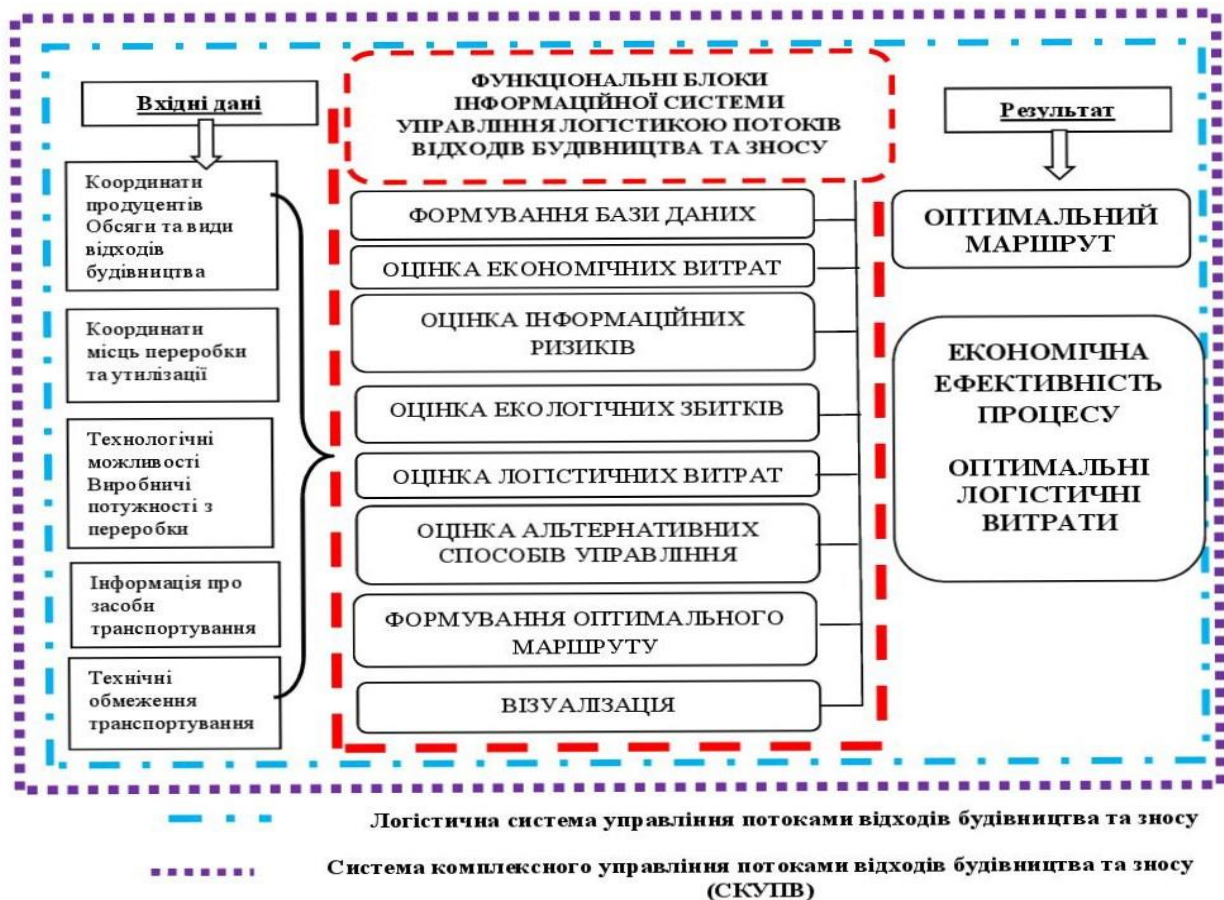


Рис. 1. Функціональні блоки інформаційної системи управління логістикою потоків відходів будівництва та зносу

Fig. 1. Functional blocks of the information system of logistics management of construction and wracking waste streams

– блок формування оптимального маршруту (передбачає врахування як транспортних витрат, так і габаритів, ступеня безпеки відходів будівництва, геолокацій продуцентів та переробників, маршрутних обмежень);

– блок візуалізації (передбачає обов'язкове застосування ГІС-технологій – обробка та використання просторової інформації) [13].

Узагальнивши вимоги й можливості проаналізованих за функціональністю інформаційно-аналітичних систем та вимоги, які б забезпечували ефективність СКУПВ [4, 7, 10, 14], пропонуємо організаційно-функціональну структуру системи інформаційно-аналітичного управління потоками відходів будівництва (рис. 2).

Слід зауважити, що в запропонованій організаційно-функціональній структурі інформаційно-аналітичної системи управління потоками відходів будівництва геоінформаційні технології виступають не лише як інструмент візуалізації, але і як комплексне інформаційно-аналітичне забезпечення процесів управління потоками відходів, бо забезпечують ефективні засоби для розв'язання задач зберігання, обробки та використання просторової інформації, а також є інструментами для створення цифрових моделей карт, розробки ГІС-додатків, для забезпечення управління інформаційними ресурсами та організації доступу до геоданих [5, 13].

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

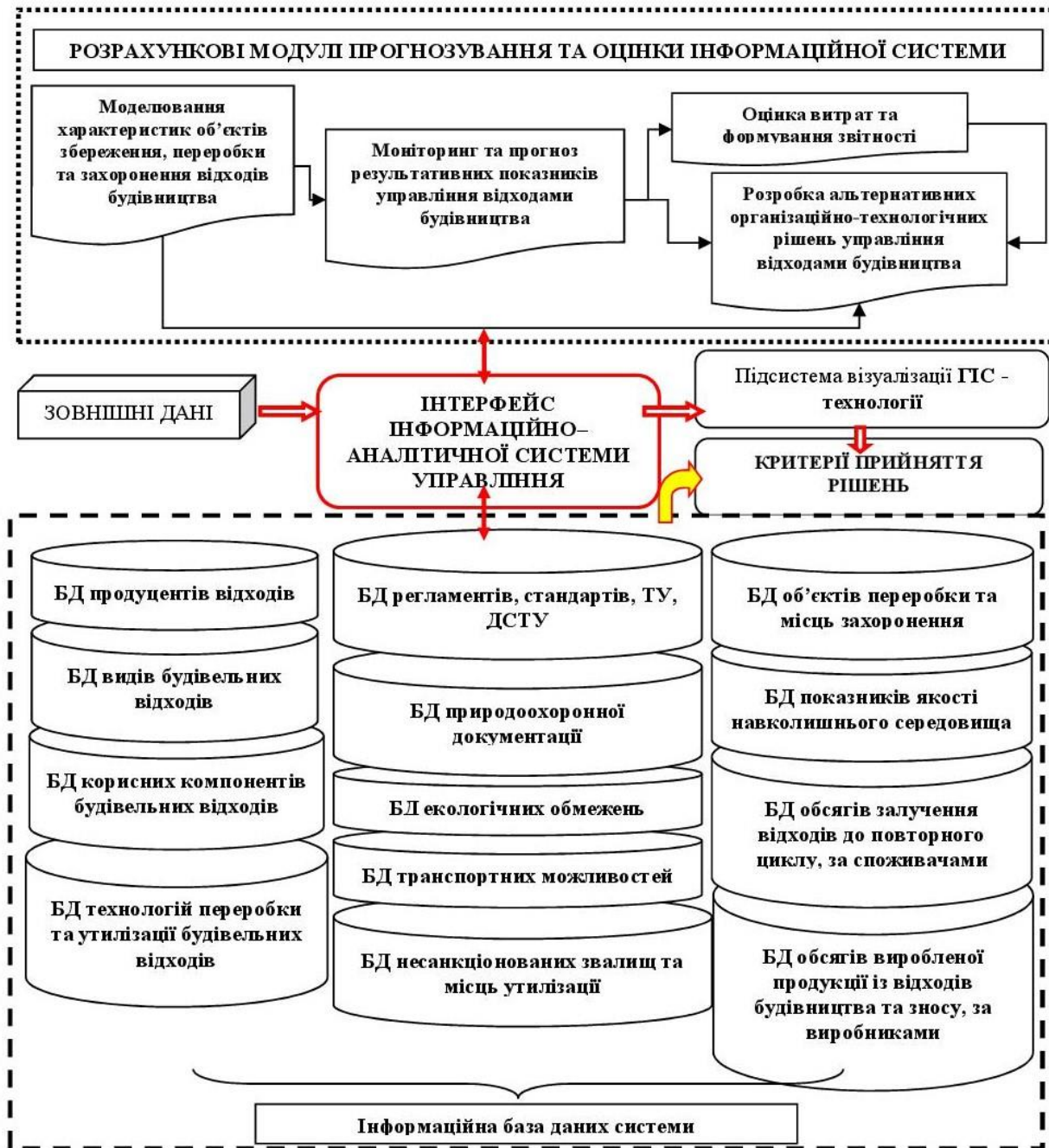


Рис. 2. Організаційно-функціональна структура системи інформаційно-аналітичного управління потоками відходів будівництва

Fig. 2. Organizational and functional structure of the system of information and analytical management of construction waste streams

Критерії прийняття рішень виконують функцію підвищення ефективності управління шляхом пошуку оптимального рішення в ек-

спертній базі даних. База даних системи складається з правил аналізу інформації, яка міститься в інформаційно-аналітичній системі управлін-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

ня відходами будівництва; крім того, передбачено, що система повинна аналізувати ситуацію (залежно від спрямованості й задач управління потоками відходів будівництва в певних умовах) в автоматичному режимі з дотриманням установлених критеріїв і визначати рекомендації з прийняття рішення.

Наукова новизна та практична значимість

Особливістю запропонованої організаційно-функціональної структури системи інформаційно-аналітичного управління потоками відходів будівництва, яка має стати основою створення інформаційної платформи управління потоками відходів будівництва, є включення в структуру функціональних блоків інформаційно-аналітичної системи: оцінка екологічних ризиків та оцінка інформаційних ризиків. Практичну значимість такого підходу обґрунтовано з позиції розгляду оцінки екологічних збитків як складової оцінки ефективності управління потоками відходів будівництва та оцінки інформаційних ризиків як інструменту логістичного підходу, що дозволяють забезпечити можливість прогнозування ключових показників системи, приймати оптимальні рішення, спрямовані на максимальне включення до системи потоків відходів будівництва як потенційної вторинної сировини; забезпечення достатнього рівня економічної та екологічної ефективності з оптимальним рівнем логістичних витрат.

Висновки

Обґрунтування принципів, функціональних вимог та завдань реалізації інформаційно-аналітичної підтримки управління потоками вторинних ресурсів відходів будівництва передбачає процедуру формалізації процесів управління, створення логічних та функціональних моделей досліджуваної системи, що, у свою чергу, вимагає комбінації спеціальних методик у межах системного підходу й відповідної оптимальної послідовності їх застосування.

Реалізація визначених завдань можлива за умови використання автоматизованої інформаційної системи управління логістикою потоків відходів будівництва та зносу, відповідно, основною метою інформаційної системи повинно стати підвищення ефективності інформаційного забезпечення в межах СКУПВ з урахуванням обмежень, норм і стандартів управління відходами будівництва та зносу, пріоритетності екологічних параметрів і показників ефективності.

Запропоновані підходи й вимоги до розробки інформаційно-аналітичної системи управління потоками відходів будівництва дозволять поліпшити ключові характеристики системи такого управління, зокрема – підвищать оперативність та інформативність прийняття управлінських рішень щодо потоків відходів будівництва як потенційно вторинних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамова М. В., Бачурина Н. Д. Сетевая модель управления потоками отходов. *Вестник Восточного украинского университета им. В. Даля*. 2008. № 3 (121). С. 73–78.
2. Алексанин А. В. Автоматизация управления отходами строительного производства. *Промышленное и гражданское строительство*. 2014. № 10. С. 79–81.
3. Аратюнян І. А., Шуваєв А. А. Екологічно-економічна доцільність комплексного управління потоками відходів в будівельній галузі. *Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика*. 2020. № 18. С. 9–17. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2020/217692>
4. Аратюнян І. А., Шуваєв А. А. Ефективність комплексного управління потоками вторинних ресурсів будівельної галузі. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2021. № 2 (93). С. 15–25. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.PMNTM.2413.270421.15.737>
5. Вайсман Я. И., Куликова Ю. В., Тагилова О. А., Хохрякова Я. С. Основные направления использования информационных технологий в сфере управления движением твердых бытовых отходов. *Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика*. 2013. № 1 (9). С. 147–164.
6. Ладик А. С., Маслобоев А. В. Разработка автоматизированной информационной системы управления логистикой бытовых отходов (на примере г. Апатиты). *Вестник Мурманского государственного тех-*

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- нического университета. 2016. Т. 19, № 1–2. С. 207–216.
DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2016-1/2-207-216>
7. Шуваєв А. Перспективи використання методів та принципів логістики в системі комплексного управління потоками вторинних ресурсів будівельної галузі. *Збірник наукових праць ЛОГОС*. 2021. С. 101–102. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-01.10.2021.v2.31>
 8. Bani M. S., Rashid Z. A., Hamid K. H. K., Harbawi M. E., Alias A. B., Aris M. J. The Development of decision support system for waste management; a Review. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2009. Vol. 37. P. 161–168.
 9. Chen Z., Li H., Wong C. T. An application of bar-code system for reducing construction wastes. *Automation in Construction*. 2002. Vol. 11. Iss. 5. P. 521–533. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0926-5805\(01\)00063-2](https://doi.org/10.1016/s0926-5805(01)00063-2)
 10. Hauschild M., Barlaz M. A. LCA in waste management: introduction to principle and method. *Solid Waste Technology & Management*. 2011. Vol. 1–2. P. 113–136.
 11. Keller T., Tergan S. O. Visualizing knowledge and information : an introduction. *Knowledge and Information Visualization*. 2005. Vol. 3426. P. 1–23. DOI: https://doi.org/10.1007/11510154_1
 12. Lagüela S., Díaz-Vilariño L., Martínez J., Armesto J. Automatic thermographic and RGB texture of as-built BIM for energy rehabilitation purposes. *Automation in Construction*. 2013. Vol. 31. P. 230–240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.013>
 13. Li H., Chen Z., Yong L., Kong S. C. W. Application of integrated GPS and GIS technology for reducing construction waste and improving construction efficiency. *Automation in Construction*. 2005. Vol. 14. Iss. 3. P. 323–331. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.007>
 14. Pradhananga N., Teizer J. Automatic spatio-temporal analysis of construction site equipment operations using GPS data. *Automation in Construction*. 2013. Vol. 29. P. 107–122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.004>

A. A. SHUVAIEV^{1*}

^{1*}Dep. «Industrial and Civil Construction», Zaporizhzhia National University, Sobornyi Av., 226, Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (096) 180 45 99, e-mail shywazp@gmail.com, ORCID 0000-0002-4919-485X

Organizational and Functional Structure of the System of Information and Analytical Management of Construction Waste Streams

Purpose. The main purpose of the work is to define and substantiate the principles, functional requirements and objectives of the implementation of information and analytical support for the management of waste streams of construction and wracking as secondary resources; development of the organizational and functional structure of the information-analytical management system, which would satisfy the conditions for the introduction of a logistical approach within the framework of integrated management of construction waste streams and became the basis for creating a single information platform. **Methodology.** As a methodological basis for the research of the process of managing the secondary resources streams and reversible streams in the construction industry, a logistic approach is used. It involves the analysis of factors influencing the system and study of its dynamic behavior as a complex adaptive system. The system approach in the development of information-analytical management systems involves solving the following tasks: development of a functional model of the management system of construction and wracking waste streams; construction of interaction matrices of automated processes and data routing processes; modeling the logical architecture of the data warehouses; development of a software and hardware set. **Findings.** The main tasks of developing information support for the logistics management system of construction and wracking waste streams are substantiated. The integration into the system of the following functional blocks is proposed: database formation; block for estimating the total economic costs of the process; environmental damage assessment blocks; information risk assessment; evaluation of alternative methods of waste stream management; optimal route formation block; visualization block. Based on the generalization of requirements and possibilities of the functionality analyzed in information-analytical systems and requirements which would provide efficiency of construction waste streams management, the organizational-functional structure of the system of information-analytical management is proposed. **Originality.** The work gives reasons for the inclusion in the list of functional blocks of the organizational and functional structure of the information-analytical management system, which should be the basis for creating an information platform for the management of construction and wracking waste streams, environmental and information

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

risk assessment. **Practical value.** Implementation within the information-analytical management of environmental damage assessment (as part of the efficiency assessment of the construction waste streams) and information risk assessment (as a tool of logistical approach) will provide the ability to predict key system indicators, make optimal decisions aimed at maximum inclusion of construction waste streams in the system as a potential secondary raw material, a sufficient level of economic and environmental efficiency with the optimal level of logistics costs.

Keywords: logistic approach; organizational and functional structure; integrated management of construction and wracking waste streams; information and analytical support; functional blocks of the information system; information platform

REFERENCES

1. Abramova, M. V., & Bachurina, N. D. (2008). Setevaya model' upravleniya potokami otkhodov. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 3(121), 73-78. (in Russian)
2. Aleksanin, A. V. (2014). Automation of waste management of construction production. *Industrial and Civil Engineering*, 10, 79-81. (in Russian)
3. Arutiunian, I. A., & Shuvaev, A. A. (2020). Environmentally-economic feasibility of integrated management of waste flows in the construction industry. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, 18, 9-17. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2020/217692> (in Ukrainian)
4. Arutiunian, I. A., & Shuvaev, A. A. (2021). Effectiveness of integrated management of secondary resource flows in the construction industry. *Physical Metallurgy and Heat Treatment of Metals*, 2(93), 15-25. DOI: <https://doi.org/10.30838/j.pmhtm.2413.270421.15.737> (in Ukrainian)
5. Vaisman, Y., Kulicova, Yu., Tagilova, O., & Khokhryakova, Ya. (2013). The principal directions of using information technologies in the sphere of management movement msw. *PNRPU Bulletin. Urban development*, 1(9), 147-164. (in Russian)
6. Ladik, A. S., & Masloboev, A. V. (2016). Development of automated information system for domestic waste logistics management (by the example of Apatity town). *Vestnik MGTU*, 19(1-2), 207-216. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2016-1/2-207-216> (in Russian)
7. Shuvaev, A. (2021). Perspektyvy vykorystannya metodiv ta pryntsyipiv lohistyky v systemi kompleksnoho upravlinnya potokamy vtorynnykh resursiv budiveln'noyi haluzi. *Collection of Scientific Papers АІОΓΟΣ*, 101-102. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-01.10.2021.v2.31> (in Ukrainian)
8. Bani, M. S., Rashid, Z. A., Hamid, K. H. K., Harbawi, M. E., Alias, A. B., & Aris, M. J. (2009). The Development of decision support system for waste management; a Review. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 37, 161-168. (in English)
9. Chen, Z., Li, H., & Wong, C. T. (2002). An application of bar-code system for reducing construction wastes. *Automation in Construction*, 11(5), 521-533. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0926-5805\(01\)00063-2](https://doi.org/10.1016/s0926-5805(01)00063-2) (in English)
10. Hauschild, M., & Barlaz, M. A. (2010). LCA in Waste Management: Introduction to Principle and Method. *Solid Waste Technology & Management*, 1-2, 111-136. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470666883.ch10> (in English)
11. Keller, T., & Tergan, S.-O. (2005). Visualizing Knowledge and Information: An Introduction. *Knowledge and Information Visualization*, 3426, 1-23. DOI: https://doi.org/10.1007/11510154_1 (in English)
12. Lagüela, S., Díaz-Vilariño, L., Martínez, J., & Armesto, J. (2013). Automatic thermographic and RGB texture of as-built BIM for energy rehabilitation purposes. *Automation in Construction*, 31, 230-240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.013> (in English)
13. Li, H., Chen, Z., Yong, L., & Kong, S. C. W. (2005). Application of integrated GPS and GIS technology for reducing construction waste and improving construction efficiency. *Automation in Construction*, 14(3), 323-331. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.007> (in English)
14. Pradhananga, N., & Teizer, J. (2013). Automatic spatio-temporal analysis of construction site equipment operations using GPS data. *Automation in Construction*, 29, 107-122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.004> (in English)

Надійшла до редколегії: 31.03.2021

Прийнята до друку: 02.08.2021

ЗМІСТ

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

О. А. ХОДОСКИНА, О. Ю. МОЇСЕСЕНКОВА

Місце транспорту в збутовій політиці промислового підприємства 5

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

О. С. КУРОП'ЯТНИК, Б. М. ЯКОВЕНКО

Визначення відповідності тексту алгоритму програми на основі конструктивно-продукційної моделі графа керування 12

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

А. Я. КУЗИШИН, С. А. КОСТРИЦЯ,

Ю. Г. СОБОЛЕВСЬКА, А. В. БАТІГ

Світовий досвід створення математичних моделей пневматичної ресори: переваги та недоліки 25

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Є. Е. АРУТЮНЯН

Інноваційний інструментарій удосконалення процесів організації будівництва в умовах ущільненої міської забудови 43

Н. О. ДАНКЕВИЧ, М. В. П'ЯТНИЦЯ

Оцінка надійності та технічна діагностика мостової споруди через р. Верхня Хортиця у м. Запоріжжя 51

А. В. РАДКЕВИЧ, М. І. НЕТЕСА, А. М. НЕТЕСА

Підвищення ефективності поєднання будівельно-монтажних робіт під час улаштування нульового циклу в умовах ущільненої забудови 59

А. А. ШУВАЄВ

Організаційно-функціональна структура системи інформаційно-аналітичного управління потоками відходів будівництва 69

CONTENTS

ECONOMICS AND MANAGEMENT

O. A. HODOSKINA, O. Y. MOISEIENKOVA

Place of Transport in the Sales Policy of the Industrial

Enterprise 5

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES AND MATHEMATICAL MODELLING

O. S. KUROIPIATNYK, B. M. YAKOVENKO

Identification of the Program Text and Algorithm

Correspondence Based on the Control Graph Constructive-

Synthesizing Model..... 12

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

A. Y. KUZYSHTYN, S. A. KOSTRITSIA,

Y. H. SOBOLEVSKA, A. V. BATIH

World Experience in Creating Mathematical Models of Air

Springs: Advantages and Disadvantages 25

TRANSPORT CONSTRUCTION

Y. E. ARUTIUNIAN

Innovative Tools for Improvement of Construction

Organization Processes in the Conditions of Dense Urban

Development 43

N. O. DANKEVYCH, M. V. PIATNYTSIA

Reliability Assessment and Technical Diagnostics of the

Bridge Structure across the Verkhnia Khortytsia River in

Zaporizhzhia..... 51

A. V. RADKEVYCH, M. I. NETESA, A. M. NETESA

Improving the Efficiency of Combination of Construction and

Installation Works During the Underground Phase Under

Conditions of Compacted Construction..... 59

A. A. SHUVAIEV

Organizational and Functional Structure of the System of

Information and Analytical Management of Construction

Waste Streams 69

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

До публікації в журналі приймаються статті українською або англійською мовами проблемного, узагальнюючого, методичного характеру, оригінальні наукові, практичні дослідження, які раніше ніде не видавалися.

Матеріали необхідно надавати в друкованому та електронному вигляді у програмі Microsoft Word. Для набору формул використовується MathType.

Наукова стаття повинна відповідати вимогам п. 3 Постанови ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003 року.

Матеріали рецензуються членами редакційної колегії журналу та сторонніми незалежними експертами, виходячи з принципу об'єктивності та з позицій вищих міжнародних академічних стандартів якості, та редагуються. Редакція залишає за собою право на стилістичну правку рукопису.

Вимоги щодо обсягу наукових статей, повідомлень, відгуків та рецензій:

- оглядові та проблемні статті – до 45 000 знаків з пробілами (7–10 с.);
- загальні статті за рубриками видання – до 30 000 знаків з пробілами (5–7 с.);
- наукове повідомлення – до 8 000 знаків з пробілами (до 2,5 с.);
- відгук або рецензія – до 6 000 знаків з пробілами (до 2 с.).

Матеріал надається у форматі A4, враховуючи таблиці, ілюстрації, список використаних джерел. Статті, більші за обсягом, можуть бути прийняті до розгляду на підставі рішення редколегії.

Для здачі статті до друку авторам необхідно надати наступні документи:

1) файл зі статтею та друкований примірник рукопису з підписами всіх співавторів на останньому аркуші роботи;

2) оригінал Ліцензійного договору з підписами всіх співавторів;

3) файл з відомостями про кожного з авторів – прізвище, ім'я, по-батькові повністю, посада, місце роботи, наукове звання, науковий ступінь, контактна інформація (телефон, адреса електронної пошти), код ORCID. Відомості про авторів подаються двома мовами – українською та англійською.

Увага! Згідно з міжнародними стандартами якості наукових публікацій необхідним є: наявність авторських розширених (250–300 слів) і структурованих резюме (рефератів – abstracts), у т.ч. англійською мовою, рецензій, пристатейних списків літератури в романському алфавіті тощо.

Виклад основного матеріалу статті повинен мати такі елементи:

- **вступ:** постановка проблеми, аналіз останніх досліджень;
- **мету;**
- **методику:** виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Докладно описують загальну методику дослідження, щоб його результати могли бути відтворені: описується послідовність виконання дослідження, обґрунтовується вибір використовуваних і викладається суть запропонованих методів і моделей, змістовно визначається, що саме досліджувалося кожним методом;
- **результати:** містять експериментальні чи теоретичні дані, отримані в роботі, для демонстрації того, що отримано нове рішення проблеми, і що робота є значним кроком вперед у порівнянні з попередніми дослідженнями. Дані подаються у формі таблиць, графіків, діаграм, рівнянь, фотографій, рисунків, статистичними оцінками. Результати повинні бути викладені коротко і чітко, при цьому містити досить інформації для оцінки зроблених висновків, також має бути очевидно, чому для аналізу обрані саме ці дані;
- **наукову новизну та практичну значимість.** Наукова новизна отриманих результатів викладається аргументовано, коротко і чітко. До наукової новизни не можна відносити прикладні результати (способи, пристрої, методики, схеми, алгоритми). Практичне значення отриманих результатів становлять відомості про використання результатів досліджень або рекомендації з їх використання;
- **висновки:** необхідно навести досягнуті кількісні та якісні показники дослідження, викласти рекомендації з їх використання.

З усіх питань звертайтеся до редакції журналу за адресою:

Науково-технічна бібліотека (ауд. 166),

Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,

вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна,

49010

e-mail: visnik@diit.edu.ua

Сайт журналу: <http://stp.diit.edu.ua/>

Наукове видання

**НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ.
ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА**

№ 4 (94) 2021

(українською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – О. В. Помінова

Комп'ютерне верстання – О. В. Помінова

Літературна обробка – С. П. Лагдан

Формат 60×84¹/₈. Ум. друк. арк. 9,53. Тираж 100 пр. Зам. №02/04

**Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Адреса редакції, видавця:

вул. Лазаряна, 2, кім. 267, м. Дніпро, 49010, Україна

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: kolesnykova@diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Друк:

Видавництво «Герда», 49000, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 60

Свідцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 397 від 03.04.2001 р.



Scientific Edition

**NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU.
VİSNIK DNİPROPETROVS'KOGO NACİONAL'NOGO UNİVERSITETU
ZALİZNIČNOGO TRANSPORTU**

=

SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

No. 4 (94) 2021

(in Ukrainian and English languages)

Responsible for issue – O. V. Pominova

Desktop publishing – O. V. Pominova

Redaction – S. P. Lahdan

Format 60×84¹/₈. Conventional printed sheet 9,53. Circulation 100. Order no. 02/04

Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan

Address of editor and editorial office

Lazaryan St., 2, r. 267, Dnipro, 49010, Ukraine

Tel.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: kolesnykova@diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Printing

Publishing house «Gerda», 49000, Dnipro, Yavornitsky av., 60

