



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



---

# НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

№ 3-4(99-100)

•• 2022 ••

Український державний університет науки і технологій

## НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

Науковий журнал

№ 3-4 (99-100) 2022

Виходить 4 рази 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

2022

Засновник:  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ГОЛОВА РЕДАКЦІЙНОЇ РАДИ УНІВЕРСИТЕТУ  
ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛУ

Пшінько О. М., доктор технічних наук  
Пічугов 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); Біляев М. М., УДУНТ (Україна); Богдявічус М., Вільнюський технічний університет імені Гедимінаса (Литва); Боднар Б. Є., УДУНТ (Україна); Вакулєнко І. О., УДУНТ (Україна); Воронін С. В., УкрДУЗТ (Україна); Головова Л. С., УДУНТ (Україна); Єфременко В. Г., Приазовський держаний технічний університет (Україна); Жуковицький І. В., УДУНТ (Україна); Калівода Я., Чеський технічний університет (Чехія); Капіца М. І., УДУНТ (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); Пітман Р., Антимонопольний відділ Департаменту юстиції (США); Ракша С. В., УДУНТ (Україна); Сладковскі А., Сілезький технологічний університет (Польща); Суглер Дж., Варшавська школа економіки (Польща); Тютькін О. Л., УДУНТ (Україна); Шинкаренко В. І., УДУНТ (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 20.12.2022 р., протокол № 3

Видавець Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022 р.

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

Видання публікується з 1936 р.:

- 1936–1993 рр. – «Труди Днепропетровського інститута інженерів залізничного транспорту»;
- 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»

Ukrainian State University of Science and Technologies

**NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU**

=

**SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS**

**Scientific journal**

**No. 3-4 (99-100) 2022**

Once a quarter ♦ ♦ ♦ ♦ ♦ 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

2022

Founder:

UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES

Chairman of the Editorial Board of the University	Pshinko O. M., Doctor of Technical Sciences
Editor-in-Chief	Pichugov S. A., Doctor of Physics and Mathematics
Deputy Chief Editor	Kozachenko D. M., Doctor of Technical Sciences
Executive Secretary	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., USUST (Ukraine); Bodnar B. E., USUST (Ukraine); Bogdevičius M., Vilniaus Gedimino technikos universitetas (Lithuania); Cygler J., Szkoła Główna Handlowa w Warszawie (Poland); Efremenko V. G., Priazovsky State Technical University (Ukraine); Golovkova L. S., USUST (Ukraine); Kalivoda J., Czech Technical University in Prague (Czech Republic); Kapitsa M. I., USUST (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 Puluji 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., USUST (Ukraine); Shinkarenko V. I., USUST (Ukraine); Śladkowski A., Politechnika Śląska w Gliwicach (Poland); Tiutkin O. L., USUST (Ukraine); Vakulenko I. O., USUST (Ukraine); Voronin S. V., UkrSURT (Ukraine); Zhukovitskiy I. V., USUST (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 20.12.2022, Protocol no. 3

Publisher Ukrainian State University of Science and Technologies (Dnipro)  
Certificate of Publisher ДК no. 7709 from 14.12.2022

Address of Founder Lazaryana St., 2, room 267, Dnipro, Ukraine, 49010, tel.: +38 (056) 371-51-05;  
e-mail: stp.journal@ust.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»

# АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 656.25.045.6

С. Ю. БУРЯК<sup>1\*</sup>, О. О. ГОЛОЛОБОВА<sup>2</sup>, Т. М. СЕРДЮК<sup>3</sup>, А. М. АФАНАСОВ<sup>4</sup>,  
В. В. СКАЛЬКО<sup>5</sup>, К. О. ЯМБУРГ<sup>6</sup>, Д. С. БІЛУХІН<sup>7</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Автоматика та телекомунікації», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта ser.buryak@gmail.com, ORCID 0000-0002-8251-785x

<sup>2</sup>Каф. «Автоматика та телекомунікації», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта gololobova\_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

<sup>3</sup>Каф. «Автоматика та телекомунікації», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта serducheckt@gmail.com, ORCID 0000-0002-2609-4071

<sup>4</sup>Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +380 (056) 373 15 31, ел. пошта afanasof@ukr.net, ORCID 0000-0003-4609-2361

<sup>5</sup>Каф. військової підготовки, Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 09, ел. пошта viktorska66@ukr.net, ORCID 0009-0007-0276-9955

<sup>6</sup>ТОВ «Majorel Polska», алея Генерала Тадеуша Бора-Коморовського, 25Д, Краків, Польща, 31-416, тел. +48 (886) 527 915, ел. пошта cosmos.ksu@gmail.com, ORCID 0000-0003-1305-5302

<sup>7</sup>Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +380 (056) 373 15 31, ел. пошта comandor04@gmail.com, ORCID 0000-0002-2791-617X

## Вплив людського фактора на пильність при керуванні транспортними засобами

**Мета.** Метою даного дослідження є пошук шляху вдосконалення системи моніторингу і контролю стану людини, яка приймає безпосередню участь у керуванні транспортними засобами, шляхом запозичення знань і здобутків зі сфери наукових вишукувань в питаннях, що займаються визначенням реакції людини на дію різних факторів впливу, подразнюючих чинників, взаємодії один з одним та технічними засобами, спроможністю до тривалого підтримання працездатності тощо. **Методика.** Оскільки транспортні перевезення вимагають як високих професійних, так і особистісних навичок, то необхідно розробляти та впроваджувати системи моніторингу й контролю стану людини, які б відповідали запитам здобутків сучасного рівня технічного розвитку. Для визначення факторів впливу на людину проведено аналіз досліджень у цій сфері. **Результати.** Акцентовано, що кожна людина має, по-перше, власні, притаманні тільки їй, особливості, а по-друге, не може перебувати у двох однакових станах у різні моменти часу. Ураховуючи ці та інші аспекти, слід розробити універсальний підхід до питання визначення та перевірки відповідальності людини за прийняття відповідних рішень. Установлено основні фактори впливу на увагу машиніста. Серед них вагоме місце, окрім фізіологічного, посідає психоемоційний стан, який теж потрібно враховувати. **Наукова новизна.** Розвиток технологій призводить до нових потреб і надає нові можливості практично у всіх галузях. Однією з таких є вивчення здатностей людини до концентрації уваги, підтриманні зосередженості та фокусуванні на поставленій цілі. Запропонований підхід дозволяє ширше поглянути на питання ролі та місця людини, її інтегрованості в перевізний процес. **Практична значимість.** Проведений аналіз форм впливу та видів навантаження на різні системи сприйняття людини дозволив окреслити завдання визначення спроможності людини до відповідальних дій під впливом вагомих чинників.

**Ключові слова:** пильність машиніста; людський фактор; безпека руху; вимоги до машиніста; фактори впливу на машиніста

## Вступ

Люди – найслабша ланка у будь-якій вбудованій системі, хоча у ряді випадків їм відводять головну роль. Система експлуатації залізниць передбачає залучення великої кількості людей. Це призводить до такої ж великої кількості людських помилок, а отже – до непрогнозованих подій із непередбачуваними наслідками.

У критичних системах, до яких належать і транспортні, заходи безпеки, спрямовані проти людських помилок, відіграють істотну роль і можуть виступити захисним механізмом та не допустити появи небезпечних ситуацій.

Водночас не слід забувати, що більшою мірою роль людини важлива в екстрених ситуаціях, не передбачених автоматизованими компонентами системи. Оскільки ці ситуації незнайомі операторам так само, як і машинам, виникає високий попит на адекватну та блискавичну взаємодію цих двох компонентів системи.

Так само слід узяти до уваги, що фактичний розвиток технологій дозволив різко підвищити надійність системи за останні десятиліття, а тому людська помилка в наш час є найбільш значним джерелом аварій або інцидентів у критичних для безпеки системах.

Все більше і більше досліджень спрямовано на отримання максимально можливого ступеня оптимізації систем транспорту, в тому числі і залізничного, за допомогою наявної загальної теорії людських помилок та використовуваних систем моніторингу. Цей процес відбувається у світлі необхідності потенційного наділення правами прийняття відповідальних рішень саме людини.

В сучасному підході до цього питання мова йде про аналіз і вдосконалення системи постійного моніторингу фізичного та психологічного стану працівників, які є фактично операторами рухомих одиниць. При цьому існує гостра необхідність у комплексному підході до визначення стану учасників руху в поточний час, що передбачає контроль життєвих показників та моніторинг загального стану таких осіб.

Актуальність теми набуває великої ваги і тому, що через підвищення швидкостей руху, а також постійне збільшення протяжності маршрутів обертання значно зросло навантаження на локомотивну бригаду. Виснажливі й тривалі поїздки незалежно від часу доби та погодних умов

із виконанням монотонних повторюваних дій не тільки наражають на ризик особисте здоров'я бригади, а й становлять підвищену загрозу всій безпеці руху на транспорті.

Під час дослідження людської діяльності в системі транспортних перевезень потрібно враховувати не лише дані про стан пасажирів і вантажів за чіткої, правильної і злагодженої роботи всієї технологічної ланки, а й показники виходу працівників із дієздатного стану для передбачення та запобігання різним видам людських помилок. Особливо це стає важливим за умови підвищення швидкостей руху, оскільки значно скорочується час на виявлення, визначення та усунення позаштатних ситуацій.

Для визначення факторів впливу на людину та розробки універсального підходу до питання визначення та перевірки відповідальності людини за прийняття відповідних рішень проведемо аналіз існуючих досліджень. Технологічний прогрес призвів до значного розвитку промисловості у всьому світі, у тому числі і транспортної. Натомість фізіологічні та психологічні здатності людини залишилися на тому ж рівні, на якому були досягнуті багато років тому в процесі еволюційного розвитку. Тому метою вдосконалення взаємодії технологій і людини є дослідження та впровадження систем, здатних поліпшити та полегшити працю останньої. А для цього потрібно провести детальний аналіз факторів, які впливають на органи відчуття та методи сприйняття людини.

На даний час не існує загального підходу до вирішення цього питання, який би був універсальним і враховував різноманітні чинники впливу на оператора рухомої одиниці через його свідомість, стан, самопочуття, переживання. Усім цим факторам та іншим, які є потужними розсіювачами уваги і повинні бути врахованими при розгляді проблематики збереження пильності при керуванні транспортними засобами, присвячене дане дослідження.

## Мета

Метою даного дослідження є пошук шляху вдосконалення системи моніторингу і контролю стану людини, яка приймає безпосередню участь у керуванні транспортними засобами, шляхом запозичення знань і здобутків зі сфери наукових вишукувань в питаннях, що займаються

## АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

визначенням реакції людини на дію різних факторів впливу, подразнюючих чинників, взаємодії один з одним та технічними засобами, спроможністю до тривалого підтримання працездатності тощо.

Для визначення факторів впливу на людину та розробки універсального підходу до питання визначення та перевірки відповідальності людини за прийняття відповідних рішень проведемо аналіз існуючих досліджень.

### Методика

Було встановлено, що найбільш розвинутою і різноманітною системою стеження за присутністю в процесі керування транспортним засобом, є системи перевірки пильності машиніста на залізничному транспорті. Тому найбільше уваги приділено саме цій транспортній галузі. Проте, усі надбання і здобутки у напрямку визначення рівня уважності і пильності людини, яка керує транспортним засобом, може бути використано і на інших видах транспорту та в більш широкому застосуванні.

Сьогодні рівень пильності машиніста, як правило, перевіряють шляхом вимірювання часу реакції на сигнал світлового або звукового попередження. Наприклад, у системі автоматичної локомотивної сигналізації неперервної дії (АЛСН), яку використовують зараз в Україні, передбачені періодичні перевірки пильності машиніста, під час яких машиніст після появи попередньої світлової сигналізації повинен протягом 6–7 секунд натиснути рукоятку пильності. Якщо цього не відбувається, то наступним етапом стає вмикання свистка електропневматичного клапана, який лунає протягом 6–7 секунд. За цей час машиніст повинен натиснути рукоятку пильності, інакше відбувається автоматичне екстрене гальмування. Як показує практика, такий метод перевірки машиніста не дозволяє об'єктивно визначити рівень його фізіологічного стану та працездатності. Це пов'язано з тим, що машиніст, навіть під час дрімання, може рефлекторно натискати рукоятку пильності. Крім того, подібні постійні перевірки пильності відволікають членів локомотивної бригади від поточної роботи з керування поїздом. У зв'язку з цим питання щодо вдосконалення си-

стем моніторингу рівня пильності та працездатності членів локомотивної бригади залишається актуальним до сьогодні.

Звісно, що такий підхід до визначення збереження пильності вже морально та технічно застарілий і не може забезпечувати достатнього рівня безпеки, особливо в умовах зростання швидкостей руху потягів. Тому необхідно звернутися до міжнародного досвіду в питанні розробки сучасної системи аналізу стану людини, для повноцінного розуміння можливості допущення її до виконання покладених на неї обов'язків.

### Результати

Автори роботи [1] стверджують, що людський фактор – це міждисциплінарна галузь, тому що ця тема може бути розкрита лише за допомогою багатьох наук, таких як психологія, інженерія, антропометрія, промисловий дизайн, медицина, дослідження операцій. Із цієї точки зору аналіз надійності людини допомагає оцінювати й запобігати негативному впливу людського фактора, тобто людських помилок, на продуктивність і безпеку системи, його зазвичай застосовують у контексті оцінки ризику складних і потенційно небезпечних систем, якою є транспортна система.

Д. Гаур у своїй роботі [6] проаналізував типові форми поведінки, що створюють передумови небажаних подій, аварій, інцидентів. Деякі з них наведено нижче:

- люди часто, самі того не бажаючи, припускаються помилок;
- люди часто пропускають чи неправильно читають інструкції;
- більшість людей не перевіряє ще раз системи на наявність помилок;
- люди часто діють нераціонально в надзвичайних ситуаціях;
- люди зазвичай під час виконання завдань думають про інші речі;
- люди, як правило, погано оцінюють відстань та швидкість;
- значна частина людей стає надто самовпевненою після успішного поводження з небезпечними предметами протягом тривалого часу;
- люди постійно поспішають.

## АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

Іншим важливим фактором надійності виконання поставлених завдань є стрес. Взаємозв'язок між роботою людини та стресом вивчали різними дослідниками протягом багатьох років.

У зв'язку зі стрімким науково-технічним прогресом, виникли глобальні зміни в технології, що спричинило конструктивні зміни у виконуваній ролі та вимогах людей-операторів.

Більшість змін є позитивними, але деякі з них мають несподівані наслідки, і тому люди, які досліджують «людський фактор», також безперервно займаються розробкою методів і підходів до вивчення, аналізу та вдосконалення систем моніторингу.

Різні види систем моніторингу локомотивної бригади дедалі частіше розміщують на борту локомотивів, але нині всю докладну інформацію, зібрану пристроями моніторингу, недостатньо широко використовують поза розслідуванням інцидентів.

Уолкер і Стреті в 2014 році припустили [16], що дані пристроїв систем моніторингу є недовикористовуваними, але потенційно важливими джерелами для розуміння людських можливостей та виявлення ризиків аварій. Це особливо важливо в контексті поточних показників безпеки на залізничному транспорті, що характеризуються малою кількістю серйозних інцидентів і відносною стабільністю. Для поліпшення безпеки не потрібно впроваджувати істотні зміни, достатньо відшукати нові способи розгляду та використання даних, щоб мати більш глибоке розуміння проблем.

Як і в кожній галузі, де ключовою складовою виступає безпека, працездатність і продуктивність людини є одним з основних факторів забезпечення безпеки залізничних перевезень. Аналіз, який провів Еванс у 2011 році, показав, що 69 % нещасних випадків на залізницях зі смертельними наслідками в період із 1980 по 2009 рік були переважно пов'язані з діяльністю людини.

За Гіллісом [7], керування управлінням поїздом в основному візуально-просторове, що включає постійне сприйняття та обробку інформації, і більшість фізичних дій машиніста поїзда обумовлена отриманою інформацією (наприклад, переміщення ручки тяги у відповідь на зміни швидкості на спідометрі), а це становить **жорсткі вимоги до візуальної уваги машиніста.**

Донкастер [4], Хамільтон і Кларк [10] у різні роки писали, що основне завдання машиніста – обробка інформації, зібраної як усередині, так і зовні кабіни, а також застосування знань для правильного контролю швидкості та гальмування поїзда. Однак, незважаючи на уявну простоту завдання, Naweed [12] описує керування поїздом як складну й динамічну роботу. Хоча основне завдання можна описати досить просто, реальна практика висуває зміни умов, щільності подій і навантажень на продуктивність, які призводять до змін у моторних навичках і стратегіях вирішення проблем. Складність іноді визначають цілі, які суперечать одна одній. Це стосується точності часу, комфорту та швидкості, навіть компромісів, необхідних для оптимізації всього процесу. Таким чином, продуктивність машиніста поїзда – це не просто питання сприйняття та реагування на стимули в разі використання простих моделей обробки інформації, а також безперервне прогнозування та планування [5].

Ключове питання моніторингу та управління роботою машиніста полягає в тому, щоб визначити ознаки правильного ведення поїзда. У літературі мало інформації, що безпосередньо стосується цього питання, хоча в роботі Рассела і Лонга [15] перелічено якості хороших працівників локомотивної бригади, зокрема здатність передбачати, стресостійкість і висока концентрація уваги.

У роботі [11] ідеться про те, що впровадження швидкісного руху на залізницях світу призвело до необхідності впровадження додаткових заходів щодо забезпечення безпеки руху. У цих умовах діяльність машиніста поїзда набуває особливого значення, потрібно враховувати морально-психологічні та професійно-технологічні навантаження, що стабільно зростають.

На жаль, кількість транспортних пригод не зменшується, до того ж зростає їхня тяжкість: за даними міжнародної бази катастроф – Центру досліджень епідеміології аварій [8], за 100 років (із 1919 по 2019) кількість катастроф на залізницях світу, у яких загинуло 10 та/або понад 100 осіб травмовано, постійно зростає. І якщо в період 1920–1949 рр. це число було в межах 23 жертв, то в період 1980–2019 рр. воно зросло вже до 467.

## АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

Крім цього, згідно зі статистикою, наведеною на сайті Агентства залізниць ЄС [3], переважну більшість подій (87 %) на залізницях Європи, що відображає загальносвітові тенденції, становлять два найнебезпечніші види: зіткнення і сходження поїздів (61 %) та аварії на переїздах (26 %). Таким чином, втрата пильності машиністом призводить до виникнення подій на залізничному транспорті в 37 % випадків. Лівову частку транспортних пригод пов'язують із пропуском заборонних сигналів членами локомотивної бригади. Причини, із яких оператор не реагує на сигнал, такі:

- сон – 18,4 % випадків;
- неуважність – 27,8 %;
- машиніст відволікався від управління локомотивом – 12,2 %;
- неправильне сприйняття команд маневрового диспетчера/чергового станції – 4,7 %;
- алкогольне сп'яніння – 11,2 %;
- порушення посадкових інструкцій – 3,5 %;
- хибне сприйняття відкритого сигналу на сусідній колії – 11,5 %;
- несправність гальм – 4,4 %;
- відсутність машиніста в кабіні – 1,7 %;
- незнання правил технічної експлуатації – 3,1 %;
- сприйняття сигналу із запізненням – 1,5 %.

Розглянемо аналіз помилок, допущених людьми під час виконання роботи.

У своєму дослідженні [13] Парк писав, що аналіз людських помилок переважно буває кількісний і якісний. Кількісний аналіз – це метод визначення ймовірності виникнення помилки людини в конкретній роботі, проте він підходить лише для розробки заходів запобігання повторенню аварії, оскільки причин аварії не подає. Якісний аналіз, що компенсує цей недолік кількісного аналізу, є поглибленою оцінкою фактичної події, тому дає можливість класифікувати людські помилки, виявити причини і встановити контрзаходи.

За якісного аналізу основну увагу приділяють методу, що враховує когнітивні процеси працівників. Завдяки заміні повторюваних завдань, що потребують багато часу, високотехнологічною системою автоматизації, роль працівників змінилася з виконавців на інформаційних обробників, які розв'язують проблеми через

прийняття рішень. Відповідно, зростає потреба в розробці методу аналізу помилок з урахуванням процесу прийняття рішень людиною [2].

Репрезентативну модель, яка показує людські помилки з когнітивної точки зору, представляє модель обробки інформації Вікенса і Холландса [17]. Ця модель класифікує людські помилки з погляду обробки інформації. Помилки на етапі планування виникають у процесі сприйняття коли мету чи ситуацію було розпізнано помилково. Ці помилки викликані перевищенням меж пам'яті чи недостатньою увагою і можуть бути пов'язані з проблемами сприйняття або когнітивною вразливістю. Зокрема, їх можна поділити на помилки, що ґрунтуються на знаннях, і помилки, що ґрунтуються на правилах.

Помилки, що ґрунтуються на знаннях, виникають у разі надлишку інформації або нестачі знань для інтерпретації інформації. Помилки на основі правил – це помилки у правилах, процедурах, програмному забезпеченні тощо.

Людські помилки виникають із різних причин (табл. 1), і їх усунення потребує різних запобіжних заходів.

Д. Портер [14], який здійснив аналіз ведення поїзда, описав у своїй книзі дії, які зобов'язаний виконувати машиніст:

- стежити за швидкістю поїзда, регулювати її. У цьому випадку потрібно зосередити свою увагу на спідометрі для сприйняття цієї інформації та подальшого прийняття рішень;
- стежити за трасою та помічати перешкоди. Тут необхідні швидка реакція, пильність та самостійне прийняття рішень;
- дотримуватися показань сигналів, індикаторів та таблиць, які зустрічаються на шляху, що потребує швидкої та адекватної реакції, пильності, а також пам'яті та знання маршруту;
- давати відповіді на запити систем автоматики, сигналізації та блокування. У цьому випадку необхідна пильність для розпізнавання сигналів, а також хороша пам'ять для того, щоб підсумовувати інформацію та на її основі і самостійно приймати рішення;
- помічати людей, які працюють на колії, тут також головну роль посідає пильність;
- давати відповіді на запити пристроїв контролю пильності.

Таблиця 1

**Причини людських помилок**

Table 1

**Causes of human errors**

Категорія	Джерела помилок
Фізіологічні	1. Робоче середовище – шум, освітлення, час роботи, зміни, температура, вентиляція тощо 2. Стрес 3. Надання чомусь значної уваги чи, навпаки, неувважність, плутанина у сприйнятті 4. Адаптація до змін у фізіологічній системі та навколишньому середовищі 5. Розумове навантаження та втома
Анатомічні	Фізична непрацездатність, вік, хвороба, рани, забиті місця, погана фізична координація
Соціально-особистісні	Нещастя в сім'ї, напружені відносини між членами сім'ї, колегами по роботі, соціальна дисгармонія

Усі перелічені вище дії, які зобов'язаний виконувати машиніст, потребують навичок таких систем:

- сенсорна система (використання органів чуття: слуху, зору тощо);
- пізнавальна система (обізнаність, можливість обробки отриманої з навколишніх обставин інформації);
- система психомоторики (координація рухів).

Також існує ряд специфічних навичок, необхідних для ведення поїзда. Машиніст повинен мати здатність до збереження пильності, запам'ятовування інформації, передбачення та оцінювання ефектів від кількох факторів, які можуть вплинути на рух поїзда.

Рік у рік на залізницях модернізують системи захисних сигналів для того, щоб не тільки зменшити наслідки транспортних пригод, а й докорінно запобігти їм, тим самим підвищуючи безпеку руху поїздів. Проте, навіть із нинішнім рівнем систем моніторингу і пильності, помилки з вини людини мають місце.

У своїй книзі [9] Халлідей і Портер наводять докладну класифікацію можливих помилок, а також описують їх і причини, з яких можуть

виникати транспортні пригоди та інциденти. Наведемо їх:

1. Машиніст не помічає сигнал небезпеки та продовжує рух або не встигає вчасно загальмувати.
2. Машиніст не помічає придорожні таблиці, знаки, індикатори.
3. Машиніст не помічає зміни кривизни шляху чи нахилу, що, як наслідок, позначається на перевищенні швидкості проходження кривої.
4. Машиніст не реагує на запити системи автоматизації, сигналізації та блокування через неувважність або втому.
5. Машиніст бачить сигнал небезпеки, але через впевненість у своїх знаннях дороги та досвіді вважає, що цей сигнал може змінитися.

Переваги використання залізничного транспорту для людини та суспільства супроводжуються певними втратами як майна, так і життя та здоров'я. Зі зростанням перевезень кількість нещасних випадків збільшується. Викликані вони рядом різних причин за походженням і суттю, але їх усі можна умовно поділити за причинами виникнення. Це можуть бути як технічні недоліки, технологічні збої, так і людські помилки.

Проведений аналіз дозволив визначити роль і місце людини в перевізному процесі, а також

## АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

встановити, що в разі наділення її повноваженнями впливу, особливо в питанні безпеки руху, необхідно обов'язково враховувати всі зовнішні чинники, під дією яких вона так чи інакше перебуває, внутрішній стан, викликаний особистими переживаннями та відчуттями, і ментальний та інтелектуальний тиск професійних вимог.

### Наукова новизна та практична значимість

У наш час, незважаючи на велику кількість спроб вирішити питання про роль і місце людини в системі безпеки ведення поїздів, триває дискусія щодо визначення її обов'язків та повноважень впливу. Із наукової точки зору, проведене дослідження мало на меті з'ясувати межі формування зони відповідального впливу людини. Водночас із практичного погляду, таке обмеження має бути всеосяжним, оскільки у більшості випадків остаточне рішення прийнято залишати за людиною за можливо повного її контролю.

Завдяки екстраполяції досягнень в інших галузях у застосуванні до умов ведення транспортних засобів, зокрема на залізниці, доведена необхідність та важливість розширення параметрів, які необхідно відслідковувати при наданні дозволу людині на прийняття відповідальних рішень для здійснення руху.

### Висновки

Протягом останнього десятиліття безпеку руху тісно пов'язують із таким поняттям, як «людський фактор», що є однією з основних причин небезпечних подій, інцидентів та аварій. Грунтуючись на результатах аналізу, наведених джерел, можемо зробити висновок, що основними причинами у помилок людини є відволікання уваги, втома та сон. Заходи, спрямовані на подолання цих причин, нині не є досконалыми і потребують розвитку.

При цьому слід також враховувати, що в разі зміни характеру руху (підвищення швидкості, збільшення плечей обертання, використання принципово нових технічних рішень, передових технологій тощо) змінюватися повинні й методи моніторингу стану локомотивної бригади, з обов'язковим урахуванням усіх факторів фізичного, психологічного, інтелектуального та інших видів впливу на працівника безпосередньо та на його увагу зокрема.

Таким чином, у світлі вищевикладеного важливим завданням постає сам підхід до покладання відповідальності за безпеку руху на людину через недостатнє врахування усіх площин перетину множинних чинників, які на неї впливають, із множиною обов'язків, які на неї покладають.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Baysari M. T., McIntosh A. S., Wilson J. R. Understanding the human factors contribution to railway accidents and incidents in Australia. *Accident Analysis & Prevention*. 2008. Vol. 40. Iss. 5. P. 1750–1757. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.06.013>
2. Choi Y. C., Kim Y. K., Kim C. Y. A Study on the Detailed Classification and Empirical Analysis of Human Error. *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Flight Operation*. 2002. Vol. 10. Iss. 1. P. 9–20.
3. *Common Safety Indicators EC. The European Railway Agency (ERA)*. URL: <http://www.era.europa.eu/Pages/Home.aspx>
4. Doncaster N. «By the seat of their pants» Cues and feedback used by train crew. *Rail Human Factors around the World*. Boca Raton, USA : CRC Press, 2012. P. 484–494. DOI: <https://doi.org/10.1201/b12742-56>
5. Elliot A. C., Garner S. D., Grimes E. The cognitive tasks of the driver : The approach and passage through diverging junctions. *People and Rail Systems : Human Factors at the Heart of the Railway*. Aldershot : Ashgate, 2007. P. 115–123.
6. Gaur D. Human factors analysis and classification system applied to civil aircraft accidents in India. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 2005. Vol. 76. Iss. 5. P. 501–505.
7. Gillis I. Cognitive workload of train drivers. *People and Rail Systems: Human Factors at the Heart of the Railway*. Aldershot : Ashgate, 2007. P. 91–101.
8. Guha-Sapir D. *EM-DAT : International Disaster Database*. University Catholique de Louvain – Brussels – Belgium. URL: <http://www.emdat.be/database>

## АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

9. Halliday M. W., Porter D. R. *SPADRAM : Driver Distraction, Human Factors Assessment*. No. SHE 952046. London : British Railway Board, 1996.
10. Hamilton W. I., Clarke T. Driver performance modelling and its practical application to railway safety. *Applied Ergonomics*. 2005. Vol. 36. Iss. 6. P. 661–670. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2005.07.005>
11. Hyungsik K. Human Resources and Infrastructure System Towards «World's Best, Korean Railroad». *Japan Railway & Transport Review*. 2019. Vol. 54. P. 14–23.
12. Naweed A., Aitken J. Drive a mile in my seat : Signal design from a systems perspective. *IRSE Australasia Technical Meeting*. 2014. P. 1–7.
13. Park Y. J. A Study on the Legal Issues in the Conditions of Domestic Carriage of Passenger by Sea. *The Journal of Korean Maritime Law Association*. 2015. Vol. 37. Iss. 2.
14. Porter D. *A detailed task analysis of four types of train driving*. Iss. 1. SRD, Cheshire, 1992.
15. Russell A., Long S. *Rail Human Factors : Supporting reliability, safety and cost reduction*. CRC Press, 2008. 726 p.
16. Walker G., Strathie A. Combining human factors methods with transport data recordings. *Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2014*. 2014. P. 236–245.
17. Wickens C. D., Hollands J. G. *Engineering psychology and human performance*. NJ : Prentice-Hall Inc, 2000. 540 p.

S. Y. BURIAK<sup>1\*</sup>, O. O. GOLOLOBOVA<sup>2</sup>, T. M. SERDIUK<sup>3</sup>, A. M. AFANASOV<sup>4</sup>,  
V. V. SKALKO<sup>5</sup>, K. O. YAMBURH<sup>6</sup>, D. S. BILUKHIN<sup>7</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Automatics and Telecommunications», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail ser.buryak@gmail.com, ORCID 0000-0002-8251-785x

<sup>2</sup>Dep. «Automatics and Telecommunications», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail gololobova\_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

<sup>3</sup>Dep. «Automatics and Telecommunications», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail serducheckt@gmail.com, ORCID 0000-0002-2609-4071

<sup>4</sup>Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St, 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +380 (056) 373 15 31, e-mail afanasof@ukr.net, ORCID 0000-0003-4609-2361

<sup>5</sup>Dep. «Military Training of Specialists of the State Special Transport Service», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 09, e-mail viktorska66@ukr.net, ORCID 0009-0007-0276-9955

<sup>6</sup>LLC «Majorel Polska», Aleja Generała Tadeusza Bora-Komorowskiego 25D, Kraków, Poland, 31-416, тел. +48 (886) 527 915, e-mail cosmos.ksu@gmail.com, ORCID 0000-0003-1305-5302

<sup>7</sup>Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +380 (056) 373 15 31, e-mail comandor04@gmail.com, ORCID 0000-0002-2791-617X

## The Influence of the Human Factor on Vigilance in Driving

**Purpose.** The purpose of this study is to find ways to improve the system for monitoring and controlling the human condition, which is directly involved in driving vehicles, by borrowing knowledge and achievements from the field of scientific research in matters related to determining a person's response to the action of various factors of influence, irritating factors, interaction with other people and technical means, the ability to maintain long-term ability to work, etc. **Methodology.** Since transportation requires both high professional and personal skills, it is necessary to develop and implement systems for monitoring and controlling the human condition that would meet the needs of the achievements of the modern level of technical development. To determine the factors of influence on a person, an analysis of research in this area was conducted. **Findings.** It is emphasized that each person has, firstly, his or her own peculiarities, and secondly, cannot be in two identical states at different times. Given these and other aspects, a universal approach should be developed to determine and verify a person's responsibility for making relevant decisions. The main factors influencing the driver's attention are identified. Among them, in addition to the physiological one, the psycho-emotional state takes a significant place, which also needs to be taken into account. **Originality.** The development of technology leads to new needs and provides new opportunities in almost all industries. One of these is the study of humans. The proposed approach allows us to take a broader look at the role and place of a person, his or her integration into the transportation process. **Practical value.** The analysis of the forms of influence and types of

## АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

load on different systems of human perception made it possible to outline the task of determining the ability of a person to act responsibly under the influence of significant factors.

*Keywords:* driver's vigilance; human factor; traffic safety; requirements for the driver; factors of influence on the driver

## REFERENCE

1. Baysari, M. T., McIntosh, A. S., & Wilson, J. R. (2008). Understanding the human factors contribution to rail-  
way accidents and incidents in Australia. *Accident Analysis & Prevention*, 40(5), 1750-1757.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.06.013> (in English)
2. Choi, Y. C., Kim, Y. K., & Kim, C. Y. (2002). A Study on the Detailed Classification and Empirical Analysis of  
Human Error. *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Flight Operation*, 10(1), 9-20.  
(in English)
3. *Common Safety Indicators EC. The European Railway Agency (ERA)*. Retrieved from <http://www.era.eu-ropa.eu/Pages/Home.aspx> (in English)
4. Doncaster, N. (2012). «By the seat of their pants» Cues and feedback used by train crew. In *Rail Human Factors  
around the World*. (pp. 484–494). Boca Raton, USA: CRC Press.  
DOI: <https://doi.org/10.1201/b12742-56> (in English)
5. Elliot, A. C., Garner, S. D., & Grimes, E. (2007). The cognitive tasks of the driver: The approach and passage  
through diverging junctions. In *People and Rail Systems: Human Factors at the Heart of the Railway*  
(pp. 115-123). Aldershot: Ashgate. (in English)
6. Gaur, D. (2005). Human factors analysis and classification system applied to civil aircraft accidents in India.  
*Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76(5), 501-505. (in English)
7. Gillis, I. (2007). Cognitive workload of train drivers. In *People and Rail Systems: Human Factors at the Heart of  
the Railway* (pp. 91-101). Aldershot: Ashgate. (in English)
8. Guha-Sapir, D. *EM-DAT: International Disaster Database*. University Catholique de Louvain-Brussels-Bel-  
gium. Retrieved from <http://www.emdat.be/database> (in English)
9. Halliday, M. W., & Porter, D. R. (1996). *SPADRAM: Driver Distraction, Human Factors Assessment*. (No. SHE  
952046). London: British Railway Board. (in English)
10. Hamilton, W. I., & Clarke, T. (2005). Driver performance modelling and its practical application to railway  
safety. *Applied Ergonomics*, 36(6), 661-670. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2005.07.005>  
(in English)
11. Hyungsik, K. (2019). Human Resources and Infrastructure System Towards «World's Best, Korean Railroad».  
*Japan Railway & Transport Review*, 54, 14-23. (in English)
12. Naweed, A. & Aitken, J. (2014). Drive a mile in my seat: Signal design from a systems perspective. *IRSE  
Australasia Technical Meeting*, 1-7. (in English)
13. Park, Y. J. (2015). A Study on the Legal Issues in the Conditions of Domestic Carriage of Passenger by Sea.  
*The Journal of Korean Maritime Law Association*, 37(2). (in English)
14. Porter, D. (1992). *A detailed task analysis of four types of train driving*. (Iss. 1). SRD, Cheshire. (in English)
15. Russell, A., & Long, S. (2008). *Rail Human Factors: Supporting reliability, safety and cost reduction*. CRC  
Press. (in English)
16. Walker, G., & Strathie, A. (2014). Combining human factors methods with transport data recordings. *Proceed-  
ings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2014*, 236-245.  
(in English)
17. Wickens, C. D., & Hollands, J. G. (2000). *Engineering psychology and human performance*. NJ: Prentice-Hall  
Inc. (in English)

Надійшла до редколегії: 23.05.2022

Прийнята до друку: 22.09.2022

# ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 330.1:167.7

В. В. МЯМЛІН<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Фінанси та економічна безпека», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (095) 770 94 93, ел. пошта vladislavmyamlin7@gmail.com, ORCID 0000-0002-8008-9097

## Сучасна парадигма соціально-економічного розвитку: якою вона має бути?

**Мета.** Основна мета статті полягає в ознайомленні наукової громадськості з результатами власних макро-економічних досліджень і з тим, яка парадигма має бути прийнята в наш час для ефективного соціально-економічного розвитку держави. **Методика.** Здійснено критичний аналіз публікацій, присвячених удосконаленню економічної теорії та переходу до нових парадигм. Під час розробки власної соціально-економічної парадигми використано методологічний підхід, згідно з яким розвиток людини і суспільства є головною метою планетарної еволюції, а економіка є лише допоміжною сферою, що забезпечує цей розвиток. Найбільш прийнятною для створення «механізму» економіки запропоновано методологію інженерної діяльності, яка давно добре зарекомендувала себе під час розробки нових технологій та обладнання у промисловості. **Результати.** В економічному співтоваристві відсутня єдина думка щодо подальшого функціонування економічної теорії та вибору нової парадигми розвитку. Усі парадигми, які ґрунтуються на «прибутковій» ідеології і які не спроможні уникнути криз, є неприйнятними. Соціально-економічною парадигмою можуть називатися лише такі наукові досягнення, які дозволять створити надійний антикризовий «механізм» макроекономіки. Парадигми гуманітарних наук повинні відрізнитися від парадигм фізичних наук тим, що мають показувати кінцеву мету, якої потрібно прагнути. **Наукова новизна.** Запропоновано абсолютно нову модель соціально-економічного розвитку держави, яка не має аналогів у світовій практиці, а на її основі – нову соціально-економічну парадигму. Описано головні принципи, які мають бути покладені в основу функціонування високоефективного «механізму» макроекономіки. Найважливіший принцип нової економічної моделі полягає у відмові від псевдонаукової категорії «прибуток», яка постійно штовхає економіку в бік криз. **Практична значимість.** Тільки в Україні впровадження цієї моделі дозволить уже на початковому етапі отримати економічний ефект – більше одного трильйона гривень на рік, а наслідки соціального ефекту можуть бути ще набагато вищими.

*Ключові слова:* економічна парадигма; економічна теорія; макроекономіка; соціально-економічний розвиток; модель високоефективної національної економіки; гуманістична економіка

### Вступ

Людство пройшло складний шлях розвитку й наблизилося до найнебезпечнішої межі свого існування. Особливо складним і суперечливим видалося минуле століття, пов'язане з екологічними катастрофами, двома світовими й величезною кількістю локальних війн, кривавими міжнародними та релігійними конфліктами, міжнародним тероризмом, фінансово-економічними кризами та іншими бідами. Велику ставку було зроблено на науково-технічний прогрес,

оскільки, на думку світової спільноти, з його допомогою можна вирішити всі нагальні проблеми. А все те, що безпосередньо стосувалося розвитку самої людської особистості – найголовнішого планетарного завдання – залишалося здебільшого лише в гаслах та деклараціях.

Сьогодні існує величезна кількість різних економічних теорій, наукових шкіл, підходів, течій, напрямів, моделей, парадигм розвитку економіки та побудови щасливого майбутнього людства, але перспективи від їхньої реальної успішної реалізації залишаються поки що досить туманними.

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Ідеї, висловлені соціологами, а згодом підхоплені економістами, про заміну «індустріального» суспільства на «постіндустріальне», діють у межах однієї й тієї ж парадигми і взагалі ніяк не стосуються питань розвитку самого суспільства та людини.

З усього накопиченого людством досвіду можна зробити однозначний висновок: без підвищення культурного та морального рівня суспільства, його гуманізації, зростання рівня свідомості людини подальший розвиток цивілізації просто неможливий.

### Мета

Основна мета статті полягає в ознайомленні наукової громадськості з результатами власних макроекономічних досліджень і з тим, яка парадигма має бути прийнята в наш час для ефективного соціально-економічного розвитку держави.

### Методика

Здійснено критичний аналіз публікацій, присвячених удосконаленню економічної теорії та переходу до нових парадигм. Під час розробки власної соціально-економічної парадигми використано методологічний підхід, згідно з яким розвиток людини і суспільства є головною метою планетарної еволюції, а економіка є лише допоміжною сферою, що забезпечує цей розвиток.

Питання заміни старої економічної парадигми, яка виявилася не в змозі вирішувати нагальні проблеми, на нову, постало вже досить давно. Під наявною економічною парадигмою розумітимемо теоретичну базу знань та спосіб мислення, що переважає в науковому співтоваристві протягом певного часу, щодо того, як необхідно вести господарську діяльність.

Розглянемо деякі думки та пропозиції різних авторів із цього питання.

Наприклад, у роботі [1] запропоновано концепцію «дослідницького суспільства». На думку автора, «нова парадигма економіки – це фактично нове формулювання основного закону економіки – закону вартості: «Вартість дорівнюватиме витратам дослідницької праці!» Отже, і майбутня історична епоха, майбутнє постінду-

стріальне суспільство – це дослідницьке суспільство. Для нього буде характерним безпрецедентне досі перенесення акценту з виробництва на дослідження».

Ретроспективний аналіз основних етапів розвитку економічної науки, починаючи від меркантилізму та закінчуючи марксизмом та маржиналізмом, подано у [2]. Про те, яка ж парадигма має бути нині, нічого не сказано.

У роботі [3] підкреслено думка, що за весь час розвитку суспільства можна виділити лише дві специфічні парадигми. Перша з них доводить, що між споживанням та виробництвом існує безпосередній зв'язок, а друга говорить про те, що цей зв'язок опосередкований. При цьому весь період розвитку людства можна поділити на три етапи. Під час першого (доіндустріального) етапу переважала перша парадигма. Час виникнення потреби в чомусь та її задоволення був мінімальним. Під час другого (індустріального) етапу мала місце друга парадигма, суть якої «полягає в опосередкованому, десинхронізованому у часі та у просторі взаємозв'язку різних технологій виробництва товарів та їх споживання конкретною людиною. Усі кризи відбувалися на піку наростання диспропорції у часі між виникненням потреби та її задоволенням». Як результат автор пропонує у зв'язку з розвитком інформаційно-комунікаційних та високих технологій, які дозволяють перейти на безпосередній зв'язок між споживанням та виробництвом, знову повернутися до першої парадигми розвитку.

У [4] вказано, що парадигма розвитку суспільства в наш час перебуває лише на початковому етапі формування. Водночас акцентовано, що це має бути «інтегральне соціально орієнтоване гуманістичне суспільство».

Автори [5] критикують шлях неоліберального капіталізму, яким пішла Україна після розпаду СРСР і який загнав її в глухий кут. Вони звертають увагу на те, що «не можна ігнорувати досвід, економічні та адміністративні методи, прийоми та інструменти, які використовувалися в економічній політиці СРСР», мотивуючи це тим, що УРСР з 1938 по 1990 рр. розвивалася випереджаючими темпами порівняно з темпами зростання світового ВВП, зокрема США. У роботі порушено проблему пошуку нової парадиг-

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

гми розвитку України як першочергового завдання, але якою має бути парадигма, не сказано.

Робота [6] містить роздуми про дві парадигми і два шляхи розвитку суспільства: ліберальний та соціалістичний. Критикуючи обидві ці парадигми, автор так і не каже, який шлях є більш привабливим. На закінчення лише зазначає, що «при виборі суспільного розвитку кожною країною необхідно враховувати історичні традиції, що склалися, і формувати необхідні умови, які забезпечують прогресивний і самобутній розвиток».

Статтю [7] присвячено еволюції парадигм економічної теорії у процесі вдосконалення людських знань. Усі відомі на сьогодні економічні доктрини та концепції автор об'єднує у дві парадигми. Першу парадигму визначає як лінійну, адитивну економіку. Другу парадигму – як нелінійну, синергетичну соціоекономіку, перехід до якої намітився із середини ХХ століття. Саме другу парадигму й потрібно використовувати як сучасну, оскільки її суть у тому, що «предметом вивчення виступають взаємодіючі інтереси в соціумі та синергетичні ефекти цієї взаємодії».

У [8] запропоновано системну парадигму на основі неосистемного підходу, суть якого полягає у відмові від теоретико-множинної основи систем та переході до образної основи систем. В якості систем запропоновано розглядати інститути, їх сукупності, процеси, проекти тощо. Цей підхід названо натурекономією. На основі цього підходу в роботі наведено можливі шляхи майбутнього дослідження, але немає жодних конкретних результатів.

Робота [9] досить жорсткій критиці піддає «економікс». Зокрема, зазначено, що «закладена в фундаменті західних підручників «економікс» маржиналістська теорія має навмисно ідеологізований характер – засіб ідеологічної та політичної боротьби в «холодній» війні». Далі автор наголошує, що «те, що сьогодні викладається у вузах, в якості або під ім'ям фундаментальної економічної теорії, складно назвати наукою в принципі, оскільки це є субстанція, яка є мішаниною демагогії та банальщини разом зі штучним зароблянням грошей для отримання матеріальної вигоди». Як висновок підкреслено, що потрібно відроджувати політичну економію, бо

тільки вона дає системне бачення економічного розвитку.

У [10] вказано на необхідність розробки нової парадигми економічної теорії, оскільки старі парадигми себе вичерпали. Автор як нову парадигму пропонує теорію економіко-технологічного розвитку, яку він називає «атомною».

У статті [12] здійснено систематизацію загальнонаукових та економічних парадигм, на основі чого зроблено висновок, що «сучасні моделі економічного розвитку повинні базуватися на парадигмі системи, що самостійно розвивається, функціонує в багатовимірному фрактальному просторі по еволюційному шляху розвитку з урахуванням ціннісних орієнтирів розумного, стійкого та інклюзивного зростання».

У [13] проаналізовано характеристики сучасної економічної парадигми та зазначено «що на сьогодні відсутня у будь-якій мірі сформульована думка щодо шляху чи хоча б напряму виведення світової економіки на новий рівень розвитку». У зв'язку з цим необхідна зміна економічної парадигми, але про те, якою вона повинна бути, нічого не сказано.

Автор роботи [22] жорстко критикує «економікс» і марксистську політекономію, називаючи їх «двома сторонами однієї й тієї ж медалі», яка, на його думку, «символізує два вчення, що вже віджили та не відповідають за основними теоретико-методологічними параметрами сучасним соціально-економічним відносинам у суспільстві». Він пропонує нову економічну парадигму, яка базується на власних дослідженнях у галузі нерівноважної економічної теорії. На його думку, першоджерелом формування прибутку є суспільний інтелект.

Неокласичну парадигму, яка привела глобальну економіку до фінансово-економічної кризи, піддано критиці в [23]. Зроблено висновок, що лише інституційний напрям економічної науки має можливість подолати проблеми світової кризи. Наведено різні гіпотетичні напрями інституціоналізму, які можуть претендувати на роль певної методології пізнання економічних процесів.

У роботі [24] зверено увагу на те, що сучасна економічна теорія спирається на парадигми, які часто конфліктують між собою. Запропоновано створити парадигму, яка б дозволила з високим ступенем обґрунтованості описувати економічні

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

процеси, пояснювати причини змін і робити прогнози. Такою парадигмою визнано «неосистемний» підхід, суть якого полягає в переході від ендогенного до екзогенного трактування системи.

Питання про перегляд наявної економічної парадигми та заміну її новою порушено у [25]. При цьому акцентовано, що «економічна парадигма, побудована на принципах неокласики А. Маршалла, не змінювалася, і лише в США використовували деякі частини кейнсіанства». Таким чином, в основі наявної економічної парадигми лежать дві альтернативні теорії: неокласична та кейнсіанство. Якою має бути нова економічна парадигма автор безпосередньо не вказує, тільки те, що вона має бути солідарною та інформаційною, а також зазначає, що під час її розробки «важливо не відходити від категорії «причинно-наслідковий зв'язок». Автор вважає, що нова економічна парадигма «повинна служити одному: створення умов для не просто виживання людства, а й забезпечення гідного життя всіх і кожного».

У [26] зроблено висновок, що неокласична парадигма показала повну неспроможність. Сформульовано ряд специфічних тверджень, які, на думку автора, мають бути покладені в основу нової економічної парадигми: інтегрованість ринків у систему управління національною економікою; демократичне управління в межах національних політичних утворень; плюралізм; право країн захищати власні інтереси; інші країни не мають права нав'язувати свої моделі та фінансові інститути; створення правила управління взаємодією національних інститутів; відмінність прав демократичних та недемократичних країн.

На думку автора роботи [27], нова економічна парадигма повинна бути цілісною та містити «попередні наукові результати економічної теорії минулих століть». Зазначено, що «сучасне економічне мислення змушене адаптуватися до різноманіття та суперечливості існуючої в реальності багатолікої, різної, динамічної та дуже складної економічної системи».

Тріумф і падіння парадигми директивно-планової економіки, яка існувала в СРСР із першої третини ХХ століття до моменту перебудови економіки на ринковий лад і яка була утворена

в рамках інституційного підходу як одна з можливих форм господарювання, описано у [28].

У роботі [29] звернено увагу на те, що пошук рішень багатьох проблем економіки, у тому числі й вихід із кризи, базується на наявній економічній парадигмі, у якій товарообмінні процеси є основним джерелом інформації про цінність результатів людської праці. Водночас існують численні позаринкові та ринкові сфери діяльності. Виходить так, що проблеми виникають в одному місці, на нижчих рівнях виробництва, а боротьба з ними відбувається в іншому місці – у сфері фінансів. На думку авторів, у центрі нової парадигми має бути один критерій – гармонізації, як інтегральний критерій усіх цілей.

### Результати

Як ми бачимо, в науковій літературі сформульовано багато думок щодо подальшого розвитку економічної теорії та розробки нової парадигми. Аналіз наведених публікацій дозволяє констатувати, що на сьогодні відсутнє чітке розуміння конкретних рішень, що ж потрібно зробити, щоб економіка могла ефективно функціонувати. Одні автори, критикуючи наявні економічні підходи, нічого не пропонують натомість, а інші несміливо і невпевнено вказують на окремі напрями, на які слід, на їхню думку, звернути увагу, оскільки в разі їх використання, можливо, будуть подолані негативні явища сучасної економіки. Нібито перехід на запропоновані нові парадигми дозволить у майбутньому знайти необхідні рішення.

Постає слушне запитання: скільки ще часу ми шукатимемо виходу з криз? Проблема криз існує давно, і за цей період було запропоновано різні парадигми, але жодна з них так і не усунула.

Усесвітньо відомий теоретик та історик науки Т. Кун [11] під парадигмою має на увазі «визнані всіма наукові досягнення, які протягом певного часу дають науковому співтовариству модель постановки проблем та їх вирішення». Чи є насправді такі парадигми в економіці? Те, що проблеми у вигляді криз існують уже не одне століття, видно і без парадигм. І те, що жодна економічна парадигма досі так і не дала методів їх вирішення, і ці проблеми продовжують існувати, також загальновідомо. Таким чином, згідно з Т. Куном, жодна з економічних парадигм, які існували досі, насправді парадигмами не

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

є. Ми вважаємо, що соціально-економічною парадигмою можуть називатися тільки такі наукові досягнення, які дозволять не тільки повністю ліквідувати кризові явища й дадуть змогу економіці ефективно розвиватися, а й представлять чітку картину майбутнього суспільства, якого вони прагнуть досягти.

Найголовніше полягає в тому, що проблеми в економіці добре всім відомі, але економічне співтовариство їх не подалало. Хороший інженер, знаючи проблему в поламаному механізмі, швидко знайде її рішення. А в «механізмі» економіки проблему усунути чомусь ніяк не виходить.

Слід зазначити, що більшість економістів як нову парадигму розглядають лише виробничий напрям, вважаючи, що нові виробничі технології, автоматизація, роботизація і кібернетизація створять умови підвищення рівня життя. Разом із тим один тільки науково-технічний прогрес, без прогресу людського та соціального, може призвести до вкрай негативних наслідків. На наше глибоке переконання, що лише якісна зміна людини зможе суттєво змінити життя суспільства. Без розвитку людини, без удосконалення людської природи тільки один науково-технічний прогрес не зможе створити високорозвинену цивілізацію. За високого розвитку техніки та технологій і низького морального розвитку суспільства між ними обов'язково виникне протиріччя, яке неминуче призведе до згубних наслідків. Тому про розвиток суспільства слід було думати ще раніше. Зараз же потрібно терміново надолужувати втрачене.

Досі немає чіткої відповіді на таке важливе запитання: економіка визначає суспільний та людський розвиток чи навпаки? У К. Маркса, наприклад, відповідь однозначна: буття визначає свідомість! Але використання ідей К. Маркса так і не допомогло побудувати «світле майбутнє». Хоча він і правильно скерував галузь економічної науки у бік її соціологізації, називаючи формацію «суспільно-економічною», але далі аналізу виробничих відносин не просунувся. К. Маркс зовсім не мав рації, кажучи про те, що «не свідомість людей визначає їхнє буття, а, навпаки, їхнє суспільне буття визначає їхню свідомість». Буття визначає свідомість лише людей із низьким рівнем розвитку, а люди з високим рівнем свідомості самі визначають буття. Чим більше буде в суспільстві високосвідомих

людей, тим легше буде вирішувати різні питання, у тому числі й економічні.

Економіку не можна розглядати окремо від суспільства. Розвиток економіки не повинен відбуватися швидше, ніж розвиток самої людини та соціуму. Науково-технічний прогрес без прогресу самої людини та суспільства загалом може спричинити тяжкі наслідки. Зараз завдяки науково-технічному прогресу створено таку величезну кількість засобів масового знищення, що навіть невеликий локальний конфлікт може призвести до загибелі всього людства.

Уявімо собі два різних типи суспільства: Суспільство «А» та Суспільство «Б». Нехай у Суспільстві «А» живуть люди жадібні, егоїстичні, які мають різні пороки та низький рівень свідомості. Їх цікавлять лише матеріальні потреби й тілесні насолоди. У цьому суспільстві панує «закон джунглів», процвітають крадіжки, казнокрадство, кримінал, проста людина є «трудовим ресурсом», «гвинтиком». Далі можемо уявити, яку модель економіки буде створено в цьому суспільстві, на яких принципах вона буде побудована, як розподілятиметься матеріальний продукт і який буде ВВП.

У Суспільстві «Б», навпаки, живуть люди добропорядні, чесні, духовні й гармонійно розвинені, які мають високий рівень свідомості. Людина тут є найвищою цінністю. Суспільство живе за принципом: «людина людині – друг, товариш та брат!» Можемо уявити, яка модель економіки буде і в цьому суспільстві, наскільки вона відрізнятиметься від економіки Суспільства «А». Сучасне суспільство перебуває десь між Суспільством «А» та Суспільством «Б».

Ми живемо в епоху нагально-елітарної моделі суспільства. Економіка при цьому є не тільки інструментом виробництва благ, вона є й інструментом їх розподілу. До того ж принципи розподілу досить «хитрі» та несправедливі. Завдання полягає в тому, щоб побудувати нове, справедливіше суспільство, у якому розвиток людини буде метою її існування. І основним завданням суспільства буде не тільки підвищення добробуту людей та задоволення їх матеріальних потреб, а передусім їх гармонійний розвиток та підвищення рівня свідомості. Інакше кажучи, необхідно підвищувати якість суспільства шляхом підвищення свідомості його громадян. І зараз, звичайно, є люди, які мають досить

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

високий рівень свідомості, але йдеться про масове підвищення свідомості.

Сучасна економічна теорія, вже з самого початку спирається на таке протиріччя, як необмежені потреби покупців та обмежені ресурси, необхідні для їх задоволення. Таким чином, суспільству заздалегідь поступає сигнал, що «всього на всіх не вистачить». На наше глибоке переконання, ця суперечність суперечністю не є. Матеріальні потреби слід просто трансформувати в духовні, які можуть бути задоволені в необмеженій кількості.

Історично так склалося, що відбулася економізація суспільства. Принципи економіки швидко проникли в інші сфери життя. Вони торкнулися освіти, медицини, мистецтва, культури, спорту, де також стали проявлятися торговельні відносини, яким чужі такі моральні поняття, як добро, добродій, справедливість, взаємовиручка. Адже суспільство лише тоді можна по-справжньому вважати високорозвиненим, коли люди стануть високодуховними та високосвідомими. Економізоване суспільство культивує в людині такі негативні якості, як жадібність, користолюбство, здирництво, срібллюбство, егоїзм тощо. Тому людина почала розвиватися не як «Людина Розумна» («Homo Sapiens»), а як «Homo Economicus» («Людина Економічна»). Побудувати матеріально-технічну базу виявилось набагато простіше, аніж побудувати високодуховне гуманістичне суспільство. Насправді, науково-технічний прогрес має сенс лише в тому випадку, коли разом із ним відбувається прогрес і самої людини. Головна мета людства – це еволюція людини. А економіка має лише цьому сприяти.

Доки існуватимуть ґрати на вікнах, замки на дверях і величезна кількість охоронців, ні про який розвиток суспільства говорити не доводиться. Навіть якщо дивитися суто з економічної точки зору, то витрати, яких може зазнати суспільство, на профілактику негативних вчинків людей набагато нижчі, ніж на усунення їх наслідків у майбутньому. Якщо існує можливість того, що можуть обманути, вкрасти, пограбувати та навіть вбити, то таке суспільство потребує серйозного оздоровлення.

З огляду на те, що науково-технічний прогрес набагато випереджає розвиток самої лю-

дини, це викликає тривожний сигнал, який необхідно враховувати.

Сучасна економічна теорія у вигляді «економікс» ніяк не сприяє соціально-економічному розвитку суспільства та людини. Її предметом є сфера індивідуального вибору «раціональним агентом» найбільш прийняттого для нього шляху використання обмежених ресурсів. Інакше кажучи, панує гасло «Купуй дешевше, продавай дорожче!». Як може допомогти таке вчення вдосконаленню суспільства та природи людини? Головне завдання сучасної економічної теорії полягає в тому, щоб, використовуючи негативні та навіть порочні якості людей, допомогти окремим суб'єктам економічної діяльності вилучити з цього якнайбільше прибутку. Справжня економічна теорія повинна сприяти прогресу, еволюції людини й суспільства, створенню високорозвиненої цивілізації, а не просуванню сумнівні теорії, що підтримують різні способи збагачення олігархічних груп і нічого в суспільстві не змінюють по суті.

За правильної організації економіки ціни на товари повинні перманентно лише знижуватися. Це має відбуватися за рахунок упровадження нових прогресивних технологій (енергозберігаючих, матеріалозберігаючих), механізації, автоматизації та кібернетизації виробництва, наукової організації праці тощо. Якщо ціни постійно зростають, то це свідчить про те, що прийняті в суспільстві принципи роботи економіки неправильні.

Частково ми чуємо, що нічого страшного в кризах немає, що після кожного спаду починається підйом. Але ж можна прийняти такі принципи функціонування господарського механізму, за яких буде постійний підйом і не буде жодних спадів. Основна мета розвитку людського суспільства полягає не в розвитку науки й техніки, не в кількості споживаних благ на душу населення, а саме в еволюції самої людини, у підвищенні рівня її свідомості.

По суті, економіку перетворили на свого роду гру з виробництва та споживання благ, у якій задіяні дві команди. Одна команда нечисленна, а інша суттєво перевищує першу, але правила гри такі, що постійно виграє нечисленна команда й основна частка благ дістається їй. Це несправедливо, і такі правила потрібно міняти.

Таким чином, наявна парадигма («основний потік») обслуговує нині центр однополярного

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

світу та працює на користь конкретних суб'єктів фінансово-економічної діяльності. Загалом «гра йде в одні ворота».

Звернімо увагу на те, що науково-технічний прогрес зачіпає в основному мікрорівень, а кризи виникають на макрорівні.

Важливу роль під час формування нової соціально-економічної парадигми можуть зіграти не тільки економісти, а й представники інженерних професій, фахівці з природознавства, соціологи, філософи. Слід звернути увагу на відмінність між інженерною діяльністю та науковою. Результатом інженерної діяльності завжди має бути працюючий об'єкт, інакше вона не має сенсу. Наукова діяльність такої мети не переслідує. У науці негативний результат – це також результат.

Вивчення наявних економічних теорій не дає достеменно зрозуміти, куди ми йдемо і що будемо. Соціально-економічна парадигма, на відміну від парадигм природознавства, обов'язково має вказувати на цілі, яких необхідно досягти. Це може бути, наприклад, парадигма побудови високоцивілізованого гармонійного та гуманного суспільства на користь усіх його членів.

Пропонована нами соціально-економічна парадигма базується на двох основних підходах – інженерно-технічному та соціально-гуманістичному, кожен із яких спирається на цілу низку відповідних принципів.

Виникає запитання: як має називатися соціально-економічна парадигма, спрямована на повне викорінення фінансово-економічних криз та всіх негативних явищ, пов'язаних із ними?

Не будемо називати цю суспільно-економічну формацію ні капіталізмом, ні соціалізмом, ні комунізмом. Адже це буде високорозвинене суспільство як у науково-технічному, так і в морально-культурному плані, основна мета якого – створення сприятливих умов для всебічного вдосконалення людини та підвищення рівня її свідомості. Це суспільство буде набагато кращим та ефективнішим, ніж у Європі та у США. Можливо, воно називатиметься «гуманізм».

Жодну економічну модель не можна назвати ефективною, якщо вона підвладна фінансово-економічним кризам. У світі сьогодні немає жодної справді ефективної економіки.

В економічній сфері для кращого розуміння бажано термінологічно розділяти теорію та

практику. Так, економічну теорію краще називати «економією», а економічну практику – «економікою».

Таким чином, «економія» в традиційному розумінні – це наука про розподіл обмеженої кількості благ між необмеженими потребами населення, що керується принципом: купити дешевше, продати дорожче. Критерієм ефективності при цьому є обсяг отриманого прибутку.

Під «економією» в запропонованій парадигмі розумітимемо науку, що сприяє створенню необхідних умов для всебічного розвитку людини та підвищення рівня її свідомості.

При цьому потрібно переходити від концепції «економічна людина» до концепції «високосвідома людина», яка розуміє, що духовне домінує над матеріальним. Цицеронівська теза про «скромний спосіб життя і високий спосіб мислення» людини стає актуальною як ніколи.

Тут доречно згадати і Сократа, який блукав давньогрецьким базаром і, дивлячись на величезну кількість товарів, які продають, вигукував: «Господи! Скільки є у світі речей, які мені зовсім не потрібні...!?».

У центрі соціально-економічної парадигми має стояти вдосконалення самої людини як головне планетарне завдання розвитку людської цивілізації.

Термін «економіка» в перекладі з давньогрецької означає «правила ведення домашнього господарства». Тому завдання полягає в тому, щоб установити такі правила, за яких суспільство та господарство розвиватимуться прискореними темпами.

На нашу думку, парадигми для природознавства та для гуманітарних наук повинні мати суттєві відмінності. Якщо фізичні науки намагаються вивчити й досягнути об'єктивну реальність такою, як вона є, то науки гуманітарні повинні знаходити шляхи, як перетворювати цей світ на краще. Якщо у фізичному світі діють незмінні закони природи, то в людському суспільстві мають діяти правила та принципи, які люди самі можуть установлювати та змінювати для поліпшення свого життя.

Основні принципи функціонування нової соціально-економічної парадигми, яку ми пропонуємо, такі:

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

- головною метою розвитку суспільства та економіки є людина;
- повна відмова від лженаукової категорії «прибуток»;
- відмова від відсотків за кредитами та депозитами;
- перехід на безготівкову систему розрахунків;
- замість усіх наявних податків застосовують лише один податок, так звану «частку держави»;
- структуру ціни визначають за іншими критеріями, ніж зараз;
- «м'яка» націоналізація вітчизняної валюти; ніхто ні в кого нічого не забирає, але всі гроші переходять державі, а підприємства та люди ними лише тимчасово користуються;
- кількість грошей у системі має залишатися постійною, а швидкість їх обігу повинна перманентно збільшуватися.

Ця соціально-економічна парадигма цілком узгоджується з тезою Аристотеля: «Благо скрізь і всюди залежить від дотримання двох умов: правильного встановлення кінцевої мети та відшукування відповідних засобів, що ведуть до кінцевої мети».

Більш детально принципи та сам механізм функціонування моделі високоефективної національної економіки представлені в роботах [14–21]. Цю модель було апробовано за допомогою імітаційного моделювання, вона показала чудові результати та повністю підтвердила правильність обраного напрямку дослідження соціально-економічної парадигми.

### Наукова новизна та практична значимість

Запропоновано абсолютно нову модель соціально-економічного розвитку держави, яка не має аналогів у світовій практиці. Тільки в Україні впровадження цієї моделі дозволить отри-

мати економічний ефект більше одного трильйона гривень на рік. Наслідки від соціального ефекту взагалі не підлягають обчисленню. У зв'язку з отриманими результатами запропоновано і нову парадигму, за допомогою якої в подальшому слід здійснювати наукові дослідження.

### Висновки

Запропоновано нову парадигму соціально-економічного розвитку «гуманізм», в основу якої поставлено людину як найбільшу у світі цінність, а еволюцію людства прийнято найголовнішим завданням планетарного масштабу. Ця концепція дозволить розвиватися людині та суспільству на базі безкризової моделі високоефективної національної економіки. На відміну від природничих та інших парадигм, які вказують лише на способи вирішення дослідницьких завдань, соціально-економічна парадигма повинна вказувати і на кінцеву мету, якої потрібно досягти. Крім того, у роботі зазначені конкретні принципи функціонування «механізму» економіки, які дозволять назавжди уникнути економічних криз та супутніх їм негативних явищ, що значно прискорить науково-технічний прогрес та підвищить рівень життя людей. Акцентовано, що рівень свідомості людей, їх моральний та культурний розвиток не повинні відставати від рівня науково-технічного прогресу, оскільки це може призвести до згубних наслідків. Запропонована економічна модель дозволить виробляти та реалізовувати велику кількість товарів і послуг, що позначиться на «долі держави» – державний бюджет стане бездефіцитним.

У свою чергу, держава повинна буде, окрім трансфертів на розвиток науки, техніки, освіти, медицини та культури, які й так будуть постійно збільшуватися, спрямовувати значні суми на фінансування заходів, пов'язаних із підвищенням моральних якостей людини та рівня її свідомості.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабайлов В. Новая парадигма экономики. *Новий Колегіум*. 2015. № 1. С. 53–57.
2. Бианкина А. О. Эволюция парадигмы экономической теории. *Экономика и социум : современные модели развития*. 2017. Том 7, № 4. С. 19–28.
3. Бондаренко В. Две парадигмы развития экономики будущего и настоящего. *Наука и инновации*. 2012. № 1 (107). С. 50–53.

## ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

4. Герман М. В. Размышления о парадигме развития современного человека и общества. *Вестник Томского государственного университета*. 2012. № 354. С. 159–162.
5. Щенко П. С., Арсеев А. Г. Новая парадигма развития экономики – настоящее велеие нашего времени. *Економіка і прогнозування*. 2011. № 1. С. 28–47.
6. Кавеев К. А. СССР и США : две парадигмы тупика общественного развития. *Управленческое консультирование*. 2018. № 7. С. 111–116. DOI: <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2018-7-111-116>
7. Кардаш В. А. О неизбежной смене парадигмы в экономической науке. *Экономический вестник Ростовского государственного университета*. 2009. Т. 7, № 1. С. 51–57.
8. Клейнер Г. Б. Системная экономика как платформа развития современной экономической теории. *Системный анализ в экономике – 2012 : материалы науч.-практ. конф.* (Москва, 27-28 ноября 2012). Москва : ЦЭМИ РАН, 2012. С. 32–43.
9. Корюк К. А. Современная парадигма экономической теории. *Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО*. 2014. № 1. С. 23–26.
10. Кривобороденко Г. П. Новая парадигма экономической теории. *Економіка та держава*. 2010. № 2. С. 34–37.
11. Кун Т. *Структура научных революций*. Москва : ООО «Издательство АСТ», 2001. 608 с.
12. Курушина Е. В. Парадигмальные основания формирования моделей экономического развития. *Теория и практика общественного развития*. 2015. № 17. С. 57–59.
13. Мамонтова Н. А. Криза сучасної економічної парадигми у формуванні механізму інноваційного розвитку. *Наукові записки. Серія «Економіка»*. 2013. Вип. 23. С. 74–77.
14. Мямлин В. В. Теория бесприбыльной альтернативной экономики как основа нового экономического мировоззрения. *Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. 2009. Вип. 26. 2009. С. 222–230.
15. Мямлін В., Мямлін С. Як Україні запустити потужний економічний «двигун»? *Світ*. 2018. № 3–4. С. 3.
16. Мямлин В. В., Мямлин С. В. Основные научные принципы создания высокоэффективного экономико-финансового «механизма» в государстве. *Независимое исследование с позиций IT-технологий: монография*. Киев-Днепр : Монолит, 2019. С. 40–58.
17. Мямлін В. В. Що потрібно змінити в економічній теорії, щоб вона стала потужним творчим інструментарієм? *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : матеріали 81 Міжн. наук.-практ. конф.* (Дніпро, 22-23 квітня 2021 р.) Дніпро, 2021. С. 274–276.
18. Мямлін В. В. Криза економіки як відображення кризи економічної теорії. *Modern research in world science. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference* (Lviv, 2-4 oct. 2022). Lviv, 2022. С. 1040–1046.
19. Мямлін В. В. Побудова високоефективної макроекономічної системи: проектний підхід. *Управління проектами: проектний підхід в сучасному менеджменті : матеріали XIII Міжн. наук.-практ. конф.* (Одеса, 20-21 жовтня 2022 р.). Одеса : ОДАБА, 2022. С. 100–105.
20. Мямлін В. В. У чому має полягати реальна ефективність соціально-економічного розвитку країни? *Modern research in world science. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference. SPC «Sci-conf.com.ua»* (Lviv, 4-6 верес. 2022). Lviv, 2022. С. 757–763.
21. Мямлін В. В. Деякі основні наукові принципи функціонування високоефективної макроекономічної системи. *The 7th International scientific and practical conference – Topical issues of modern science, society and education* (Kharkiv, 29-31 Jan., 2022). SPC – Sciconf.com.ua. Kharkiv, Ukraine. 2022. С. 1722–1728.
22. Нусратуллин В. К. О необходимости новой парадигмы в развитии экономической теории. *Теоретическая экономика*. 2014. № 5. С. 17–23.
23. Пустовіт Р. Ф. Інституціональні засади зміни економічної парадигми на сучасному етапі. *Фінансовий простір*. 2012. № 3 (7). С. 18–25.
24. Рыбачук М. А. Кризис экономической теории и системная парадигма. *Системный анализ в экономике – 2012. Секция 1. Материалы науч.-практ. конф.* (Москва, 27-28 ноября 2012 г.). Москва : ЦЭМИ РАН, 2012. С. 150–153.
25. Сажин Ю. Б. О новой экономической парадигме и не только. *Контроллинг*. 2020. № 3 (77). С. 24–33.
26. Стрижиченко К. А. Формирование новой экономической парадигмы в условиях глобального финансового кризиса. *Проблеми економіки*. 2013. № 2. С. 20–24.
27. Хайкин М. М. Эволюция экономической теории как науки: вызовы времени. *Экономические науки*. 2013. № 6-1. С. 48–53.

28. Черемисинов Г. А. Парадигма директивно-плановой экономики. *Экономическая наука современной России*. 2003. № 2. С. 71–81.
29. Шабанова Л. Б., Демидов Я. П. К вопросу выбора новой парадигмы экономики. *Дайджест-Финансы*. 2012. Т. 17, Вып. 6. С. 33–39.

V. V. MYAMLIN<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Finance and Economic Security», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (095) 770 94 93, e-mail vladislavmyamlin7@gmail.com, ORCID 0000-0002-8008-9097

## The Modern Paradigm of Socio-Economic Development: What It Should Be!

**Purpose.** The main purpose of the article is to inform the scientific community about the results of their own macroeconomic research, and about what paradigm should be adopted at the present time for the effective socio-economic development of the state. **Methodology.** A critical analysis of publications devoted to the further improvement of economic theory and the transition to new paradigms has been carried out. When developing our own socio-economic paradigm, a methodological approach was used, according to which the development of man and society is the main goal of planetary evolution, and the economy is just an auxiliary sphere that ensures this development. The most suitable methodology for the creation of an economic «mechanism» is the methodology of engineering activity, which has long proven itself well in the creation of new technologies and equipment in industry. **Findings.** There is no consensus in the economic community about the further development of economic theory and the choice of a new development paradigm. All paradigms that are based on a «profitable» ideology and cannot avoid crises are unacceptable. A socio-economic paradigm can only be called such scientific achievements that will allow creating a reliable anti-crisis macroeconomic «mechanism». Paradigms in the humanities must differ from paradigms in the physical sciences in that they must show the end goal to be pursued. **Originality.** A completely new model of the socio-economic development of the state is proposed, which has no analogues in world practice, and on its basis – a new socio-economic paradigm. The main principles that should be the basis for the functioning of a highly efficient macroeconomic «mechanism» are described. The most important principle of the new economic model is the rejection of the pseudo-scientific category of «profits» which constantly pushes the economy towards crises. **Practical value.** The introduction of this model in Ukraine alone will allow at the initial stage to obtain an economic effect of more than one trillion hryvnia per year, and the consequences of the social effect can be much greater.

**Keywords:** economic paradigm; economic theory; macroeconomics; socio-economic development; model of highly efficient national economy; humanistic economy

### REFERENCES

1. Babaylov, V. (2015). Novaya paradigma ekonomiki. *New Collegium*, 1, 53-57. (in Ukrainian)
2. Biankina, A. O. (2017). The Evolution of the Paradigm of Economic Theory. *Ekonomika i sotsium: sovremennyye modeli razvitiya*, 7(4), 19-28. (in Russian)
3. Bondarenko, V. (2012). Dve paradigmy razvitiya ekonomiki budushchego i nastoyashchego. *The Science and Innovations*, 1(107), 50-53. (in Russian)
4. German, M. V. (2012). Razmyshleniya o paradigme razvitiya sovremennogo cheloveka i obshchestva. *Tomsk State University Journal*, 354, 159-162. (in Russian)
5. Jeshhenko, P. S., & Arsejenko, A. Gh. (2011). Novaya paradigma razvitiya ekonomiki–nastoyatelnoe velenie nashego vremeni.. *Economics and forecasting*, 1, 28-47. (in Russian)
6. Kaveev, K. (2018). USSR and Contemporary USA: Two Paradigms of the Social Development Deadlock. *Administrative Consulting*, 7, 111-116. DOI: <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2018-7-111-116> (in Russian)
7. Kardash, V. A. (2009). O neizbezhnoy smene paradigmy v ekonomicheskoy nauke. *TERRA ECONOMICUS*, 7(1), 51-57. (in Russian)
8. Kleyner, G. B., & Kleyner, G. B. (2012, November). *Sistemnaya ekonomika kak platforma razvitiya sovremennoy ekonomicheskoy teorii. Sistemnyy analiz v ekonomike-2012: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (pp. 32-43). Moscow: TsEMI RAN. (in Russian)
9. Koryun, K. A. (2014). Modern Paradigm of the Economic Theory. *Economy, statistics and Informatics. Herald of UMO*, 1, 23-26. (in Russian)

10. Krivoborodenko, G. P. (2010). Novaya paradigma ekonomicheskoy teorii. *Ekonomika ta derzhava*, 2, 34-37. (in Russian)
11. Kun, T. (2001). *Struktura nauchnykh revolyutsiy*. Moscow: OOO «Izdatelstvo AST». (in Russian)
12. Kurushina, Ye. V. (2015). Paradigmalnye osnovaniya formirovaniya modeley ekonomicheskogo razvitiya. *HEORY AND PRACTICE OF SOCIAL DEVELOPMENT*, 17, 57-59. (in Russian)
13. Mamontova, N. A. (2013). Kryza suchasnoji ekonomichnoji paradyghmy u formuvanni mekhanizmu innovacijnogho rozvytku. *Scientific Notes of Ostroh Academy National University, «Economics» series*, 23, 74-77. (in Ukrainian)
14. Myamlin, V. V. (2009). Teoriya bespribylnoy alternativnoy ekonomiki kak osnova novogo ekonomicheskogo mirovozzreniya. *Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 26, 222-230. (in Russian)
15. Myamlin, V., & Miamlin, S. (2018). Jak Ukrajinu zapustyty potuzhnyj ekonomichnyj «dvyghun»? *Svit*, 3-4, 3. (in Ukrainian)
16. Myamlin, V. V., & Myamlin, S. V. (2019). Osnovnye nauchnye printsipy sozdaniya vysokoeffektivnogo ekonomiko-finansovogo «mekhanizma» v gosudarstve. *Nezavisimoe issledovanie s pozitsiy IT-tehnologiy: monog-rafiya* (pp. 40-58). Kiev-Dnepr: Monolit. (in Russian)
17. Myamlin, V. V. (2021, April). Shho potribno zminyty v ekonomichnij teorii, shhob vona stala potuzhnyim tvorchym instrumentarijem? In *81 International Scientific and Practical Conference PROBLEMS AND PROSPECTS OF THE RAILWAY TRANSPORT DEVELOPMENT* (pp. 274-276). Dnipro, Ukraine. (in Ukraine)
18. Myamlin, V. V. (2022, October). Kryza ekonomiky jak vidobrazhennja kryzy ekonomichnoji teorii. In *Modern research in world science. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference* (pp. 1040-1046). Lviv, Ukraine. (in Ukraine)
19. Myamlin, V. V. (2022, October). Pobudova vysokoeffektivnoji makroekonomichnoji systemy: proektnyj pidkhid. In *Upravlinnja proektamy: proektnyj pidkhid v suchasnomu menedzhmenti: materialy XIII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferencija* (pp. 100-1005). Odesa: ODABA, Ukraine. (in Ukraine)
20. Miamlin, V. V. (2022, September). U chomu maje poljaghaty realjna efektyvnistj socialjno-ekonomichnogho rozvytku krajiny? In *Modern research in world science. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference. SPC «Sci-conf.com.ua»* (pp. 757-763). Lviv, Ukraine. (in Ukraine)
21. Miamlin, V. V. (2022, January). Dejaki osnovni naukovi pryncypy funkcionuvannja vysokoeffektivnoji makroekonomichnoji systemy. In *The 7th International scientific and practical conference—Topical issues of modern science, society and education. SPC «Sci-conf.com.ua»* (pp. 1722-1728). Kharkiv, Ukraine. (in Ukraine)
22. Nusratullin, V. K. (2014). O neobkhodimosti novoy paradigmy v razvitii ekonomicheskoy teorii. *Teoreticheskaya ekonomika*, 5, 17-23. (in Ukraine)
23. Pustoviyt, R. F. (2012). Institutional framework changes in economic paradigm at the present stage. *Financial space*, 3(7), 18-25. (in Ukraine)
24. Rybachuk, M. A. (2012, November). Krizis ekonomicheskoy teorii i sistemnaya paradigma. In *Sistemnyy analiz v ekonomike—Seksitiya 1. Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (pp. 150-153). Moscow: TsEMI RAN. (in Russian)
25. Sazhin, Yu. B. (2020). O novoy ekonomicheskoy paradigme i ne tolko. *Kontrolling*, 3(77), 24-33. (in Russian)
26. Strizhichenko, K. A. (2013). Formation of a new economic paradigm under conditions of the global financial crisis. *The problems of economy*, 2, 20-24. (in Russian)
27. Khaykin, M. M. (2013). Evolution of economic theory as science: the challenge of time. *Economic sciences*, 6-1, 48-53. (in Russian)
28. Cheremisinov, G. A. (2003). Paradigma direktivno-planovoy ekonomiki. *Economics of Contemporary Russia*, 2, 71-81. (in Russian)
29. Shabanova, L. B., & Demidov, Ya. P. (2012). K voprosu vybora novoy paradigmy ekonomiki. *Digest Finance*, 17(6), 33-39. (in Russian)

Надійшла до редколегії: 10.05.2022

Прийнята до друку: 16.09.2022

# ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.25.027:004.94

О. В. ЛАВРУХІН<sup>1\*</sup>, С. Р. МИРОНЕЦЬ<sup>2\*</sup>, В. А. БОГОМОЛОВ<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Управління вантажною і комерційною роботою», Український державний університет залізничного транспорту, майд. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 85, ел. пошта tilavalval@gmail.com, ORCID 0000-0003-1302-4960

<sup>2\*</sup>Каф. «Управління вантажною і комерційною роботою», Український державний університет залізничного транспорту, майд. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 85, ел. пошта sergey\_921@icloud.com, ORCID 0009-0002-7117-6575

<sup>3\*</sup>Каф. «Управління вантажною і комерційною роботою», Український державний університет залізничного транспорту, майд. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 85, ел. пошта duxa4399@gmail.com, ORCID 0009-0009-7889-3885

## Удосконалення технології управління рухом поїздів на основі абстрактного моделювання оперативних процесів

**Мета.** За основну мету роботи автори становлять удосконалення процесу керування транспортними одиницями (поїздами) на основі абстрактного моделювання оперативних процесів, що дозволить оперативному диспетчерському апарату своєчасно реагувати на поїзні стани, які постійно змінюються. **Методика.** Із метою забезпечення ритмічного та рівномірного просування поїздів усіх категорій по залізничних напрямках поїзні диспетчери на основі свого досвіду, разом із локомотивними диспетчерами та машиністами поїзних локомотивів, постійно моніторять оперативний поїзний стан і розробляють стратегію просування поїздів по залізничних дільницях. Такий підхід досить енерговитратний із точки зору використання людських ресурсів через надмірне нервово напруження. Як наслідок зазначеного недоліку й допущених помилок виникають непродуктивні простой на залізничних станціях та в деяких випадках суттєве зменшення дільничної швидкості, що у свою чергу безпосереднім чином впливає прибутковості галузі та на якість обслуговування пасажирів, у тому числі високошвидкісного руху. Основою прийняття управлінських рішень щодо оперативного поїзного стану є автоматизовані системи та особистий досвід професіоналів. У зв'язку з цим доцільно сформулювати модель, яка буде відтворювати оптимальний план поїзної роботи за допомогою прогнозування основних показників. **Результати.** У ході науково-прикладного дослідження визначено предикат колізії попутного прямування поїздів різних категорій із розділенням станційними міжпоїзними інтервалами, який у подальшому може стати основою потужного модуля системи підтримки прийняття оперативних рішень. **Наукова новизна.** У роботі запропоновано підхід до вдосконалення процесу управління транспортними одиницями на основі абстрактного моделювання оперативних процесів, що, на відміну від наявних підходів, дозволяє реалізувати швидкодіючу інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень диспетчерським апаратом залізниці з можливістю самопритосування. **Практична значимість.** Реалізація запропонованого підходу у вигляді автоматизованого програмного комплексу дозволить у подальшому підвищити прибутковості залізничної галузі в секторі вантажного й пасажирського руху.

**Ключові слова:** вантажний поїзд; пасажирські перевезення; високошвидкісний рух; абстрактне моделювання оперативних процесів

### Вступ

У сучасних умовах попри воєнний стан залізничний транспорт залишається в Україні одним з основних важелів потужної підтримки

економіки країни в секторі вантажних і пасажирських перевезень. Тому цілком слушно зазначити, що залізничний транспорт відіграє важливу роль в обороні нашої країни. Постійне його вдосконалення буде сприяти підвищенню

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

обороздатності країни в цілому. Також слід зауважити, що у зв'язку із загостренням воєнного протистояння в умовах конкурентного середовища на транспортному ринку одним із найбільш важливих факторів залучення клієнтів є стійкість роботи транспортної системи. Залізнична транспортна система та її підсистеми в цілому відповідають цій вимозі, хоча в наш час на залізниці, як і на всіх підприємствах України, спостерігається тенденція до нестабільності основних техніко-експлуатаційних показників її роботи, що негативно впливає на вимоги клієнтів щодо доставки «точно в строк». Зазначеній недолік обумовлений недосконалістю наявної системи оперативного планування та управління перевізним процесом. Існують державні програми, спрямовані саме на вдосконалення техніко-технологічного аспекту функціонування галузі. Однією з таких програм є Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту України, затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2006 р. № 651-р., яку можна вважати основним підґрунтям цієї наукової роботи.

### Мета

Основною метою цієї наукової роботи є вдосконалення технології керування транспортними одиницями (поїздами), в основу якого покладено принципи абстрактного моделювання оперативних процесів. Такий підхід у широкому сенсі дозволить оперативному диспетчерському апарату своєчасно реагувати на постійні зміни поїзного стану.

### Методика

Останні офіційні дані [2] свідчать про намічену стабілізацію перевезень і певне зростання їх обсягів за окремими регіональними філіями залізниць (рис. 1–3).

Однак слід зауважити, що разом із позитивними тенденціями, що склалося до початку повномасштабної війни, спостерігалася негативна тенденція щодо основних якісних показників. Одним із таких комплексних показників є обіг вантажного вагона (рис. 4).



Рис. 1. Динаміка зміни навантаження вагонів робочого парку у відсотках до попереднього року

Fig. 1. Dynamics of changes in the load of working fleet cars as a percentage of the previous year



Рис. 2. Динаміка зміни роботи вагонів робочого парку у відсотках до попереднього року

Fig. 2. Dynamics of changes in the operation of working fleet cars as a percentage of the previous year



Рис. 3. Динаміка зміни відправлення вантажів у відсотках до попереднього року

Fig. 3. Dynamics of changes in freight shipments as a percentage of the previous year



Рис. 4. Аналіз обігу вантажного вагона з 2005 по 2020pp

Fig. 4. Analysis of freight car turnover from 2005 to 2020

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Динаміка зміни цього показника у відсотках до попереднього року більш яскраво описує складність ситуації, що виникла в секторі ефективного використання основних транспортних засобів залізниці (рис. 5).

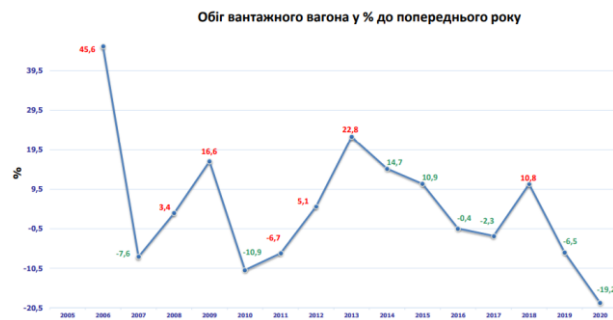


Рис. 5. Динаміка зміни часу обігу вантажного вагону у відсотках до попереднього року

Fig. 5. Changes in freight car turnaround time as a percentage of the previous year

Також слід зауважити, що офіційно опубліковані дані Укрзалізниці переконливо свідчать про погіршення щодо однієї низки показників порівняно з попередніми роками – це простій вагона на одній технічній станції, що з 2005 року збільшився на 2,75 години, тобто майже на 30 %.

Час простою вантажного вагона під однією вантажною операцією з 2005 року збільшився на 15,39 години, що становить близько 40 %.

Також у негативний бік змінився такий комплексний показник ефективності використання рухомого складу, як обіг вантажного вагона. Із 2005 року його значення змінювалося в межах 4,34 – 5,84 доби, це становить 30,72 %.

Цілком природно припустити, що за час війни ситуація погіршилася, оскільки відбувається суттєве порушення технологічного процесу перевезень, зокрема через фізичне руйнування інфраструктури. У таких умовах постає гостре невідкладне науково-прикладне завдання – удосконалення підходів до ефективного використання транспортних ресурсів для зміцнення обороноздатності країни шляхом забезпечення безперебійного прямування поїздпотоків зі всіма категоріями вантажів із дотриманням пасажирського та високошвидкісного руху.

Основною причиною погіршення певних показників є недосконалість систем планування поїзної роботи. Усі рішення приймають лише на основі досвіду людини, без виконання певних розрахунків засобами автоматизації з урахуванням вхідних даних, що постійно змінюються.

На першому етапі одним із шляхів виходу з цієї ситуації є формування автоматизованої технології оперативного планування та управління поїзною роботою залізничної станції з елементами штучного інтелекту.

Вирішення цього науково-прикладного завдання полягає у формалізації процесу визначення основних параметрів оперативного плану поїзної роботи залізничної станції з подальшим формуванням моделі, яка буде відтворювати оптимальний план поїзної роботи за допомогою прогнозування основних показників.

Реалізація зазначених заходів дозволить досягнути мінімальних відхилень прогнозу від реального виконання плану та, як наслідок, дотримання умови доставки вантажів «точно в строк».

На другому етапі доцільне широкомасштабне впровадження автоматизованих технологій оперативного управління перевізним процесом у роботу залізничних станцій, відповідно до цього необхідно проаналізувати основні здобутки провідних учених з означеного напрямку.

У [3] проведено моделювання роботи залізничних станцій на основі добового плану-графіка, але не враховано в повній мірі прогноз надходження поїздів. У статті [1] запропоновано сформувати ергатичну модель роботи залізничної станції, яка в повному обсязі описує основні процеси автоматизованого управління нею разом із тим модель практично не враховує потреби поїзних диспетчерів щодо надходження оперативної інформації про черговість пропуску поїздів по дільниці. У роботі [5] основну увагу приділено формуванню автоматизованої технології управління перевезенням вантажів на напрямку, яка надає можливість оперативному управлінському персоналу реагувати на зміну подій, але швидкість такого реагування не достатня в сучасних умовах.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Робота [7] в основному присвячена вдосконаленню технології просування зовнішнього вагонопотоку в транспортній логістиці металургійного підприємства, що значно звужує ступінь її застосування.

У роботах [4, 6, 10], поряд з удосконаленням технологічного процесу просування вантажопотоків, значну увагу приділено перевезенню небезпечних вантажів без впливу їх на пасажирський рух, що обумовлює наявність «вузьких» місць у процесі перевезень.

У подальшому дослідженні доцільно приділити увагу саме інтелектуальним підходам забезпечення гнучкості в розробці систем самонавчання, які дозволять оперативним працівникам лінійного та середнього рівня отримати потужний інструмент якісного та безпечного управління рухом поїздів.

Таким чином, у роботі [8] розглянуто формування автоматизованої системи активного моніторингу просування рухомих одиниць (АМПРО), в основу якої покладено модифікацію мови поїзних ситуацій (ЯПС) у вигляді абстрактного моделювання оперативних процесів (АМОП). Такий підхід надав можливість оперативному диспетчерському апарату ефективно регулювати рух поїздів із небезпечними вантажами. Підхід довів свою ефективність під час його апробації, тому доцільно подальші інтелектуальні моделі автоматизованої системи перевезень удосконалити саме в такий спосіб.

### Результати

Одним із важливих оперативних завдань, яке стоїть перед управлінським апаратом, є ритмічне та рівномірне просування поїздів усіх категорій по залізничних напрямках. Із цією метою поїзні диспетчери на основі свого досвіду, разом із локомотивними диспетчерами та машиністами поїзних локомотивів, постійно моніторять оперативний поїзний стан і розробляють стратегію просування поїздів по залізничних дільницях. Такий підхід досить енерговитратний із точки зору використання людських ресурсів через надмірне нервово напруження. Зазначений недолік і допущені

помилки спричиняють непродуктивні простой на залізничних станціях та в деяких випадках суттєве зменшення дільничної швидкості, що у свою чергу безпосереднім чином впливає на прибутковість галузі та якість обслуговування пасажирів, у тому числі високошвидкісного руху.

У роботі [9] зазначено, що застосування абстрактного моделювання оперативних процесів може суттєво вплинути на поліпшення якості перевізного процесу за рахунок швидкого реагування на зміну подій. Тому далі доцільно розглянути можливість застосування АМОП для оптимізації використання транспортних ресурсів. Пропонуємо застосувати контролівне продукційне правило, яке у базі даних автоматизованого комплексу можна подати у вигляді предиката колізії  $\beta_{re}(p_i, p_j, t_n)$ , що на початковому етапі буде мати вигляд:

$$\beta_{re}(p_i, p_j, t_n) \Leftrightarrow \Leftrightarrow (p_i \chi_s p_j) \tau_{(\cdot)}(t_{n-1}) \& (p_j \chi_s p_i) \tau_{(\cdot)}(t_{n+1}), (1)$$

де  $\beta_{re}$  – предикат колізії початкової поїзної ситуації на перегоні;  $p_i, p_j$  – два поїзди, що знаходяться на одному перегоні та прямують один за одним;  $\tau_{(\cdot)}(t_{n-1}), \tau_{(\cdot)}(t_{n+1})$  – моменти часу, що розмежовують поїзди під час їзди на зелене світло, тобто з розмежуванням щонайменше трьома блок-дільницями.

Поданий вираз у певному сенсі описує такий оперативний поїзний стан на дільниці, що надає оперативному диспетчерському персоналу можливість фактично перекласти керування рухом поїздів на автоматику. У широкому сенсі передбачено, що диспетчерський апарат буде виконувати контролівну та корегувальну функцію.

Слід зауважити, що оперативні обставини в лінійних залізничних підрозділах та полігонах постійно змінюються і можуть суттєво відрізнятись від планів, що були складені на зміну чи добу, а тим паче на рік. У цих умовах оперативний працівник, зокрема поїзний диспетчер, повинен прогнозувати наперед такі зміни, а в окремих випадках миттєво приймати

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

обґрунтовані рішення оперативного корегування нормативного графіка руху поїздів.

Відповідно до зазначеного стає зрозумілим, що для можливості використання запропонованого підходу доцільно застосовувати його у межах автоматизованої технології, яка дозволить в режимі реального часу забезпечити керівні заходи щодо просування транспортних одиниць (локомотиви, вагони). Для успішної реалізації будь-якої подібної системи необхідно в реальному режимі часу ідентифікувати місцезнаходження вагона або локомотива. На залізничному транспорті в наш час проходять експерименти з упровадження систем на основі застосування GPS-технологій.

Ця технологія передбачає встановлення GPS – датчиків на кожен транспортну одиницю, що надає можливість ідентифікувати її в кожний момент часу з відображенням наближених до точних координат місцезнаходження. До переваг цієї технології можна віднести оперативність надходження інформації, порівняно невисоку вартість датчиків, наявність готових технічних рішень тощо. Слід зазначити, що точність ідентифікації складає від 1 до 5 метрів. Цей факт обмежує застосування цієї системи на залізничному транспорті, оскільки міжколійна ширина коливається в межах від 4 100 мм на перегонах до 5 300 мм на станції. Тобто під час проходження поїздів по двохколіній лінії назустріч один одному вони не можуть бути точно ідентифікованими. Такі ж проблеми постають у разі ідентифікації вагонів, накопичених на сортувальних коліях.

Одним із можливих варіантів подолання зазначеної проблеми є створення системи ідентифікації рухомого складу, в основу якої буде покладено логічний та фізичний контроль місцезнаходження транспортної одиниці з подальшою автоматизованою інтелектуальною обробкою інформації й наданням раціонального керівного рішення з визначення найкращого варіанта реалізації стратегії роботи оперативного персоналу.

Наведемо приблизний опис функціонування означеної системи з виділенням технічної й технологічної частини.

Указане техніко-технологічне рішення передбачає, що на залізничній станції у вхідній і вихідній горловині буде встановлене додаткове обладнання, яке рахує кількість осей локомотивів і вагонів, які вийшли зі станції на перегін, а потім також рахує ці осі під час входження на наступну станцію або проходження блок-дільниці. Ці дані по каналах бездротового 5G-зв'язку надходять до автоматизованої системи диспетчерського управління рухом поїздів (АСДУРП), яка визначає склад поїзда (повний або неповний поїзд). Таким чином диспетчер може контролювати стан перегону або блок-дільниці. Однак для реалізації автоматизованої системи активного моніторингу цього не достатньо. Необхідно, як було зазначено вище, точно визначати місцезнаходження кожного вагона. Для цього в АСДУРП повинна бути інформація про склад поїзда та характеристику кожного вагону й локомотива, який здійснює рух. Передбачено, що дані про вагони та вантаж до АСДУРП будуть надходити з АСК ВП УЗ–Є. Також знадобиться точна інформація в режимі реального часу про швидкість поїзда, яка буде надходити по каналах бездротового 5G-зв'язку. На основі об'єднання та аналізу інформації про швидкість руху й довжину поїзда з диференціацією по кожній окремій одиниці можна визначити точну позицію рухомого складу в просторі.

Ці дані надходять по каналах 5G до автоматизованого робочого місця (АРМ) оперативного персоналу регіонального центру управління перевезеннями (РЦУП). Ця інформація є базовою для прийняття рішення щодо подальшої реалізації стратегії пропуску поїздів по дільниці. Якщо дільниця обладнана диспетчерською централізацією (ДЦ) типу КАСКАД, то диспетчер самостійно виконує дії з приготування маршруту прямування поїзда та стежить за його просуванням. У разі відсутності ДЦ поїзний диспетчер передає необхідні команди до АРМ чергового по станції по каналах 5G або АСК ВП УЗ–Є.

У зв'язку зі значною завантаженістю ДНЦ та ДСП постає проблема прийняття оперативного обґрунтованого раціонального рішення щодо пропуску поїздів по дільниці. Оперативному персоналу необхідно постійно вирішувати

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

питання пошуку раціональних варіантів виконання поїзної роботи на станції та дільниці. Такі рішення кожен працівник в основному приймає на основі власного досвіду. Слід також зауважити, що на залізницях колишнього СРСР є певні технічні особливості – одноколіїний рух із напівавтоблокуванням.

Одною з актуальних проблем пропуску поїздів по мережі регіональних філій АТ «Укрзалізниця» є наявність одноколіїних ділянок, на яких одночасне приймання або безупинний пропуск поїздів із протилежних напрямків не можливі. Ця умова продиктована умовами забезпечення безпеки руху. У цьому випадку процедура приймання та безупинного пропуску зустрічних поїздів регламентована дотриманням спеціальних станційних інтервалів. Мова йде про інтервал станційний неодноразового прибуття, який являє собою мінімальний проміжок часу від моменту прибуття поїзда на розмежувальний пункт до моменту прибуття чи прослідкування через цей пункт поїзда зустрічного напрямку.

### Наукова новизна та практична значимість

У роботі запропоновано підхід до вдосконалення процесу управління рухом поїздів на основі абстрактного моделювання оперативних процесів, що, на відміну від наявних підходів, дозволяє реалізувати швидкодіючу інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень диспетчерським апаратом залізниць із можливістю самоприспосовування. Реалізувати запропонований підхід на практиці передбачено у вигляді автоматизованого програмного комплексу, який дозволить підвищити прибутковість галузі в секторі вантажного та пасажирського руху.

### Висновки

Наступні модифікації виразу (1) дозволять у реальному режимі часу адекватно відтворювати та корегувати поїзний стан на дільниці. Подальші дослідження будуть спрямовані саме на пошук адекватних виразів реалізації штучного інтелекту, який стане суттєвою підтримкою оперативного диспетчерського апарату регіональних філій.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бобровский В. И., Козаченко Д. Н., Вернигора Р. В. Эргатические модели железнодорожных станций. *Збірник наукових праць КУЕТТ. Серія : Транспортні системи і технології*. 2004. Вип. 5. С. 80–86.
2. *Довідник основних показників роботи регіональних філій ПАТ «Українська залізниця» (2005-2020 рр.)*. Київ, 2021. 41 с.
3. Козаченко Д. М., Вернигора Р. В., Коробйова Р. Г. Програмний комплекс для імітаційного моделювання роботи залізничних станцій на основі добового плану-графіку. *Залізничний транспорт України*. 2008. Вип. 4. С. 18–20.
4. Batarlienė N., Jarašūnienė A. Analysis of the accidents and incidents occurring during the transportation of dangerous goods by railway transport. *Transport*. 2014. Vol. 29. Iss. 4. P. 395–400. DOI: <https://doi.org/10.3846/16484142.2014.983967>
5. Butko T., Kostiennikov O., Parkhomenko L., Prohorov V., Bogomazovva G. Formation of of an automated technology of cargo transportation control on the direction. *Eastern – European of journal of enterprise technologies*. 2019. Vol. 1. Iss. 3 (97). P. 6–13. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156098>
6. Drzewieniecka B., Nowak M. Safety Aspect in Carriage of Dangerous Goods by Railway Transport. *New Trends in Production Engineering*. 2018. Vol. 1. Iss. 1. P. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.2478/ntpe-2018-0004>
7. Kiriceva E. V., Gusev Ju. V. Analysis of the promotion of external railcar traffic in the transport logistics of a metallurgical enterprise. *Modern of engineering and innovative technologies*. 2019. Iss. 8. P. 79–85. DOI: <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2019-08-01-015>
8. Lavrukhin O., Kovalov A., Schevcenko V., Kyman A., Kulova D. Creating a complex criterion for accident consequence assessment in connection with the carriage of dangerous goods by rail. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2. Iss. 3 (98). P. 25–31. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205862>

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

9. Lavrukhin O., Kovalov A., Kulova D., Panchenko A. Formation of a model for the rational placement of cars with dangerous goods in a freight train. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 149. P. 28–35.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.103>
10. Medvedev V., Oshchepkov Z., Bogomolova E., Bogomolov V. Dangerous zone during transportation of dangerous goods. *E3S Web of Conferences*. (2019). Vol. 138. P. 1–9.  
DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913802019>

O. V. LAVRUKHIN<sup>1\*</sup>, S. R. MYRONETS<sup>2\*</sup>, V. O. BOHOMOLOV<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Cargo and commercial work management», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 10 85, e-mail [tilavalval@gmail.com](mailto:tilavalval@gmail.com), ORCID 0000-0003-1302-4960

<sup>2\*</sup>Dep. «Cargo and commercial work management», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 10 85, e-mail [sergey\\_921@icloud.com](mailto:sergey_921@icloud.com), ORCID 0009-0002-7117-6575

<sup>3\*</sup>Dep. «Cargo and commercial work management», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 10 85, e-mail [dycha4399@gmail.com](mailto:dycha4399@gmail.com), ORCID 0009-0009-7889-3885

## Improvement of Train Traffic Control Technology Based on Abstract Modelling of Operational Processes

**Purpose.** The main goal of the work is to improve the process of controlling transport units (trains) on the basis of abstract modelling of operational processes, which will allow the operational dispatching apparatus to respond in a timely manner to constantly changing train conditions. **Methodology.** In order to ensure the rhythmic and uniform movement of trains of all categories along railway lines, train dispatchers, based on their experience, together with locomotive dispatchers and train locomotive drivers, constantly monitor the operational train condition and develop a strategy for the movement of trains along railway sections. This approach is quite energy-consuming in terms of human resources due to excessive nervous tension. As a result of this shortcoming and mistakes made, there are unproductive downtime at railway stations and, in some cases, a significant reduction in sectional speed, which in turn directly affects the industry's profitability and the quality of passenger service, including high-speed traffic. The basis for making management decisions on operational train conditions is automated systems and personal experience of professionals. In this regard, it is advisable to form a model that will reproduce the optimal train operation plan by predicting the main indicators. **Findings.** In the course of the scientific and applied research, the predictor of collision of trains of different categories with station and inter-train intervals was determined, which can later become the basis of a powerful module of the operational decision support system. **Originality.** The paper proposes an approach to improving the process of managing transport units based on abstract modelling of operational processes, which, unlike existing approaches, allows the implementation of a high-speed intelligent decision support system for railway dispatching with the possibility of self-adaptation. **Practical value.** The implementation of the proposed approach in the form of an automated software system will further increase the profitability of the railway industry in the freight and passenger traffic sector.

*Keywords:* freight train; passenger traffic; high-speed traffic; abstract modelling of operational processes

### REFERENCES

1. Bobrovsky, V. Y., Kozachenko, D. N., & Vernyhora, R. V. (2004). Ergatic Models of Railway Stations. *Collection of Scientific Papers of the State University of Infrastructure and Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine: Series «Transport Systems and Technologies»*, 5, 80-86. (in Ukrainian)
2. *Dovidnyk osnovnykh pokaznykiv roboty rehionalnykh filii PAT «Ukrainska zaliznytsia» (2005-2020 rr.)*. (2021). Kyiv. (in Ukrainian)
3. Kozachenko, D. M., Vernyhora, R. V., & Korobyova, R. G. (2008). The Software Package for Simulation of Railway Stations Based on Plan-Schedule. *Zaliznychnyi transport Ukrainy*, 4, 18-20. (in Ukrainian)
4. Batarlienė, N., & Jarašūnienė, A. (2014). Analysis of the accidents and incidents occurring during the transportation of dangerous goods by railway transport. *Transport*, 29(4), 395-400.  
DOI: <https://doi.org/10.3846/16484142.2014.983967> (in English)

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

5. Butko, T., Kostiennikov, O., Parkhomenko, L., Prohorov, V., & Bogomazowva, G. (2019). Formation of of an automated technology of cargo transportation control on the direction. *Eastern – European of journal of enterprise technologies*, 1(3(97)), 6-13. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156098> (in English)
6. Drzewieniecka, B., & Nowak, M. (2018). Safety Aspect in Carriage of Dangerous Goods by Railway Transport. *New Trends in Production Engineering*, 1(1), 35-41. DOI: <https://doi.org/10.2478/ntpe-2018-0004> (in English)
7. Kiriceva, E. V., & Gusev, Ju. V. (2019). Analysis of the promotion of external railcar traffic in the transport logistics of a metallurgical enterprise. *Modern of engineering and innovative technologies*, 8, 79-85. DOI: <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2019-08-01-015> (in Russian)
8. Lavrukhin, O., Vernyhora, R., Schevcenko, V., Kyman, A., Shulika, O., Kulova, D., & Kim, K. (2020). Forming an automated technology to actively monitor the transportation of dangerous cargoes by railroad. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(3(105)), 78-85. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205862> (in English)
9. Lavrukhin, O., Kovalov, A., Kulova, D., & Panchenko, A. (2019). Formation of a model for the rational placement of cars with dangerous goods in a freight train. *Procedia Computer Science*, 149, 28-35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.103> (in English)
10. Lavrukhin, O., Kovalov, A., Kulova, D., Panchenko, A. (2019). Formation of a model for the rational placement of cars with dangerous goods in a freight train. *Procedia Computer Science*, 149, 28–35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.103> (in English)
11. Medvedev, V., Oshchepkov, Z., Bogomolova, E., & Bogomolov, V. (2019). Dangerous zone during transportation of dangerous goods. *E3S Web of Conferences*, 138, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913802019> (in English)

Надійшла до редколегії: 22.08.2022

Прийнята до друку: 23.12.2022

# ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

УДК 004.032.26

В. В. СКАЛОЗУБ<sup>1\*</sup>, В. М. ГОРЯЧКІН<sup>2\*</sup>, І. В. КЛИМЕНКО<sup>3\*</sup>, І. А. ТЕРЛЕЦЬКИЙ<sup>4\*</sup>,  
А. П. ТЕРЛЕНКО<sup>5\*</sup>

1\*Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта skalozub.vl.v@gmail.com, ORCID 0000-0002-1941-4751

2\*Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта vgora@ukr.net, ORCID 0000-0002-8952-952X

3\*Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта i.v.klymenko@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-5149-3974

4\*Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта igor.terletsy.96@gmail.com, ORCID 0000-0001-9187-3955

5\*Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта olt1@i.ua, ORCID 0000-0003-4728-9537

## Дослідження процедур мережі хеммінга для управління сервісними системами при неточно визначених і природомовних даних

**Мета.** Моделі та методи, а також програмні засоби щодо завдань планування потоків замовлень систем обслуговування, або сервісних систем (С&С), мають досить велике поширення. Завдання з розвитку процедур класифікації та управління С&С на основі моделі асоціативної пам'яті нейронної мережі Хеммінга (МХ) за неточно визначених характеристик даних сьогодні є актуальним, має теоретичне та практичне значення. Основна мета роботи – розвиток та дослідження математичних моделей процедур мережі Хеммінга для С&С за неточно визначених та природномовних характеристик даних, порівняльний аналіз моделей нечітких множин і коефіцієнтів упевненості CF. **Методика.** У роботі використано модифікацію процедур нейронної мережі Хеммінга та числові експериментальні дослідження порівняльних можливостей застосування як моделей первинних даних нечітких множин  $\mu_X (X \rightarrow [0; 1])$ , а також експертних показників достовірності, коефіцієнтів впевненості CF(A) з множини  $[-1; +1]$ . **Результати.** Виконано формування та дослідження вдосконалених моделей нейронних мереж Хеммінга, призначених для процедур класифікації в С&С за неточно визначених та природномовних характеристик даних. **Наукова новизна.** Уперше для завдань класифікації та управління С&С досліджено порівняльні можливості використання нечітких величин (НВ), а також коефіцієнтів упевненості CF як моделей для представлення властивостей неповних і неточно визначених даних, а також даних у природномовній формі. При цьому встановлено переваги моделі коефіцієнтів впевненості CF та сформовано відповідні процедури класифікації та управління С&С. **Практична значимість.** Розроблені у статті моделі та процедури класифікації властивостей багатопараметричних об'єктів С&С на основі модифікованих нейронних мереж Хеммінга дозволяють ефективно вирішувати широке коло завдань сфери управління С&С за невизначеності та неповноті первинних даних.

**Ключові слова:** сервісні системи; умови невизначеності; процедури класифікації; нейронні мережі Хеммінга; нечіткі величини; коефіцієнти впевненості CF(A); природномовні дані

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

**Вступ**

Завдання з аналізу, планування та оптимізації потоків замовлень у сервісних (обслуговуваних) системах (С&С) виникає у багатьох технологіях і виробництвах, є змістовним та досить поширеним [1, 4, 12, 14, 17, 18, 20]. Для забезпечення аналітичної підтримки та ефектної реалізації завдань функціонування багатьох складних технологій, процесів і різноманітних С&С необхідно застосовувати засоби та процедури щодо визначення значень параметрів і встановлення їх поточних станів. Такі оцінки часто є ключовими для раціонального та оптимального планування. Разом із тим складність інформаційних, технологічних та інших процесів часто впливає на можливість отримати достовірні дані про характеристики середовища тощо. Крім того, певні процеси можуть мати велику кількість компонентів із різними властивостями, характеристики яких також відомі неточно або мають природномовну форму [6, 7, 18, 20–22]. Для забезпечення при цьому ефективного вибору керувань із числа передбачених шаблонів дій можна застосувати методи інтелектуальних систем, у нас – процедури класифікації характеристик за неточно визначеними даними [7, 11, 15–17, 19, 20]. Цілісьове призначення процедур полягає у визначенні класу, який показує найкращого виконавця або дію. Аналіз публікацій свідчить, що сьогодні завдання з розвитку та розробки таких процедур класифікації за неповних і неточно визначених даних досить поширені та становлять значний інтерес [7, 15, 17].

Завдання щодо розвитку інтелектуальних процедур (ІП) класифікації на основі моделі асоціативної пам'яті нейронної мережі Хеммінга (МХ) [15, 16], а також на основі багатьох моделей її узагальнення за неточно визначених характеристик даних змістовно залежать від сфери та вимог застосування. Вони не передбачають універсалізму структури моделей та засобів із визначення класів для вхідних об'єктів. У статті розглянуто завдання, яке полягає у виборі моделей та засобів мережі Хеммінга для планування (управління процесами на основі вибору класу вхідних об'єктів) у сервісних системах. За математичні моделі, використані для представлення середовища С&С, обрано нечіткі множини [1, 2, 4, 23] та коефіцієнти

впевненості CF [11, 13, 19]. Виконано порівняльний аналіз цих моделей, призначений для застосування процедур класифікації в С&С за неточно визначеними даними.

Класичні МХ дозволяють виконувати класифікацію об'єктів за збурених або неповних даних, якщо властивості елементів потоків замовлень можна оцінити значеннями з множини  $\{-1; +1\}$  [5, 11, 16]. У складних системах, зокрема в С&С, часто певні параметри первинних даних мають неточно визначені характеристики, інтерпретація яких значеннями з множини  $\{-1; +1\}$  становить певну проблему. У статті виконано дослідження можливості формування ознак елементів первинних даних об'єктів С&С на основі інших більш потужних множин значень, що відповідають різним моделям представлення неточності [2, 11]. Разом із тим передбачено застосування мінімально модифікованих процедур моделі мереж Хеммінга, які забезпечують достовірну класифікацію елементів первинних даних. У роботі достовірність результатів порівняльного аналізу моделей невизначеності забезпечено широким колом та узагальненнями числових експериментів.

**Мета**

Основна мета роботи полягає в розвитку математичних моделей процедур класифікації мережі Хеммінга (МХ) для неточно визначених та природномовних характеристик даних (далі МХН) [5, 22]. При цьому потрібно дослідити порівняльні можливості та встановити особливості використання як моделей первинних даних нечітких множин [22, 23]  $\mu_X (X \rightarrow [0; 1])$ , а також показників достовірності коефіцієнтів упевненості CF(A) з множини  $[-1; +1]$  [11, 14, 19], призначених для завдань управління сервісними системами.

**Методика**

Проведемо аналіз публікацій, спрямований на визначення поточного стану наукових досліджень щодо можливостей і розвитку процедур класифікації за неповних та неточно визначених даних, а також за умов використання природномовних даних [6, 19]. Водночас визначимо можливості застосування відомих процедур, які виконують класифікацію за неточно визна-

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

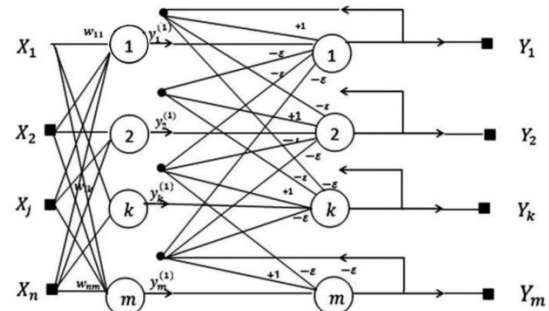
чених характеристик первинних даних, тобто відповідають завданням моделей МХН. Зокрема, потрібно дослідити використання як моделей первинних даних МХН нечітких множин  $\mu_X (X \rightarrow [0; 1])$ , а також експертних показників достовірності, коефіцієнтів упевненості  $CF(A)$  [11, 19], які набувають значення із множини  $[-1; +1]$ .

Можливості застосування методів класифікації під час досліджень природномовних текстів із метою встановлення їх авторства на основі значної кількості отриманих характеристик текстів наведено в [7, 21, 22]. Для визначення авторства тексту в роботах використано теорію розпізнавання образів, зокрема метод класифікації за мінімумом відстані до еталону. Метод заснований на існуванні певної кількості класів образів  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$ , кожен із яких асоціюється з конкретним автором, та образом  $X_1$  тексту, авторство якого необхідно встановити. Результати досліджень указують на можливість певних наборів отриманих характеристик відображати особливості авторського стилю. Для кожного автора комбінація таких характеристик буде своя, що значно ускладнює вирішення завдання. Однак різноманітність показників, труднощі, пов'язані з остаточним визначенням параметрів мовлення певного автора, указують на доцільність використання методів для роботи з нечіткими даними. Нечіткість буде пов'язана не лише з різноманітністю та розвитком мовлення певного автора, а й з особливостями написання конкретного тексту – його тематикою, часовим проміжком, обраним автором, та використаними художніми засобами. Використання методів класифікації за неповними та неточно визначеними даними під час досліджень природномовних текстів є ще одним напрямом застосування вдосконалених моделей Хеммінга.

Моделі та методи, а також програмні засоби для завдань планування й управління на основі процедур класифікації та кластеризації за неточно визначених даних мають досить велике поширення. Цим питанням присвячено багато наукових досліджень [22]. Питання кластерного аналізу на основі нечітких моделей досліджено у [23]; у [2] подано загальну характеристику нечітких моделей прийняття рішень. Приклади застосування нечітких моделей у завданнях класифікації, які відповідають сфері

класифікації в разі врахування неточно відомих даних, наведено в роботі [7]. Завдання щодо моделювання й застосування метрик Евкліда та Хеммінга в системах реального режиму часу наведено в роботі [15]. Моделі, методи й технології, призначені для застосування нейронної мережі Хеммінга для контролю якості та відновлення некоректних атрибутів метаданих із заголовків сейсмічних файлів, досліджено в роботі [8].

Дослідження методів інтелектуального аналізу бібліографічних описів та розробки програмної системи для природномовного аналізу списку літератури наведено в [5]. Розробку пошукової системи на основі нечіткої логіки описано у статті [4]. У роботі [1] запропоновано використання відстані Хеммінга для оцінювання рівня економічної безпеки складних економічних систем. Алгоритми оцінювання нечіткої експертної інформації наведено в [9].



Вхід 1-ий шар (1) 2-ий шар (2) Вихід (3)

Рис. 1. Схема нейронної мережі Хеммінга

Fig. 1. Diagram of the Hamming neural network

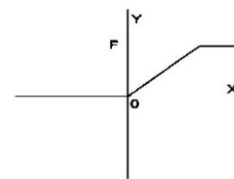


Рис. 2. Функція активації мережі Хеммінга

Fig. 2. Hamming network activation function

Моделі асоціативної пам'яті Хеммінга, які дозволяють класифікувати поточні ситуації процесів формування рішень, використано в [5]. У цих моделях кожному класу визначених станів (з урахуванням неповноти та збурення

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

даних) відповідає один або кілька раціональних операторів дії (керування) із числа можливих.

Суттєва відмінність та новизна [5, 22] полягала в застосуванні інтелектуальних процедур управління. Для зменшення перебору варіантів із числа можливих використано інтелектуальну процедуру класифікації на основі моделі асоціативної пам'яті Хеммінга [15]. При цьому кожному класу станів (з урахуванням неповноти та збурення даних) відповідає один або кілька раціональних операторів.

Нейронні мережі Хопфілда [15] та Хеммінга (схема – рис. 1), функція активації (рис. 2) запам'ятовують  $k$  шаблонів –  $n$  вимірних векторів  $\{x_i (i=0, 1, n-1), x_i^k - i\text{-ий элемент } k\text{-ого зразка}\}$ , які дорівнюють  $\{-1, +1\}$ ; коефіцієнти:

$$W_{ik} = \frac{x_i^k}{2}, i=0\dots n-1, k=0\dots m-1.$$

Вагові коефіцієнти гальмівних (зворотних) синапсів 2-го шару беруть з  $0 < \varepsilon < 1/m$ . Синапс нейрона, що зв'язаний з аксоном, має вагу +1.

Алгоритм функціонування МХ такий:

1. На вхід мережі подають невідомий вектор  $X = \{x_i; i=0\dots n-1\}$  з елементами  $\{-1, +1\}$ , за яким знаходять стани нейронів 1-го шару (рис. 1):

$$y_j^{(1)} = s_j^{(1)} = \sum_{i=0}^{n-1} w_{ij} x_i + T_j, j=0\dots m-1, \quad (1)$$

за ними ініціалізують значення аксонів 2-го шару

$$y_j^{(2)} = y_j^{(1)}, j=0\dots m-1.$$

2. Обчислюють нові стани нейронів 2-го шару:

$$s_j^{(2)}(p+1) = y_j^{(2)}(p) - \varepsilon \sum_{k=0}^{m-1} y_k^{(2)}(p), k \neq j, \\ j=0\dots m-1, \quad (2)$$

а також значення їх аксонів:

$$y_j^{(2)}(p+1) = f[s_j^{(2)}(p+1)], j=0\dots m-1. \quad (3)$$

Активційна функція  $f$  [\*] показана на рис. 2, у ній величина  $y=f$  має бути досить великою.

3. Перевіряють зміни виходів нейронів 2-го шару за останню ітерацію. Якщо вони були, – переходять до кроку 2. Інакше – кінець.

В МХ порівнюють вихід кожного нейрона ( $k$ -ого зразка) з (майже) середнім значенням усіх інших. За рахунок цього визначають найближчий шаблон від вхідного вектора. Збіжність і стійкість ітераційного процесу доведено (достатні умови) для мережі Хопфілда [15] за вимог, що реалізуються на практиці. Модель МХ має такі самі властивості щодо умов отримання рішень. Значимо, що структуру кодів вхідного вектора та зразків не враховують на повторних етапах процедури (2) – (3). Для коректного застосування процедури МХ у випадку інших вхідних векторів ніж  $\{x_i; i=0\dots n-1\}$  з елементами множини  $\{-1, +1\}$ , необхідно розробити формальні моделі переходу від прийнятих моделей відображення первинних невизначених даних до формату МХ ( $\{x_i; i=0\dots n-1\}, \{-1, +1\}$ ). Нижче розроблено моделі кодування для різних типів недетермінованих та слабоструктурованих даних, неточно визначених даних.

Для розвитку інтелектуальних процедур С&С та забезпечення переходу до реалізації класифікації за неточно визначених характеристик даних (модель МХН) необхідно вирішити такі завдання:

1) встановити головні ознаки неточно визначених даних С&С, які потрібно забезпечити у моделях МХ (у роботі розглянуто моделі даних, які забезпечують відображення змісту позитивних, негативних тверджень і відсутність свідчень про характеристики потоку);

2) удосконалити математичні моделі вхідних даних потоків С&С для процедур оптимізації на основі класифікації за МХН;

3) виконати комплекс досліджень, які забезпечують теоретичний та практичний базис формування МХН, а саме:

– запропонувати нові постановки С&С щодо завдань класифікації за неточно визначених та природномовних даних;

– розробити програмні засоби класифікації компонентів на основі модифікованих процедур МХН;

– провести всебічний числовий експеримент для підтвердження достовірності та визначення порівняльної ефективності запропонованих моделей і методів МХН;

– отримати рекомендації щодо застосування МХН за неточно визначених характеристик да-

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

них, які враховують різні форми моделей вихідних даних (у цій роботі – нечіткі множини (НМ), коефіцієнти впевненості  $CF(A)$ ).

## Результати

У більшості практичних ситуацій значення характеристик «поточного стану» С&С, набори вхідних параметрів, представлених засобами визначеної моделі, можуть не збігатися з жодним із визначених шаблонів МХ. У цьому випадку все ж можливо в рамках моделі конкретної системи керування виконувати дії, наприклад, виконувати той шаблон, що найбільш наближений до параметрів моделі поточного стану. Пошук такого шаблону (класу) виконує МХ за умов неповноти та збурених даних, які використовують для вибору керування.

Постановки завдань класифікації елементів потоків С&С з неточно визначеними та природномовними даними.

Завдання категорії 1: вибір найбільш придатного фахівця-тестувальника для виконання робіт, що надходять до системи. Завдання та найбільш придатний виконавець для них мають такі характеристики:

1) пріоритет задачі; 2) складність задачі; 3) потрібні навички web тестування; 4) потрібні навички АРІ-тестування; 5) потрібні тестування мобільних додатків; 6) досвід виконавця; 7) потрібне знання структури проекту; 8) завантаженість виконавця; 9) навички web-тестування; 10) навички АРІ-тестування; 11) навички тестування мобільних додатків.

Шаблони визначають властивості задач:  $K1$  – задача найвищого пріоритет, складністю вище середнього;  $K2$  – високий пріоритет, середня складність;  $K3$  – середній пріоритет, але висока складність;  $K4$  – найнижчий пріоритет, низька складність.

Завдання моделі МХН – на основі індивідуальних ознак виконавця, заданих у форматі ( $X1, \dots, X11$ ), встановити відповідний шаблон з  $K1$ – $K4$  (табл. 1).

Завдання категорії 2: визначення місця паркування. Розглянемо С&С, у якій вирішимо завдання з вибору місця паркування, що найбільш підходить для деякого транспортного засобу. Паркінг і транспортні засоби (ТЗ) мають такі нечіткі характеристики: 1) близькість паркінгу до замовника; 2) ціна паркування; 3) наявність

вільних місць; 4) максимальна висота ТЗ; 5) максимальна ширина; 6) наявність зарядки для електрокарів; 7) наявність доступу для людей з обмеженими можливостями; 8) висота ТЗ; 9) ширина ТЗ; 10) чи є ТЗ електрокаром; 11) чи має водій обмежені можливості.

Таблиця 1

Шаблони для завдань  $K1$ – $K4$  щодо вибору виконавця

Table 1

Templates for tasks  $K1$ – $K4$  on the selection of a performer

	$X1$	$X2$	$X3$	$X4$	$X5$	$X6$
$K1$	1	0,7	1	0,3	0	1
$K2$	0,7	0,5	0,8	0,3	0	1
$K3$	0,4	0,9	0,4	0	0,8	1
$K4$	0,1	0,2	0	0,8	0	0
	$X7$	$X8$	$X9$	$X10$	$X11$	
$K1$	0,8	0,4	0,8	0,7	0	
$K2$	0,4	0,7	0,6	0,3	0	
$K3$	0,6	0,5	0,3	0	0,6	
$K4$	0,4	0,6	0	0,5	0	

Таблиця 2

Шаблони для завдань  $K1$ – $K4$  щодо вибору місця паркування

Table 2

Templates for tasks  $K1$ – $K4$  on choosing a parking space

	$X1$	$X2$	$X3$	$X4$	$X5$	$X6$
$K1$	0,8	0,7	0,2	0,4	0,5	1
$K2$	0,4	0,3	0,6	0,8	0,9	1
$K3$	0,6	0,5	0,1	0,6	0,5	1
$K4$	0,2	0,1	0,9	0,7	0,8	0
	$X7$	$X8$	$X9$	$X10$	$X11$	
$K1$	1	0,4	0,4	1	1	
$K2$	0	0,7	0,7	1	0	
$K3$	1	0,5	0,5	0	1	
$K4$	0	0,6	0,7	0	0	

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Шаблони позначають:

$K1$  – паркінг найближчий до замовника;  $K2$  – паркінг знаходиться на середній дальності;  $K3$  – паркінг знаходиться на середній дальності від замовника, має середню ціну;  $K4$  – паркінг знаходиться далеко від замовника, але має низьку ціну.

Завдання моделі МХН – на основі ознак  $T3$ , заданих у форматі  $(X1, \dots, X11)$ , встановити відповідний шаблон з множини  $K1$ – $K4$  (табл. 2).

Завдання категорії 3: визначити застосування методу класифікації даних МХН для дослідження природномовних текстів, із метою подальшого встановлення їх авторства. На основі роботи [А] характеристиками стилю мовлення певного твору та стилю мовлення автора є такі:  $X1$  – рекурентність;  $X2$  – детермінізм;  $X3$  – середня довжина діагональних ліній;  $X4$  – дивергенція;  $X5$  – ентропія;  $X6$  – замирання. На підставі цього можна сформулювати таблиці шаблонів, призначені для зазначених авторів:  $K1$  – Іван Багряний;  $K2$  – Остап Вишня;  $K3$  – Марко Вовчок;  $K4$  – Олександр Довженко;  $K5$  – Михайло Коцюбинський;  $K6$  – Григорій Квітка-Основ'яненко;  $K7$  – Панас Мирний (табл. 3).

Таблиця 3

**Шаблони для завдань  $K1$ – $K7$  щодо встановлення авторства**

Table 3

**Templates for tasks  $K1$ – $K7$  on attribution**

	$X1$	$X2$	$X3$	$X4$	$X5$	$X6$
$K1$	0,3	0,1	0,2	0,4	0,7	0,2
$K2$	0,4	0,4	0,4	0,1	0,7	0,3
$K3$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,8
$K4$	0,4	0,4	0,4	0,7	0,4	0,9
$K5$	0,4	0,2	0,3	0,5	0,2	0,7
$K6$	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,4
$K7$	0,5	0,2	0,4	0,6	0,1	0,8

Наведені різноманітні категорії завдань свідчать про широкі можливості та актуальність розробки моделі МХН для інтелектуальних процедур класифікації С&С.

*Розробка інтелектуальних процедур класифікації на основі нечітких моделей неточно визначених даних.* Під час формування математичних моделей вхідних даних потоків С&С на основі нечітких величин (НВ) нашою метою є не забезпечення точності подання значень параметрів, а визначення можливостей достовірної класифікації процедурами МХ та їх модифікаціями. Процедура прямого кодування зразків (шаблонів фундаментальної пам'яті) та досліджуваних вхідних векторів передбачає визначення для параметрів  $X$  ступенів належності за рахунок уведення функції  $\mu_x$ :

$$\mu_x : X \rightarrow [0;1]. \quad (4)$$

Після процедури фазифікації (4) дані з діапазону  $\mu_x$ :  $[0; 1]$  необхідно перетворити в елементи множини  $\{-1, +1\}$ . Визначимо кілька підходів до кодування. Для переходу від моделей нечітких даних (4) до коефіцієнтів впевненості  $CF(A)$  з множини  $[-1; +1]$  можна застосувати не одну, а дві нечіткі величини – окремо для позитивних  $[0; +1]$  та негативних  $[-1; 0]$  тверджень. При цьому для кожної з цих складових можна використовувати різні моделі НВ. Разом із тим вдвічі збільшиться кількість ознак, за допомогою яких формують шаблони бази знань системи класифікації. За досить значної кількості змінних у шаблонах такий підхід має обмеження.

Для перекодування будемо використовувати функції кодування. Перша функція кодування матиме вигляд:

$$x_{ci} : \{-1, \text{за } \mu_{xi} < 0,5; +1, \mu_{xi} \geq 0,5\}. \quad (5)$$

Друга функція кодування – загальнення першої:

$$x_{ci} := \{+1, \text{за } \mu_{xi} \geq h; -1 \text{ за } \mu_{xi} < 1; 0 \text{ за } 1 < \mu_{xi} < h\}. \quad (6)$$

Під час кодування (4) всі елементи нечіткої моделі у випадку класифікації відповідають моделі МХН, і вона може бути реалізована у вигляді (1) – (3). Кодування (5) є надто спрощеним, у ньому багато різних «розмитих» даних  $\mu_x$ :  $X \rightarrow [0; 1]$  отримують однакові коди. Функція кодування (6) уводить додатковий елемент у простір моделі МХН, розширює множину значень до  $\{-1, 0, +1\}$ . Величина коду

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

0 означає змістовну подібність показників у діапазоні  $1 < \mu_{xi} < h$ , будь-які значення в цій області змістовно однакові. Уведення 0 до шаблонів та кодів вхідних даних  $x_{ci}$  не повинно змінити процедури (6), (1) – (3). При цьому також залишається можливість отримати однакові коди для різних «розмитих» даних.

Кодування (5) і (6) необхідно поєднувати з метою застосування моделі МХН – виконання класифікації нечітких даних. У зв'язку з цим зауважимо, що в разі збіжності кодів для шаблонів (зразків даних класів) необхідно просто вилучити однаковий шаблон. Представлення багатьох вхідних даних одним кодом (5) або (6) показує, що всі ці значення векторів приблизно однакові. А до якого зразка вони відносяться, клас шаблону, визначить процедура (1) – (3), яка залишається змістовною з урахуванням зроблених зауважень.

*Нечіткі величини як коди.* Наступна форма застосування моделі МХН – безпосереднє використання нечітких величин у процедурах, подібних за змістом до (1) – (3), у яких арифметичні операції замінюють на їх аналоги, які використовують у теорії нечітких множин. При цьому виникає багато можливостей організації поетапного моделювання процесів функціонування мережі, стійкості та збіжності тощо. У роботі виконано реалізацію цих нечітких моделей МХН (ННМХ) шляхом числового експерименту. Прийнятність такої моделі встановлюють засобами аналізу.

Як дані зразків фундаментальної пам'яті (шаблони) та вхідні дані (зонди) використовують самі значення величин, тобто показники фазифікації (4). Зрозуміло, що при цьому багатократно розшириться множина можливих станів моделі МХН щодо МХ, відбудеться зміна інших характеристик процедур функціонування тощо. Для забезпечення можливостей такої реалізації в роботі взята найпростіша модель оперування нечіткими величинами, при цьому моделі (2) – (3) мали такий вигляд: формальне представлення операцій добутку чисел «\*» операцією «min» для нечітких множин, а операцій суми – операцією «max» відповідних нечітких множин. За таких моделей нечітких операцій отримуємо функції такого вигляду для процедур МХН:

Equation Section (Next)

$$Y_i = \frac{\max(\min(b_{10}; h_{10}); \min(c_{10}; h_{11}); \min(d_{10} * h_{12}); \min(e_{10}; h_{13}); \min(f_{10}; h_{14}); \min(g_{10}; h_{15}))}{2}; \quad (7)$$

$$S_j = j_{19} - c_8(\epsilon) *$$

$$* \max(i_{19}(s_i); k_{19}(s_k); l_{19}(s_L); m_{19}(s_M)). \quad (8)$$

Функція (7) змістовно є аналогом (2), а функція (8) відображає результат дії функції (3) в термінах зазначених нечітких операцій. У (7) значення змінних  $b_{10}, c_{10}, \dots, g_{10}$  містять значення ступенів належності нечітких величин, які утворюють зразок, а значення змінних  $h_{10}, h_{11}, \dots, h_{15}$  визначають параметри належності вхідного зонда. У рівнянні (8) відповідно до змісту (3) визначають стан  $S_j$  вихідного шару, що відповідає структурі мережі (рис. 1). При цьому змінні  $i_{19}(S_i); k_{19}(S_k); l_{19}(S_L); m_{19}(S_M)$  відповідають вихідному шару мережі, містять параметри МХН. Змінна  $c_8(\epsilon)$  містить константу, відповідно до моделі (3).

*Модель на основі відстані Хеммінга для нечітких множин.* Наведені вище форми кодування (5) – (6) неточно визначених характеристик даних як «розмитих» множин не враховують відстаней між показниками належності окремих значень. Результати [1] дають можливість побудови математичної моделі, що призводить до застосування мережі Хеммінга для нечітких представлень даних. У ній використано поняття нечіткої відстані Хеммінга, яку визначають за формулою:

$$d(A, B) = \sum_{r=1}^q |\mu_{\underline{A}}(u_r) \mu_{\underline{B}}(u_r)|, \quad (9)$$

де  $\underline{A}, \underline{B}$  – нечіткі множини на універсальній множині  $U$  потужністю  $q$ ,  $u_r \in U$ ,  $\mu_{\underline{A}}(u_r), \mu_{\underline{B}}(u_r) \in [0, 1]$ ,  $r = \overline{1, q}$  і  $0 \leq d(\underline{A}, \underline{B}) \leq q$ .

Існує інша форма метрики нечітких величин відстані Хеммінга, із додатним відхиленням між нечіткими множинами  $\underline{A}$  і  $\underline{B}$ , вигляду:

$$d^+(\underline{A}, \underline{B}) = \sum_{r=1}^q \alpha_r |\mu_{\underline{A}}(u_r) \mu_{\underline{B}}(u_r)|, \quad (10)$$

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

де  $u_r \in U$ ,  $\mu_{\underline{A}}(u_r)$ ,  $\mu_{\underline{B}}(u_r) \in [0, 1]$ ,  $r = \overline{1, q}$ , коли  $\alpha_r$  – індикатор:

$$\alpha_r = \begin{cases} 1, \mu_{\underline{A}}(u_r) \geq \mu_{\underline{B}}(u_r); \\ 0, \mu_{\underline{A}}(u_r) < \mu_{\underline{B}}(u_r). \end{cases}$$

Для вимірювання близькості нечітких векторів використаємо поняття відстані Хеммінга для нечітких множин (9) – (10). При цьому відстань Хеммінга між множинами  $A'$  та  $B'$  будемо визначати числом виду:

$$d(\dot{A}, \dot{B}) = \text{sum}(\mu_{\underline{A}}(u_r) - \mu_{\underline{B}}(u_r)), r = 1, 2, \dots, q; \quad (11)$$

$$0 \leq d(\dot{A}, \dot{B}) \leq q.$$

Для відстані Хеммінга (10) між НВ  $A'$  і  $B'$  беремо таку формулу:

$$d^+(\dot{A}, \dot{B}) = \text{sum}(\alpha_r |\mu_{\underline{A}}(u_r) - \mu_{\underline{B}}(u_r)|), r = 1, \dots, q. \quad (12)$$

У (12) індикатор  $\alpha_r$  визначаємо так:

$$\alpha_r = \begin{cases} 1, \mu_{\underline{A}}(u_r) \geq \mu_{\underline{B}}(u_r); \\ 0, \mu_{\underline{A}}(u_r) < \mu_{\underline{B}}(u_r). \end{cases}$$

Тобто (12) дозволяє розрізнити переваги показників  $\mu_{\underline{A}}(u_r)$  і  $\mu_{\underline{B}}(u_r)$ . За рахунок (12) також можна проводити кодування характеристик нечітких змінних.

Визначимо наступну процедуру перекодування нечітких показників (4) до множини значень моделі МХН  $\{-1, +1\}$ . На відміну від попередніх моделей (5) – (6) сформуємо нову процедуру представлення нечітких величин для МХН. По-перше, будемо враховувати елементи метрик (11) – (12), оцінюючи значення функцій належності, вважатимемо, що нечітка величина  $A'$  відповідає змінним зразкам (шаблонів фундаментальної пам'яті), а величина  $B'$  визначає параметри належності вхідного зонда, який необхідно класифікувати. Будемо визначати значення коду таким індикатором  $H_r$ :

$$f(|\mu_{\underline{A}}(u_r) - \mu_{\underline{B}}(u_r)|) = H_r;$$

$$H_r = \begin{cases} 1, \mu_{\underline{A}}(u_r) \leq \mu_{\underline{B}}(u_r); \\ -1, \mu_{\underline{A}}(u_r) > \mu_{\underline{B}}(u_r); \end{cases} \quad (13)$$

$$r = 1, 2, \dots, q.$$

Можливе кодування, коли  $H_r = 0$ , за  $\mu_{\underline{A}}(u_r) = \mu_{\underline{B}}(u_r)$ .

По-друге, значення кодів (13) присвоюють зразкам (шаблонам класифікації) кожного разу, коли досліджують новий вхідний зонд. Таким чином, у процедурі перекодування виду (13) виконуються як для кожного зразка, так і для вхідного зонда, тобто  $B'$ . Саме в цьому перетворенні, зміні представлення множини зразків  $\{A'\}$  відповідності до вхідних даних  $B'$  полягає особливість запропонованої процедури перекодування до форми МХН. Зрозуміло, що за таких перетворень також залишається можливість однакового представлення кодами різних нечітких величин. Разом із тим такі можливості скорочуються, і залишаються справедливим наведені вище твердження стосовно ролі кодування, яке необхідно поєднувати з метою застосування моделі МХН – виконання класифікації нечітких даних. При цьому початкові форми зразків залишаються незмінними і зберігаються в базі даних системи класифікації. Методики отримання таких нечітких представлень вхідних даних різноманітні [2, 19, 23], їх у роботі ми не розглядали.

Наведемо приклад застосування процедури (13) для зонда  $B'$  та множини шаблонів  $\{A'\}$

$$\dot{B} = (0, 7; 0, 2; 0, 4; 1; 0, 5);$$

Коди  $H_r(\dot{B}) = (1; 1; 1; 1)$ , перша умова (13);

$$\{\dot{A}\} = \{(0, 3; 0, 5; 1; 0, 2; 0, 6) / (0, 7; 0, 8; 0, 4; 1; 0, 5) / (0, 1; 0, 4; 0, 2; 0, 5; 0, 9)\};$$

$$H_r(\dot{B}) = \{(1; -1; -1; 1; -1) / (1; -1; 1; 1; 1) / (1; -1; 1; 1; -1)\}.$$

Приклад показує, що початкова нечітка модель класифікації стала стандартною для МХ. Крім того, очевидно, що зразок 2 буде мати найменшу відстань за (9) або за процедурою МХ (1) – (3).

Інший варіант кодування (13) виконують у два етапи. На першому етапі вхідні дані  $B'$  кодують відповідно до (5) – (6). На другому – за кодами  $H_r(B')$  перетворюють шаблони  $\{A'\}$  відповідно до (13).

Процедура прямого застосування даних нечітких величин у МХ. Як відзначено вище, у моделі МХ (1) – (3) структуру кодів вхідного

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

вектора та зразків не враховуються на повторних етапах (2) – (3). Як бази шаблонів тут використовують вектори оцінок показників для  $\mu_X$  ( $X \rightarrow [0; 1]$ ) кожного вхідного параметра  $\{A^i\}$ , що залишаються незмінними. Вхідні зонди також мають вектори оцінок  $\mu_X$  для всіх відповідних показників. Після закінчення її виконання, збіжності результатів розрахунків визначають один зразок (кілька нерозподілених моделлю МХ зразків), до якого віднесено вхідний зонд.

Процедури класифікації нейронних мереж Хеммінга на основі коефіцієнтів впевненості  $CF(X)$ . Біполярна схема коефіцієнтів certainty factors  $CF(A) \in [-1; 1]$  [11, 13] має вигляд:

$$CF(A, X) = \begin{cases} P(A|X) - P(A) / (1 - P(A)); \\ P(A|X) \geq P(A); \\ (P(A|X) - P(A)) / P(A); \\ P(A|X) < P(A); P(A) \notin \{0, 1\}, \end{cases} \quad (14)$$

Тут позначено:  $P(A|X)$  – умовна, а  $P(A)$  – безумовна ймовірність;  $-1$  – посилення абсолютного неправильного;  $+1$  – висновок повністю визначений;  $0$  – немає знань про деяку величину. У (14) характеристики неточних знань, оцінок ступеня впевненості кодують експертним чином. Для цього  $CF(X)$  оцінюють відповідним функціональним засобом або безпосередньо призначають, що відповідає широкому класу завдань формування баз знань (БЗ), експертних систем (ЕС) [11, 13, 19]. Застосування такої моделі (форми представлення знань) зумовлено її широким вживанням і дослідженням можливостей, а також відомими функціональними та програмними засобами реалізації. Необхідно відзначити, що моделі відображення невизначених даних у вигляді  $CF(X): X \rightarrow [-1, +1]$  показали широку універсальність і високу точність результатів функціонування експертних систем, механізми моделювання неточності даних яких базувалися на показниках  $CF(X)$ . Також область кодів  $\{-1, 0, +1\}$  входить до  $[-1, +1]$ . Позначимо модель мережі МХН із показниками  $CF(X)$  як  $CFMХН$ . Вимоги та процедури реалізації відповідають наведеним вище твердженням щодо процедури прямого застосування нечітких кодів даних для МХН.

Завдання наступного етапу нашого дослідження полягало у проведенні числового експерименту з метою визначення можливостей представлених вище моделей та процедур відображення невизначених даних щодо виконання класифікації неточно визначених даних МХН (1) – (3), з урахуванням формул (9) – (14).

Дослідження достовірності та числової ефективності інтелектуальних процедур класифікації за неточно визначеними даними. Головна мета дослідження полягала в такому: 1) з'ясувати для кожної моделі з неповністю визначеними даними можливості реалізації завдань класифікації, якщо як досліджувані вектор ознак, зонда, надходять безпосередньо шаблони; 2) визначити можливості реалізації завдань класифікації, якщо як досліджувані вектори ознак використовують вектори, які перекривають увесь діапазон зміни значень варіювання; 3) визначити порівняльну ефективність моделей кодування нечітких вхідних векторів щодо їх запропонованих варіантів; 4) перевірити класифікацію вхідних векторів для граничних значень областей можливих значень; 5) перевірити кожну модель із неповністю визначеними даними щодо можливості реалізації завдань класифікації, якщо як значення вхідних векторів використовують  $0$ , тобто невизначені параметри; 6) визначити порівняльну ефективність моделей коефіцієнтів впевненості та нечітких величин; 7) систематизувати результати досліджень.

Наведемо приклади реалізації окремих завдань.

Приклад № 1 призначений для дослідження можливостей та оцінки ефективності класичної моделі Хеммінга, але якщо під час вибору шаблонів використовують дані в діапазоні  $[-1; 1]$ . Тобто має місце модель коефіцієнтів упевненості. Сукупність шаблонів для класифікації наведена в табл. 4, а вхідний вектор – у табл. 5, який також відповідає діапазону варіювання. На вхід так само надходять дані від  $[-1; 1]$ . Табл. 6 демонструє процес пошуку шаблону. Після кожної ітерації за рахунок функції активації відсіюються непридатні шаблони (які мають від'ємний результат). Найбільш придатним шаблоном, результатом класифікації, є той, який залишається з позитивною оцінкою  $K^*S > 0$  після чергового кроку ітерації.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Таблиці розрахунків показують, що модель коефіцієнтів упевненості дозволила правильно та ефективно визначити шаблон, результат іте-

рацій – шаблон № 4, очікуваний результат – шаблон № 4.

Наступний приклад (табл. 7, 8) демонструє процедуру для даних № 2.

Таблиця 4

**Задані шаблони (класи рішень)**

Table 4

**Predefined patterns (classes of solutions)**

	X1	X2	X3	X4	X5	X6
K1	-1	0,5	-0,8	-0,6	0,5	0,8
K2	0,7	0,3	-0,3	0,4	0,9	0,1
K3	1	-0,8	-0,5	-1	0,7	-0,3
K4	-0,8	0,4	0,6	0,9	-0,6	-0,9
K5	0,5	-0,6	1	0,4	-0,9	0,5

Таблиця 5

**Вхідні дані прикладу № 1**

Table 5

**Input data for example 1**

X1	X2	X3	X4	X5	X6
-0,6	0,6	0,8	1	-0,3	-0,7

Таблиця 6

**Ітерації для даних прикладу № 1**

Table 6

**Iterations for the data of example 1**

1	S	-0,525	-0,21	-1,24	1,445	0,23
	K*S	-0,58125	-0,1875	-1,475	1,88125	0,3625
2	S	0	0	0	1,88125	0,3625
	K*S	-0,56094	-0,5609375	-0,560938	<b>1,790625</b>	-0,10781

Таблиця 7

**Вхідні дані прикладу № 2**

Table 7

**Input data for example 2**

X1	X2	X3	X4	X5	X6
0,7	-0,5	-0,8	-0,6	1	-0,1

Таблиця 8

Ітерації для даних прикладу № 2

Table 8

Iterations for data from example 2

1	S	0,235	0,615	1,415	-1,145	-0,67
	K*S	0,18125	0,65625	1,65625	-1,54375	-0,95
2	S	0,18125	0,65625	1,65625	0	0
	K*S	-0,39688	0,196875	1,446875	-0,623438	-0,62344
3	S	0	0,196875	1,446875	0	0
	K*S	-0,41094	-0,1648438	<b>1,3976563</b>	-0,410938	-0,41094

Таблиця 9

Вхідні дані прикладу № 3

Table 9

Input data for example 3

X1	X2	X3	X4	X5	X6
1	0	1	0	1	0

Таблиця 10

Ітерації для даних прикладу № 3

Table 10

Iterations for the data of example 3

1	S	-0,65	0,65	0,6	-0,4	0,3
	K*S	-0,9375	0,6875	0,625	-0,625	0,25
2	S	0	0,6875	0,625	0	0,25
	K*S	-0,39063	0,46875	0,390625	-0,390625	-0,07813
3	S	0	0,46875	0,390625	0	0
	K*S	-0,21484	0,3710938	0,2734375	-0,214844	-0,21484
6	S	0	0,2575684	0,1049805	0	0
	K*S	-0,09064	0,2313233	0,0405884	-0,090637	-0,09064
7	S	0	0,2313233	0,0405884	0	0
	K*S	-0,06798	<b>0,2211762</b>	-0,017242	-0,067978	-0,06798

Табл. 7, 8 також показують, що модель коефіцієнтів впевненості правильно та ефективно визначила шаблон № 3, який був очікуваний.

Наступний приклад № 3 (табл. 9, 10) демонструє роботу процедури за вхідних векторів із

багатьма невизначеностями значень параметрів, коли входи мають значення 0, що все ж дозволило класифікувати вхідний об'єкт та віднести його до шаблону № 2.

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

**Наукова новизна та практична значимість**

У роботі сформовано моделі з представлення багатопараметричних даних об'єктів С&С для завдань класифікації на основі мереж Хеммінга, досліджено порівняльні можливості використання нечітких величин, а також коефіцієнтів упевненості  $CF(A)$  як моделей для представлення властивостей потоків замовлень С&С за неповних і неточно визначених даних, а також даних у природномовній формі. Такі дослідження для С&С виконано вперше.

Запропоновано постановки нових завдань оптимального управління процесами функціонування С&С на основі уніфікованих процедур класифікації за неточно визначених даних, а також даних у природномовній формі.

Запропоновано кілька моделей багатопараметричних даних – моделі кодування, за допомогою яких НВ представлено значеннями  $\{-1; +1\}$ . У цих закодованих формах даних стає можливим виконувати всі процедури моделі Хеммінга [14]. Сформовано та досліджено властивості таких форм перекодування даних.

Для моделей представлення неточно визначених даних у формі коефіцієнтів упевненості  $CF(A)$  проведено дослідження, що свідчать про можливість використання процедур класифікації, які безпосередньо застосовували схеми мережі Хеммінга. Числові дослідження показали певні переваги моделі CFMXH, яка завжди забезпечувала потрібний результат класифікації, при тому що в моделі з НВ результати класифікації не завжди були однозначними.

Практичну значимість мають нові постановки завдань сфери оптимізації потоків С&С, для

реалізації яких застосовують процедури класифікації за МХН. Результати щодо переваги моделей вхідних даних у формі коефіцієнтів упевненості  $CF$  для МХН можуть бути використані для ефективної програмної реалізації завдань класифікації об'єктів С&С з неточно визначеними та природномовними параметрами.

**Висновки**

У роботі запропоновано та досліджено удосконалені моделі даних і процедури мереж Хеммінга, призначені для завдань класифікації в разі багатопараметричних неповних і неточно визначених даних об'єктів замовлень у сервісних системах, а також даних у природномовній формі. Числові дослідження показали певні переваги моделі коефіцієнтів упевненості  $CF(A)$ , яка завжди забезпечувала потрібний результат класифікації, при тому що в моделі на основі нечітких величин результати класифікації не завжди були однозначними.

Подальші дослідження необхідно спрямувати на розробку моделей класифікації С&С з неточно визначеними та природномовними даними, а також на їх застосування для вдосконалення та оптимізації технологічних процесів та систем С&С.

Доцільно розглянути питання щодо нових ознак первинних даних С&С, які необхідно забезпечити у моделях МХН.

Важливе значення має теоретичне обґрунтування щодо застосування запропонованих у статті моделей та методів МХН для забезпечення достовірності результатів класифікації.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Великоіваненко Г. І. *Оцінювання рівня економічної безпеки на підґрунті відстані Хеммінга*. 2018. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/197269753.pdf>
2. Кондратенко Н. Р., Снігур О. О. Інтервальний нечіткий кластерний аналіз для моніторингу стану артезіанської свердловини. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2017. № 43. С. 77–84. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-4-9>
3. Круліковський Б. Б., Сидор А. І., Заставний О. М., Николайчук Я. М. Методи розпізнавання багатовимірних образів у просторі Хеммінга. *Матеріали міжнародної конференції: Досвід проектування та застосування САПР в мікроелектроніці (CADSM)*. 2017. С. 195–198.
4. Леоценко С. Д., Олійник А. О., Субботін С. О., Гофман Є. О., Ільяшенко М. Б. Синтез та використання нейромережових моделей з ймовірнісним кодуванням структури. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2021. № 2. С. 93–104. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-2-10>

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

5. Скалозуб В., Горячкін В., Терлецький І. Інтелектуальні процедури упорядкування послідовностей за мовлень неоднорідними операторами формування // Транспортні системи та технології перевезень. 2021. № 22. С. 67–79. DOI: <https://doi.org/10.15802/tsst2021/247885>
6. Шинкаренко В. І., Демидович І. М. Визначення ознак авторства природномовних текстів. *Штучний інтелект*. № 3 (81). 2018. С. 27–35.
7. An J., Park Y. B. Methodology for Automatic Ontology Generation Using Database Schema Information. *Mobile Information Systems*. 2018. Vol. 2018. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/1359174>
8. Borisenko A. A. On the Structure of Multidimensional Submanifolds with Metric of Revolution in Euclidean Space. *Zurnal Matematychnoї Fiziki, Analiza, Geometrii*. 2019. Vol. 15. Iss. 2. P. 192–202. DOI: <https://doi.org/10.15407/mag15.02.192>
9. Borisova L., Dimitrov V., Nurutdinova I. Algorithm for assessing quality of fuzzy expert information. *2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*. 2017. P. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1109/ewdts.2017.8110107>
10. Cao Y., Ying M., Chen G. Retraction and generalized extension of computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. Vol. 15. Iss. 6. P. 1238–1250. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/1359174>
11. Dwiparawati W. Measurement of the best method between certainty factor and bayes theorem methods in expert system by using spss and odm applications. *Jurnal Ilmiah Informatika dan Komputer*. 2017. Vol. 22, No. 2. P. 133–144.
12. Faure E., Shvydkyi V., Lavdanskyi A., Kharin O. Methods of factorial coding of speech signals. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2019. Vol. 4. P. 186–198. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-4-18>
13. Fu L. M., Shortliffe E. H. The application of certainty factors to neural computing for rule discovery. *IEEE Transactions on Neural Networks*. 2000. Vol. 11. Iss. 3. P. 647–657. DOI: <https://doi.org/10.1109/72.846736>
14. Giarratano J., Riley G. *Expert Systems : Principles and programming*. Thomson Course Technology, 2005. 1152 p.
15. Haykin S. *Neural networks : A Comprehensive Foundation*. Prentice hall, 1999. 1103 p.
16. Hopfield J. J. Pattern recognition computation using action potential timing for stimulus representation. *Nature*. 1995. Vol. 376. P. 33–36.
17. Korb K. B., Nicholson A. E. *Bayesian Artificial Intelligence*. CRC Press, 2010. 491 p.
18. McCue C. *Data mining and predictive analysis : intelligence gathering and crime analysis*. 2nd Edition. Butterworth-Heinemann, 2015. 422 p.
19. Munandar Tb. Ai, Suherman, Sumiati. The Use of Certainty Factor with Multiple Rules for Diagnosing Internal Disease. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*. 2012. Vol. 1. Iss. 1. P. 58–63.
20. Shang Z., Li M. Feature Selection Based on Grouped Sorting. *2016 9th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)*. 2016. P. 451–454. DOI: <https://doi.org/10.1109/iscid.2016.1111>
21. Shynkarenko V. I., Demidovich I. M. Authorship Determination of Natural Language Texts by Several Classes of Indicators with Customizable Weights. *COLINS-2021 : 5th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems* (Kharkiv, April 22-23 2021). Kharkiv, Ukraine, 2021. Vol. 1. P. 832–844.
22. Skalozub V., Horiachkin V., Klymenko I. Models and intellectual technologies used for analysis and process management under uncertainty. *Access Journal – Access to Science, Business, Innovation in the Digital Economy*. 2022. Vol. 3. Iss. 2. P. 185–200. DOI: <https://doi.org/10.46656/access.2022.3.2>
23. Timm H. Fuzzy cluster analysis of classified data. *Proceedings Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference (Cat. No. 01TH8569)* (Vancouver, 25-28 July 2001). Vancouver, BC, Canada, 2001. Vol. 3. P. 1431–1436. DOI: <https://doi.org/10.1109/nafigs.2001.943759>

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

V. V. SKALOZUB<sup>1\*</sup>, V. M. HORIACHKIN<sup>2\*</sup>, I. V. KLYMENKO<sup>3\*</sup>, I. A. TERLETSKYI<sup>4\*</sup>,  
A. P. TERLENKO<sup>5\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Computer and Information Technology», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail skalozub.vl.v@gmail.com, ORCID 0000-0002-1941-4751

<sup>2\*</sup>Dep. «Computer and Information Technology», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail vgora@ukr.net, ORCID 0000-0002-8952-952X

<sup>3\*</sup>Dep. «Computer and Information Technology», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail i.v.klymenko@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-5149-3974

<sup>4\*</sup>Dep. «Computer and Information Technology», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail igor.terletskiy.96@gmail.com, ORCID 0000-0001-9187-3955

<sup>5\*</sup>Dep. «Computer and Information Technology», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail olt1@i.ua, ORCID 0000-0003-4728-9537

## Investigation of Hamming Network Procedures for Controlling Service Systems with Imprecisely Defined and Natural Language Data

**Purpose.** Models and methods, as well as software tools for the tasks of planning the flow of orders of service systems, or service systems (S&S), are quite widespread. The task of developing processes for classification and management of S&S based on the associative memory model of the Hamming neural network (HNN) with imprecisely defined data characteristics is relevant today, and has theoretical and practical significance. The main purpose of the work is to develop and study mathematical models of Hamming network procedures for S&S with imprecisely defined and natural language data characteristics, comparative analysis of fuzzy set models and CF confidence coefficients. **Methodology.** The paper uses a modification of the Hamming neural network procedures and numerical experimental studies of the comparative possibilities of using fuzzy sets  $\mu_X (X \rightarrow [0; 1])$  as models of primary data, as well as expert confidence indicators, confidence factors  $CF(A)$  from the set  $[-1; +1]$ . **Findings.** The formation and study of improved models of Hamming neural networks intended for classification procedures in S&S with imprecisely defined and natural language data characteristics is carried out. **Originality.** For the first time, the comparative possibilities of using fuzzy values (NVs) and CFs as models for representing the properties of incomplete and imprecisely defined data, as well as data in natural language form, are investigated for the tasks of classification and management of S&S. At the same time, the advantages of the CF confidence factor model are established and appropriate procedures for classifying and managing S&S are formed. **Practical value.** The models and procedures for classifying the properties of multi-parameter S&S objects based on modified Hamming neural networks developed in the article allow to effectively solve a wide range of tasks in the field of S&S management under uncertainty and incompleteness of primary data.

**Keywords:** service systems; conditions of uncertainty; classification procedures; Hamming neural networks; fuzzy values; confidence factors  $CF(A)$ ; natural data

### REFERENCES

1. Velykoivanenko, H. I. (2018). *Otsiniuvannia rivnia ekonomichnoi bezpeky na pidgrunti vidstani Khemminha*. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/197269753.pdf> (in Ukrainian)
2. Kondratenko, N. R., & Snihur, O. O. (2017). Interval fuzzy cluster analysis for artesian well state monitoring. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 4, 77-84. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-4-9> (in Ukrainian)
3. Krulikovskyy, B., Sydor, A., Zastavnyy, O., & Nykolaychuk, Y. (2017). Metody rozpiznavannia bahatovymirnykh obraziv u prostori Khemminha. In *Materialy mizhnarodnoi konferentsii: Dosvid proektuvannia ta zastosuvannia SAPR v mikroelektronitsi (CADSM)* (p.195-198). (in Ukrainian)
4. Leoshchenko, S. D., Oliinyk, A. O., Subbotin, S. A., Gofman, Ye. O., & Ilyashenko, M. B. (2021). SYNTHESIS AND USAGE OF NEURAL NETWORK MODELS WITH PROBABILISTIC STRUCTURE CODING. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2, 93-104. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-2-10> (in Ukrainian)
5. Skalozub, V., Horiachkin, V., & Terletskii, I. (2021). Intellectual procedures for ordering sequence orders by inhomogeneous forming operators. *Transport Systems and Transportation Technologies*, 22, 67-79. DOI: <https://doi.org/10.15802/tsst2021/247885> (in Ukrainian)

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

6. Shynkarenko, V. I., & Demidovich, I. M. (2018). Determination of the attributes of authorship of natural texts. *Artificial intelligence*, 3, 27-35. (in Ukrainian)
7. An, J., & Park, Y. B. (2018). Methodology for Automatic Ontology Generation Using Database Schema Information. *Mobile Information Systems*, 2018, 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/1359174> (in English)
8. Borisenko, A. A. (2019). On the Structure of Multidimensional Submanifolds with Metric of Revolution in Euclidean Space. *Zurnal Matematykoj Fiziki, Analiza, Geometrii*, 15(2), 192-202. DOI: <https://doi.org/10.15407/mag15.02.192> (in English)
9. Borisova, L, Dimitrov V, & Nurutdinova I. (2017). Algorithm for assessing quality of fuzzy expert information. *2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1109/ewdts.2017.8110107> (in English)
10. Cao, Y., Ying, M., & Chen, G. (2007). Retraction and Generalized Extension of Computing With Words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(6), 1238-1250. DOI: <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2007.896301> (in English)
11. Dwiparawati, W. (2017). Measurement of the best method between certainty factor and bayes theorem methods in expert system by using spss and odm applications. *Jurnal Ilmiah Informatika dan Komputer*, 22(2), 133-144. (in English)
12. Faure, E. V., Shvydkyi, V. V., Lavdanskyi, A. O., & Kharin, O. O. (2019). Methods of factorial coding of speech signals. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 4, 186-198. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-4-18> (in English)
13. Fu, L. M., & Shortliffe, E. H. (2000). The application of certainty factors to neural computing for rule discovery. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 11(3), 647-657. DOI: <https://doi.org/10.1109/72.846736> (in English)
14. Giarratano, J., & Riley, G. (2005). *Expert Systems: Principles and programming*. Thomson Course Technology. (in English)
15. Haykin, S. (1999). *Neural networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice hall. (in English)
16. Hopfield, J. J. (1995). Pattern recognition computation using action potential timing for stimulus representation. *Nature*, 376, 33-36. DOI: <https://doi.org/10.1038/376033a0> (in English)
17. Korb, K. B., & Nicholson, A. E. (2010). *Bayesian Artificial Intelligence*. CRC Press. (in English)
18. McCue, C. (2015). *Data Mining and Predictive Analysis: Intelligence Gathering and Crime Analysis* (Vol. 2). Butterworth-Heinemann. (in English)
19. Munandar, Tb. Ai, Suherman, & Sumiati. (2012). The Use of Certainty Factor with Multiple Rules for Diagnosing Internal Disease. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, 1(1), 58-63. (in English)
20. Shang, Z., & Li, M. (2016). Feature Selection Based on Grouped Sorting. In *2016 9th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)* (pp. 451-454). DOI: <https://doi.org/10.1109/iscid.2016.1111> (in English)
21. Shynkarenko, V. I., & Demidovich I. M. (2021). Authorship Determination of Natural Language Texts by Several Classes of Indicators with Customizable Weights. In *COLINS-2021: 5th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems* (Vol. 1, pp. 832-844). (in English)
22. Skalozub, V., Horiachkin, V., & Klymenko, I. (2022). Models and intellectual technologies used for analysis and process management under uncertainty. *Access Journal – Access to Science, Business, Innovation in the Digital Economy*, 3(2), 185-200. DOI: [https://doi.org/10.46656/access.2022.3.2\(8\)](https://doi.org/10.46656/access.2022.3.2(8)) (in English)
23. Timm, H. (2001). Fuzzy cluster analysis of classified data. In *Proceedings Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference (Cat. No. 01TH8569)* (Vol. 3, pp. 1431-1436). DOI: <https://doi.org/10.1109/nafips.2001.943759> (in English)

Надійшла до редколегії: 19.08.2022

Прийнята до друку: 16.12.2022

# МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 678.057.3:678.021.16

В. В. НОВОДВОРСЬКИЙ<sup>1\*</sup>, М. П. ШВЕД<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056, тел. +38 (096) 040 46 59, ел. пошта novodvorskiyvolodymyr@gmail.com, ORCID 0000-0002-2895-4506

<sup>2</sup>Каф. машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056, тел. +38 (066) 740 25 45, ел. пошта mpchved46@gmail.com, ORCID 0000-0001-7725-1447

## Процес гомогенізації розплаву в дисковому екструдері з дозованим живленням

**Мета.** У цій роботі передбачено розробити фізичну модель процесів гомогенізації в дисковому екструдері з дозованим живленням, а також обрати й обґрунтувати змінні параметри, за допомогою яких можна оцінювати ефективність змішування та керування процесом. **Методика.** Із появою великої кількості легувальних добавок, наповнених і композиційних матеріалів, виникає необхідність у безперервному контролі й керуванні процесом гомогенізації розплаву. У класичних черв'ячних екструдерах процеси живлення, плавлення, гомогенізації та створення тиску взаємопов'язані, їх запускає одночасно один робочий орган – черв'як, що унеможливує керування окремо кожним процесом із метою їх оптимізації. У таких випадках використовують каскадні схеми екструзії, де процес поділяється на окремі підпроцеси чи їх групи з можливістю автономного керування ними. **Результати.** Описано схему каскадного дисково-шестеренного екструдера, де як розплавлювач-гомогенізатор використано дисковий екструдер із дозованим живленням, а для створення тиску та дозування використано шестеренний насос. Обрано та обґрунтовано змінні параметри дискового екструдера для регулювання ефективності змішування. Проаналізовано компоненти швидкості та їх співвідношення для різних ділянок зони гомогенізації. Обґрунтовано доцільність використання дискового екструдера як розплавлювача-гомогенізатора в каскадних схемах екструзії. Наголошено на адекватності використання індексу змішування у вигляді температурної неоднорідності. Описано зону гомогенізації у вигляді чотирьох окремих підзон та зміни накопиченої деформації зсуву вздовж кожної підзони, а також можливість їх регулювання. **Наукова новизна.** Уперше розроблено й описано гідродинамічну модель процесів у зоні гомогенізації дискового екструдера з дозованим живленням. **Практична значимість.** Обґрунтовано можливість регулювання швидкісного поля в зоні гомогенізації дискового екструдера, що дозволяє керувати ефектом змішування безпосередньо в процесі екструзії. Можливість вибору оптимального режиму роботи зони гомогенізації дозволяє отримувати розплав заданої якості за мінімальних витрат енергії.

*Ключові слова:* екструзія; дисковий екструдер; якість розплаву; температурна однорідність; гомогенізація

### Вступ

До кінця минулого століття під час екструзії полімерів основним показником, на який орієнтувалися виробники, було збільшення продуктивності обладнання. Як раніше, так і зараз замало уваги приділяють гомогенності розплаву та її впливу на енергетичні показники обладнання й фізико-механічні характеристики виробів.

Одношнекові екструдери найбільш поширені в промисловості. За необхідності збільшувати продуктивність в одночерв'ячних екструдерах збільшують швидкість обертання черв'яка, але за великої швидкості обертання якість розплаву погіршується [10], навіть визначено критичну швидкість, після якої якість розплаву не прийнятна, зокрема через надмірну дисипацію енергії [7, 11].

## МАШИНОБУДУВАННЯ

Для поліпшення якості розплаву збільшували довжину черв'яка від 20 до 40 його діаметрів, застосовували динамічні чи статичні змішувальні елементи чи взагалі повністю заміняли робочий орган.

Останнім часом із появою великої кількості легувальних добавок, наповнених і композиційних матеріалів виникає необхідність у безперервному контролі й керуванні процесом гомогенізації розплаву. У класичних черв'ячних екструдерах процеси живлення, стискання, плавлення, гомогенізації та створення тиску взаємопов'язані, їх запускає одночасно в різних місцях один робочий орган – черв'як, що унеможливає оптимізацію цих процесів. У таких випадках використовують каскадні схеми екструзії [3, 5], за яких цей процес поділяється на окремі підпроцеси чи їх групи з можливістю автономного керування ними.

На рис. 1 зображена схема каскадного дисково-шестеренного екструдера [4], на який виділено в окремі автономно керовані, незалежні такі операції:

- дозування сипкого матеріалу;
- живлення, попереднє стискання, плавлення та гомогенізація розплаву;
- створення кінцевого тиску та дозування розплаву.

Для виконання цих операцій на першій стадії як розплавлювач-гомогенізатор використовують дисковий екструдер із дозованим живленням, який працює в адіабатичному режимі й забезпечує високу гомогенність розплаву, але не може створювати значний тиск і рівномірність подачі розплаву, які необхідні для формування виробів.

Тому на другій стадії встановлюють об'ємний дозувальний шестеренний насос з жорсткою напірною характеристикою.

Особливістю такого екструдера є те, що дисковий розплавлювач-гомогенізатор працює за неповного заповнення гвинтової нарізки на початковій ділянці, що дозволяє регулювати термомеханічне навантаження на полімер за рахунок можливості зміни частоти обертання диска в діапазоні  $\pm 20\%$  від номінального значення та висоту зазору в зоні гомогенізації (ЗГ) в діапазоні 1–5 мм за незмінної продуктивності, яку забезпечує шнековий дозатор.

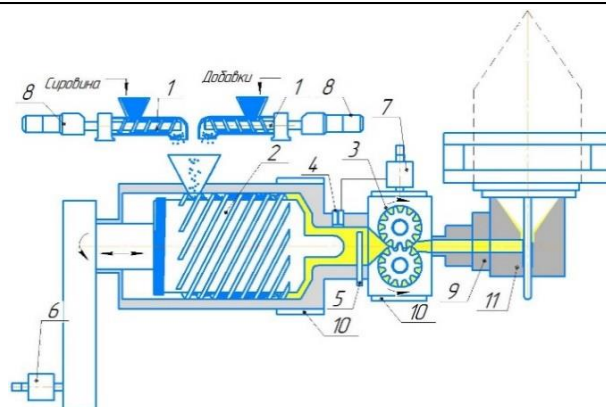


Рис. 1. Схема каскадного дисково-шестеренного екструдера:  
1 – шнековий дозатор; 2 – дисковий екструдер;  
3 – шестеренний насос; 4 – компенсатор;  
5 – гребінчаста термопара; 6, 7, 8 – приводи оберткових органів пристроїв екструдера;  
9 – фільтр; 10 – нагрівач; 11 – формувальний інструмент

Fig. 1. Scheme of a cascade disk-gear extruder:  
1 – screw dispenser; 2 – disk extruder; 3 – gear pump;  
4 – compensator; 5 – comb thermocouple; 6, 7, 8 – drives of rotating bodies of the extruder devices; 9 – filter; 10 – heater; 11 – molding tool

Використання шестеренного насоса, який установлюють між дисковим екструдером і формувальним інструментом, завдяки жорсткій напірній характеристиці дозволяє створювати високий тиск, практично повністю згладити його пульсацію і стабілізувати коливання продуктивності на виході з формувального інструменту.

Для оцінки ефективності змішування використовують в основному статистичні методи й різні критерії. Чутливим індексом якості змішування є відношення генеральної дисперсії до експериментальної.

Якість змішування також оцінюють різними статистичними методами, які показані в роботі [9]. Оцінка ефективності змішування за вищезазначеними критеріями – це трудомісткий, тривалий і малоприйнятний метод у разі безперервної екструзії полімерів.

У публікації [13] вказано, що оцінювати ефективність змішування під час екструзії полімерів можна за критерієм температурної неоднорідності розплаву, що адекватно корелює з іншими критеріями, які використовують для оцінювання ефективності змішування.

Можливість безперервного сканування температурного поля в перерізі потоку розплаву за допомогою багатоточкової термопари з подаль-

МАШИНОБУДУВАННЯ

шим оцінюванням неоднорідності розплаву технічно не складна задача, але ще недостатньо досліджена.

**Мета**

Основною метою роботи є опис фізичної моделі процесів гомогенізації в дисковому екструдері в разі дозованого живлення з можливістю регулювання термомеханічного навантаження на розплав змінюючи частоту обертання диска та величину робочих зазорів при незмінній продуктивності, оскільки однорідність розплаву залежить від режиму роботи екструдера і є одним з ключових параметрів, що впливають на якість розплаву і виробів з нього.

**Методика**

Однорідність розплаву має важливе значення для належного проведення будь-якого процесу переробки полімерних матеріалів.

Для кращого оцінювання процесу змішування прийнято використовувати такі взаємопов'язані поняття, як ефективність та інтенсивність змішування. Під час гомогенізації розплавів полімерів доцільно використовувати залежність температурної неоднорідності від накопичених деформацій, для визначення яких необхідно знати швидкісні поля в ЗГ [6, 12].

На рис. 2 подано класичний дисковий екструдер із дозованим живленням, що містить дозатори 1, корпус 2 та розташований у ньому диск 3, який складається із трьох послідовно розташованих зон завантаження і плавлення (завантажувально-пластикувальна зона (ЗПЗ) – у вигляді багатоканальної гвинтової нарізки, та ЗГ – у вигляді набору кільцевих каналів різної форми та геометрії).

Процес дискової екструзії в разі дозованого живлення відбувається таким чином: матеріал і добавки у вигляді гранул дозуються в багатоканальну гвинтову нарізку (ЗПЗ), витки нарізки поступово заповнюються гранулами, які під дією сил тертя переміщуються на вихід ЗПЗ, створюючи необхідний тиск, що забезпечує рух матеріалу вздовж дискового екструдера. Унаслідок дисипації енергії гранули нагріваються та плавляться з утворенням суцільної плівки розплаву на виході із ЗПЗ, у якій гранули доплавляються. Оскільки на диску розташована багатоканальна

нальна гвинтова нарізка, то в кожній із них окремо відбуваються вищенаведені процеси завантаження та плавлення. Унаслідок зміни геометрії каналу, форми й розмірів гранул розплав із менших гранул має вищу температуру, а з більших – значно нижчу. Тому в ЗГ з кожного із гвинтових каналів потрапляє температурно, в'язкісно і механічно неоднорідний розплав.

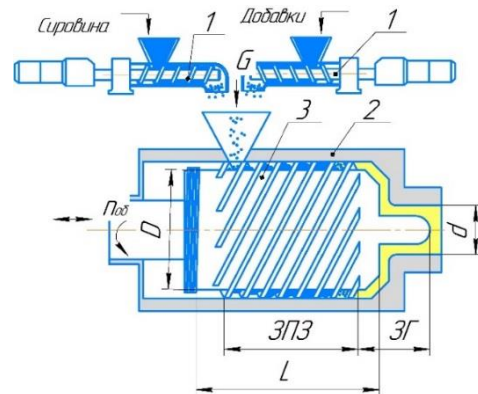


Рис. 2. Схема дискового екструдера з дозованим живленням:

1 – шнекові дозатори; 2 – корпус; 3 – диск екструдера

Fig. 2. Schematic of a metered-discharge disk extruder:

1 – screw metering devices; 2 – housing; 3 – extruder disk

Для усереднення цих показників на виході ЗПЗ застосовують дисковий динамічний змішувач, так звану ЗГ, яка складається з чотирьох підзон з різною конфігурацією та геометричними параметрами рис. 3.

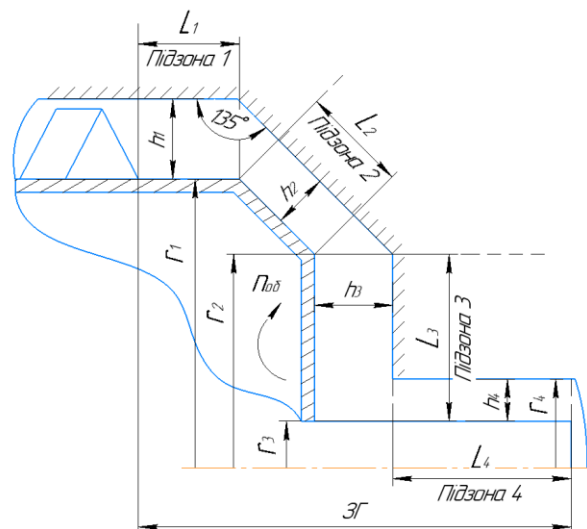


Рис. 3. Зона гомогенізації дискового екструдера

Fig. 3. The homogenization zone of a disk extruder

## МАШИНОБУДУВАННЯ

Перша підзона являє собою горизонтальний кільцевий циліндричний канал довжиною  $L_1$  та висотою  $h_1$ .

У другій підзоні розплав полімеру рухається в кільцевому конусному каналі, що сходиться, довжиною  $L_2$  і висотою  $h_2$ .

Третя підзона являє собою плоско-щілинний канал довжиною  $L_3$  і шириною  $h_3$ .

Четверта підзона становить горизонтальний кільцевий циліндричний канал довжиною  $L_4$  та висотою  $h_4$ .

Розплави полімерів – це рідини з великою в'язкістю, тому течія розплаву в ЗГ відбувається в ламінарному режимі, в основному за рахунок надлишкового тиску, що створюється в ЗПЗ. Змішування в цій зоні відбувається за рахунок безперервної багаторазової зміни швидкісних полів у кожній із послідовно розташованих підзон, де розтягуються і стискаються об'єми розплаву. Рух розплаву в ЗГ можна подати у вигляді двох складових: тангенціальної, де розплав рухається за рахунок в'язкісного тертя й має прямолінійний профіль (течія Куетта), та поздовжньої, де розплав рухається внаслідок різниці тисків і має параболічний профіль (течія Пуазейля). Надлишковий тиск, що створюється гвинтовою нарізкою ЗПЗ, забезпечує рух розплаву вздовж ЗГ, де він переймає швидкість поверхонь стінок корпусу та диска. Оскільки поверхня корпусу нерухома, то швидкість розплаву на ній дорівнює нулю, а на рухомій поверхні диска швидкість розплаву дорівнює коловій швидкості диска.

Знання швидкісних полів є ключовим для визначення накопичених зсувних деформацій, від яких залежить температурна однорідність розплаву, тобто ефективність змішування [1].

### Результати

У першій підзоні за рахунок великого діаметра диска, порівняно з черв'ячними екструдерами, розплав рухається з максимальною тангенціальною та мінімальною поздовжньою швидкостями, які є незмінними вздовж усієї підзони. Регулювання накопиченої деформації зсуву в цій підзоні можливе лише завдяки зміні швидкості обертання диска.

По мірі течії рідини в другій підзоні зменшуються як внутрішній, так і зовнішній діаметри

кільцевого конічного каналу. Відповідно, зменшується тангенціальна складова швидкості. Оскільки за дозованого живлення продуктивність незмінна, а площа прохідного перерізу конусного каналу зменшується вздовж другої підзони, поздовжня швидкість розплаву збільшується. У цій підзоні також виникає ефект Вайсенберга, що частково компенсує падіння тиску.

Змінити зсувні деформації та співвідношення між складовими швидкості в другій підзоні можна зміною частоти обертання диска чи висоти зазору або обома параметрами одночасно.

Як і в другій підзоні, уздовж третьої підзони зі зменшенням діаметра площа прохідного перерізу каналу зменшується за сталої продуктивності. Тому поздовжня швидкість розплаву вздовж підзони збільшується і має максимальне значення, у той час як тангенціальна складова швидкості зменшується і має мінімальне значення вздовж усієї ЗГ. У цій підзоні вплив ефекту Вайсенберга більший ніж у другій підзоні, і він майже повністю компенсує падіння тиску в третій підзоні. Таким чином, співвідношення між тангенціальною та поздовжньою швидкостями змінюються від максимального значення в першій підзоні до мінімального значення в третій підзоні.

Четверту підзону умовно можна назвати зоною стабілізації, де висоту каналу не регулюють і вибирають таким чином, щоб складові швидкості були співмірними.

Попередньо встановлено, що в разі зміни швидкості обертів та висоти зазорів у ЗГ змінюється середня температура розплаву. Це вказує на можливість регулювання в дисковому екструдері з дозованим живленням не тільки гомогенності, але й середньої температури розплаву [4].

Температурна та механічна однорідності взаємопов'язані. У разі досягнення температурної однорідності можна стверджувати про досягнення механічної однорідності і, відповідно, високої якості розплаву [2, 7, 8, 11, 14]. Змішування – це рівномірний розподіл компонентів суміші чи температури в об'ємі. Такий розподіл призводить до вирівнювання температури розплаву в перерізі потоку.

Попередньо проведені дослідження показали, що в дисковому екструдері з дозованим живленням хорошу регульовану ефективність

## МАШИНОБУДУВАННЯ

змішування забезпечує можливість зміни співвідношення між компонентами швидкості за допомогою регулювання, у певних діапазонах, частоти обертання диска та висоти зазорів за тих же значень накопичених сумарних деформацій зсуву, як і в іншому полімерпереробному обладнанні з закритим об'ємом, тобто тоді, коли вони перевищують 2 000 одиниць [1].

### Наукова новизна та практична значимість

Уперше розроблено фізичну модель процесів гомогенізації в дисковому екструдері з дозованим живленням, обрано та обґрунтовано параметри для регулювання зсувних деформацій. Установлено, що оцінювати ефективність змішування можна за температурною неоднорідністю розплаву, яку регулюють у певних межах безпосередньо в процесі роботи екструдера.

### Висновки

Наведено схему каскадної дисково-шестеренної екструзії, де як розплавлювач-гомогенізатор використано дисковий екструдер із дозованим живленням, який працює в адіабатичному

режимі й забезпечує високу гомогенність розплаву, але не може створювати значний тиск і рівномірність подачі розплаву, які необхідні для формування виробів.

Тому на другій стадії для усунення вказаних недоліків установлюють об'ємний дозувальний шестеренний насос із жорсткою напірною характеристикою.

Особливістю такого екструдера є те, що дозоване живлення дискового розплавлювача-гомогенізатора забезпечує неповне заповнення гвинтової нарізки на початковій ділянці, що дозволяє регулювати термомеханічне навантаження на полімер за рахунок можливості зміни частоти обертання диска в діапазоні  $\pm 20$  % від номінального значення та висоти зазору в ЗГ за рахунок переміщення диска в діапазоні 1–5 мм у разі незмінної продуктивності, яку забезпечує шнековий дозатор. Адекватність оцінювання ефективності змішування за температурною неоднорідністю значно спрощує оцінку ефективності й дозволяє її регулювати безпосередньо під час технологічного процесу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мікульонок І. О. *Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини* : монографія. Київ : ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2009. 265 с.
2. Новодворський В. В., Швед М. П. Оцінювання якості розплаву при екструзії полімерів. *Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»*. Серія : Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2021. № 4. С. 9–14. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.4.2021.248854>
3. Степанюк Д. А., Швед М. П., Швед Д. М. Черв'ячно-шестеренний екструдер при переробці полімерних матеріалів. *ScienceRise*. 2015. Том 3, № 2 (8). С. 31–34. DOI: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2015.38997>
4. Швед М. П., Швед Д. М., Бояркін О. О. Розплавлювач-гомогенізатор розплавів полімерів на базі дискового екструдера. *Молодий вчений*. 2017. № 3 (43). С. 769–771.
5. Швед М. П., Швед Д. М., Луценко І. В., Богатир А. С. Переваги використання каскадних схем та дозуючих шестеренних насосів при екструзії полімерів. *Технологический аудит и резервы производства*. 2013. № 1/2 (9). С. 21–24.
6. Тор-Святек А., Красінський В., Дулебова Л. Аналіз ефективності процесу екструзії пористого поліетилену. *Хімія, технологія речовин та їх застосування*. 2014. № 787. С. 434–440.
7. Abeykoon C., Kelly A. L., Martin P. J., Li K. Dynamic modelling of die melt temperature profile in polymer extrusion. *52nd IEEE Conference on Decision and Control (Firenze, 10-13 December 2013)*. Firenze, 2013. P. 2550–2555. DOI: <https://doi.org/10.1109/cdc.2013.6760264>
8. Abeykoon, C., Martin, P. J., Kelly, A. L., Li, K., Brown, E. C., Coates, P. D. Investigation of the temperature homogeneity of die melt flows in polymer extrusion. *Polymer Engineering & Science*. 2014. Vol. 54. Iss. 10. P. 2430–2440. DOI: <https://doi.org/10.1002/pen.23784>
9. Cowden D. J. *Statistical methods in quality control*. Prentice-Hall, 1957. 727 p.

## МАШИНОБУДУВАННЯ

10. Domingues N., Gaspar-Cunha A., Covas J. A. Global mixing indices for single screw extrusion. *International Journal of Material Forming*. 2008. Vol. 1, Suppl 1. P. 723–726.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12289-008-0317-4>
11. Rauwendaal C. Effective troubleshooting of extrusion problems. *AIP Conference Proceedings*. Vol. 1779, No. 1. P. 030021. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4965491>
12. Rauwendaal C. *Polymer extrusion*. Hanser Publications, 2014. 934 p.
13. Wilczyński K. A method for estimation of polymer melt temperature fluctuation in a single screw extrusion process. *Polymer Engineering & Science*. 1988. Vol. 28. Iss. 7. P. 429–433.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/pen.760280705>
14. Wood A. K. Determination of melt temperature and velocity profiles in flowing polymer melts. *8o Congresso Brasileiro de Polimeros*. 2003. P. 1378–1381.

V. V. NOVODVORSKYI<sup>1\*</sup>, N. P. SHVED<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Department of Chemical Engineering and Oil Refining Industry, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Peremohy Ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056, tel. +38 (096) 040 46 59, e-mail novodvorskiyvolodymyr@gmail.com, ORCID 0000-0002-2895-4506

<sup>2</sup>Department of Chemical Engineering and Oil Refining Industry, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Peremohy Ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056, tel. +38 (066) 740 25 45, e-mail npchved46@gmail.com, ORCID 0000-0001-7725-1447

## The Process of Melt Homogenization in a Metered-Discharge Disk Extruder

**Purpose.** This paper aims to develop a physical model of the homogenization process in a metered-discharge disk extruder, as well as to select and justify the variable parameters that can be used to evaluate the efficiency of mixing and process control. **Methodology.** With the advent of a large number of alloying additives, filled and composite materials, there is a need for continuous monitoring and control of the melt homogenization process. In classical worm extruders, the processes of feeding, melting, homogenization, and pressure generation are interconnected and are triggered simultaneously by a single working body, the worm, which makes it impossible to control each process separately to optimize them. In such cases, cascade extrusion schemes are used, where the process is divided into separate subprocesses or groups of them with the ability to control them independently. **Findings.** The scheme of a cascade disk-gear extruder is described, where a metered-powered disk extruder is used as a melt-homogenizer, and a gear pump is used to create pressure and dosing. The variable parameters of the disk extruder for adjusting the mixing efficiency are selected and substantiated. The speed components and their ratios for different parts of the homogenization zone are analyzed. The expediency of using a disk extruder as a melt-homogenizer in cascade extrusion schemes is substantiated. The adequacy of using the mixing index in the form of temperature inhomogeneity is emphasized. The homogenization zone in the form of four separate subzones and changes in the accumulated shear strain along each subzone, as well as the possibility of their regulation, are described. **Originality.** For the first time, a hydrodynamic model of processes in the homogenization zone of a metered-discharge disk extruder was developed and described. **Practical value.** The possibility of adjusting the velocity field in the homogenization zone of a disk extruder has been substantiated, which allows controlling the mixing effect directly during the extrusion process. The possibility of selecting the optimal mode of operation of the homogenization zone makes it possible to obtain a melt of a given quality with minimal energy consumption.

**Keywords:** extrusion; disk extruder; melt quality; temperature homogeneity; homogenization

### REFERENCES

1. Mikulionok, I. O. (2009). *Obladnannia i protsesy pererobky termoplastychnykh materialiv z vykorystanniam vtorynnoi syrovyny: monohrafiia*. Kyiv: IVTs “Vydavnytstvo «Politekhnik»”. (in Ukrainian)
2. Novodvorskyi, V., Shved, M., & Shved, D. (2021). Evaluation of melt quality during polymer extrusion. *Proceedings of the NTUU «Igor Sikorsky KPI». Series: Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving*, 4, 9-14. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.4.2021.248854> (in Ukrainian)
3. Stepanjuk, D. A., Shved, M. P., & Shved, D. M. (2015). The worm-gear extruder during processing the polymeric materials. *ScienceRise*, 3(2(8)), 31. DOI: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2015.38997> (in Ukrainian)

## МАШИНОБУДУВАННЯ

4. Shved, M. P., Shved, D. M., & Bojarkin, O. O. (2017). Smoothing agent homogenizer of polymer melts on the basis of a disk extruder, *Young Scientist*, 3(43), 769-771. (in Ukrainian)
5. Shved, M. P., Shved, D. M., Lucenko, I. V., & Boghatyr, A. S. (2013). Pervahy vykorystannia kaskadnykh skhem ta dozuiuchykh shesterennykh nasosiv pry ekstruzii polimeriv. *Technology audit and production reserves*, 1/2(9), 21-24. (in Ukrainian)
6. Tor-Svjatek, A., Krasinskyj, V., & Dulebova, L. (2014). Analiz efektyvnosti procesu ekstruziji porystogho polietyleny. *Chemistry, technology and application of substances*, 787, 434-440.
7. Abeykoon, C., Kelly, A. L., Martin, P. J., & Kang Li. (2013). Dynamic modelling of die melt temperature profile in polymer extrusion. In *52nd IEEE Conference on Decision and Control* (pp. 2550-2555). DOI: <https://doi.org/10.1109/cdc.2013.6760264> (in English)
8. Abeykoon, C., Martin, P. J., Kelly, A. L., Li, K., Brown, E. C., & Coates, P. D. (2013). Investigation of the temperature homogeneity of die melt flows in polymer extrusion. *Polymer Engineering & Science*, 54(10), 2430-2440. DOI: <https://doi.org/10.1002/pen.23784> (in English)
9. Cowden, D. J. (1957). *Statistical methods in quality control*. Prentice-Hall. (in English)
10. Domingues, N., Gaspar-Cunha, A., & Covas, J. A. (2008). Global Mixing Indices for Single Screw Extrusion. *International Journal of Material Forming*, 1(S1), 723-726. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12289-008-0317-4> (in English)
11. Rauwendaal, C. (2016). Effective troubleshooting of extrusion problems. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1779, No. 1, pp. 030021). DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4965491> (in English)
12. Rauwendaal, C. (2014). *Polymer extrusion*. Hanser Publications. (in English)
13. Wilczyński, K. (1988). A method for estimation of polymer melt temperature fluctuation in a single screw extrusion process. *Polymer Engineering and Science*, 28(7), 429-433. DOI: <https://doi.org/10.1002/pen.760280705> (in English)
14. Wood A.K., (2003), Determination of melt temperature and velocity profiles in flowing polymer melts. *8o Congresso Brasileiro de Polimeros*, 1378-1381. (in English)

Надійшла до редколегії: 27.05.2022

Прийнята до друку: 26.09.2022

# РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.464.48:519.87

Л. М. ЛОБАНОВ<sup>1</sup>, О. В. МАХНЕНКО<sup>2</sup>, В. І. ПАВЛОВСЬКИЙ<sup>3</sup>, Г. Ю. САПРИКІНА<sup>4\*</sup>,  
А. Д. ПУСТОВОЙ<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Відділ оптимізації зварних конструкцій нової техніки, Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, вул. Казимира Малевича, 11, Київ, Україна, 03150, тел. +38 (044) 287 24 55, ел. пошта office@paton.kiev.ua, ORCID 0000-0001-9296-2335

<sup>2</sup>Відділ математичних методів дослідження фізико-хімічних процесів при зварюванні і спецеелектрометалургії, Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, вул. Казимира Малевича, 11, Київ, Україна, 03150, тел. +38 (044) 205 24 98, ел. пошта makhenko@paton.kiev.ua, ORCID 0000-0002-8583-0163

<sup>3</sup>Відділ математичних методів дослідження фізико-хімічних процесів при зварюванні і спецеелектрометалургії, Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, вул. Казимира Малевича, 11, Київ, Україна, 03150, тел. +38 (097) 650 68 80, ел. пошта viktor\_pavlovski@ukr.net, ORCID 0000-0002-5441-3447

<sup>4\*</sup>Відділ математичних методів дослідження фізико-хімічних процесів при зварюванні і спецеелектрометалургії, Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, вул. Казимира Малевича, 11, Київ, Україна, 03150, тел. +38(044) 205 25 98, ел. пошта gala\_sapr@ukr.net, ORCID 0000-0003-1534-7253

<sup>5</sup>Відділ математичних методів дослідження фізико-хімічних процесів при зварюванні і спецеелектрометалургії, Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, вул. Казимира Малевича, 11, Київ, Україна, 03150, тел. +38 (093) 489 30 55, ел. пошта pustovoyad@gmail.com, ORCID 0000-0003-0027-3722

## Переваги суцільнозварної конструкції бокової рами візка вантажного вагона

**Мета.** Безпека на залізничному транспорті під час експлуатації вантажних вагонів значною мірою залежить від надійності, характеристик опору втомі та живучості литих несучих елементів триелементного візка, особливо бокових рам. Передчасні руйнування литих рам відбуваються переважно через невиявлені приховані дефекти ливарного виробництва. Для усунення зазначених проблем доцільно розробити альтернативну суцільнозварну бокову раму візка вагона з осьовим навантаженням 23,5 тс, яка може бути взаємозамінною з литою конструкцією. **Методика.** Для визначення напружено-деформованого стану суцільнозварної конструкції під дією регламентованих навантажень та оцінки її міцності відповідно до чинних вітчизняних і сучасних світових стандартів було застосовано підходи математичного моделювання. **Результати.** Дослідні зразки суцільнозварної конструкції бокової рами пройшли прискорені випробування на втому. Проведені випробування експериментально довели, що циклічна довговічність розробленої бокової рами значно (у 2...4 рази) перевищує циклічну довговічність литих бокових рам. **Наукова новизна.** Порівняльний аналіз допустимих амплітуд напружень у різних зонах суцільнозварної бокової рами протягом тривалої експлуатації на базі 10<sup>7</sup> циклів навантаження відповідно до чинного стандарту на міцність залізничних вагонів та сучасних підходів до визначення опору втомі зварних з'єднань показав недостатню консервативність вітчизняного стандарту для оцінки втомної міцності зварних з'єднань, що було враховано під час розробки нової конструкції суцільнозварної бокової рами. **Практична значимість.** Крім підвищення надійності, можливого збільшення міжремонтного пробігу та гарантійного терміну експлуатації бокових рам за рахунок забезпечення високого рівня опору втомі та живучості, зварна конструкція може забезпечити точність базового розміру рами, зменшити вагу невіднесених мас, що має знизити зношення коліс і поліпшити ходові характеристики візків залізничних вагонів. Зниження витрат на впровадження в серійне виробництво суцільнозварних бокових рам порівняно із застосуванням технології ливарного виробництва для виготовлення цих конструкцій і те, що собівартість виготовлення суцільнозварної бокової рами є в цілому конкурентоспроможною з литою конструкцією, також одна з важливих переваг нашої розробки.

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

*Ключові слова:* вантажний залізничний вагон; триелементний візок; бокова рама; суцільнозварна конструкція; спектр навантажень; напружено-деформований стан; математичне моделювання; випробування на втому; надійність; циклічна довговічність; живучість

## Вступ

Відомо, що на залізницях колії 1 520 мм трапляються аварії, пов'язані з руйнуванням литих несучих елементів триелементних візків вантажних вагонів. Основною причиною їх руйнування (рис. 1) є втомні тріщини, до появи яких можуть призводити такі дефекти, як пори та раковини у металі литих елементів [18], неприпустимі потоншення стінок тощо [14, 2, 1]. Ці дефекти буває важко, а часом і неможливо, виявити й виправити.

Зважаючи на вищезгадане, завдання підвищення характеристик опору втомі та живучості несучих елементів візка в наш час вельми актуальне.

Вирішення цього завдання можливе шляхом використання альтернативних технологій виробництва, наприклад, застосування у зазначених елементах (рис. 1, *a*) деталей із якісного листового прокату, для з'єднання яких застосовують зварювання [11, 18]. Виготовлення несучих елементів візка з використанням зварювання не є

витратним порівняно з технологією лиття та можливе практично на будь-якому машинобудівному підприємстві, і це може створити умови насичення ринку якісними елементами вантажного візка залізничного вагона, а саме бокової рами й надресорної балки, із підвищеними характеристиками опору втомі.

Це підтверджує досвід виготовлення та експлуатації візків для вантажних вагонів у Європі. Наприклад, відомі візки типу Y–25 (рис. 2), які мають замкнену зварну рамну конструкцію. На базі Y–25 створені візки типу Y–31 та Y–37 із поліпшеними динамічними характеристиками. Зварна рама візка Y–37/VR має незамкнену рамну конструкцію (рис. 3). Для зниження швидкості вертикальних коливань, які виникають у випадку високих швидкостей руху цього візка, його шкворневу балку (2) кріплять до обох бокових рам через колискову підвіску [15]. На рис. 4 показаний новий візок RC25NT (колія 1 435 мм, вантажопідйомність 25 т) виробництва фірми EisenBahnlauferwerke Halle GmbH (ФРН), який також має зварну рамну конструкцію та центральну ресорну підвіску.

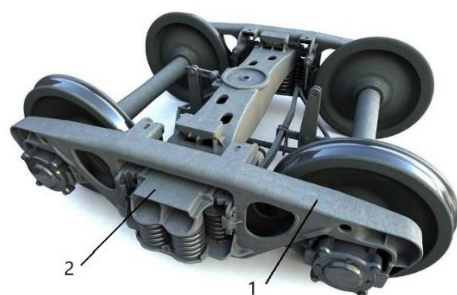
*a – a**б – б*

Рис. 1. Триелементний двовісний візок залізничного вантажного вагона типу 18–100 з литими несучими елементами:

*a* – бокова рама (1), надресорна балка (2);  
*б* – аварійне руйнування литої конструкції бокової рами

Fig. 1. Three-element biaxial bogie of a railway freight car type 18–100 with cast bearing elements:

*a* – side frame (1), superstructure beam (2);  
*b* – accidental destruction of the cast structure of the side frame

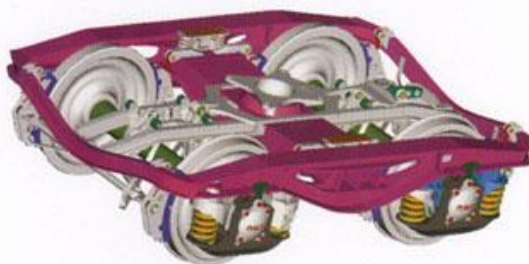


Рис. 2. Візок залізничного вагона типу Y–25 із замкнутою зварною рамною конструкцією

Fig. 2. Railway car bogie type Y–25 with a closed welded frame structure

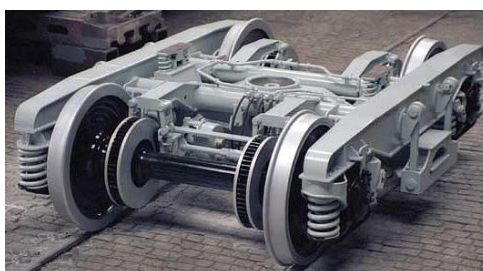


Рис. 3. Візок залізничного вагона типу Y–37/VR із незамкнутою рамною конструкцією

Fig. 3. Railway car bogie of the Y–37/VR type with an open frame structure



Рис. 4. Зварна конструкція візка залізничного вагона типу RC25NT

Fig. 4. Welded structure of a railway carriage bogie of the RC25NT type

Відомо чимало спроб створення в Україні конструкцій суцільнозварних несучих елементів візків вантажних вагонів, які були б взаємозамінні з литими конструкціями.

Так, у 2002 р. було розроблено візок моделі 18–1711 [7, 9, 10], а у 2004 р. – моделі 18–9750 [12, 13] зі зварними боковими рамами, які представлені на рис. 5. Інше рішення реалізовано у 2007 р. для штампозварного варіанта візка вантажного вагона (рис. 6). У цьому випадку основні несучі деталі коробчастого перетину (надресорна балка та бокова рама) були виконані з двох штампованих заготовок, які з'єднані між

собою зварюванням за допомогою перехідних деталей.

На Крюківському вагонобудівному заводі (КВБЗ, Україна) також був розроблений візок вантажного вагона, де бокові рами (рис. 7) і надресорна балка виконані зварними. Метою розробки було, по-перше, підвищити міцність бокових рам і надресорних балок. По-друге, виключити перекіс осей колісних пар, що призводить до підвищеного зносу коліс. По-третє, усунути залежність виробництва візків від постачальників лиття та знизити собівартість цього виробу.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Були й інші спроби створення зварних конструкцій несучих елементів триелементних візків вантажних вагонів на заміну литим конструкціям, але жоден із розроблених візків не застосо-

вують нині під час регулярних вантажоперева-  
зень. Одною з головних причин цього є низький  
рівень надійності та довговічності зварних несучих  
елементів візка.

*a – a*



*б – б*



Рис. 5. Конструкції зварних візків вантажного вагона моделей:  
*a* – 18-1711 [7, 9, 10]; *б* – 18-9750

Fig. 5. Designs of welded bogies of freight car models:  
*a* – 18-1711 [7, 9, 10]; *b* – 18-9750

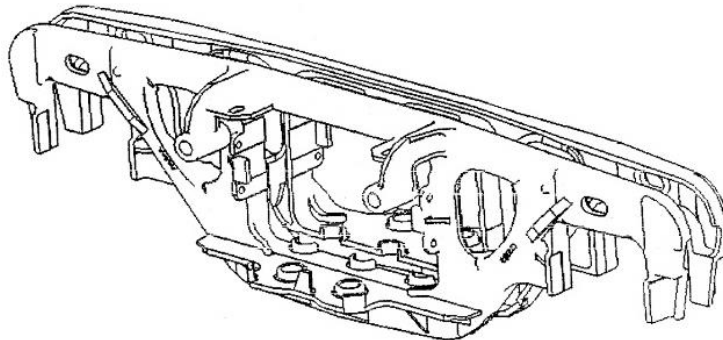


Рис. 6. Штамповзварний варіант конструкції бокової рами

Fig. 6. Stamped-welded version of the side frame construction

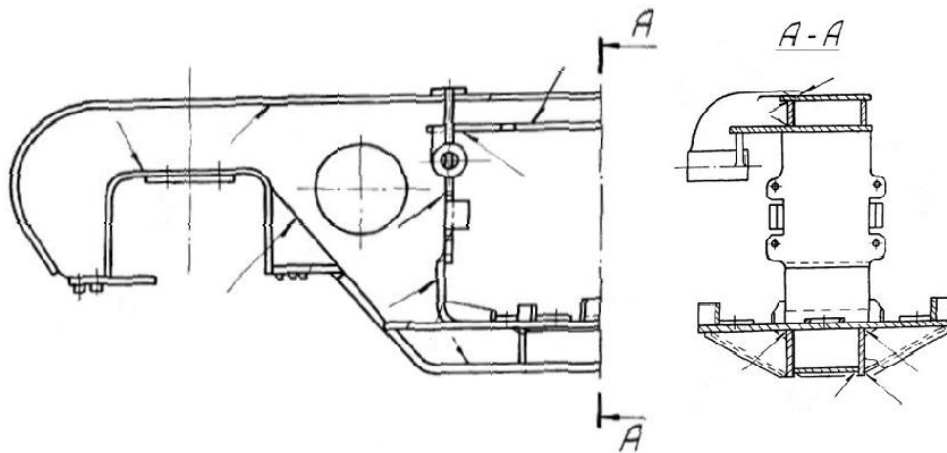


Рис. 7. Зварна конструкція бокової рами візка, розробник КВБЗ

Fig. 7. Welded construction of the trolley side frame, developed by KRCBW

Високу надійність зварних несучих елементів триелементного візка вантажних вагонів необхідно забезпечити за рахунок підвищення опору втомі (довговічності та живучості) порівняно з литою конструкцією.

Використання технології зварювання є доцільним тому, що листовий металопрокат має більш високі характеристики міцності та опору втомі ніж, литий метал. До того ж дефекти у зварних з'єднаннях на стадії виробництва можуть бути своєчасно виявлені й усунути, на відміну від дефектів у разі застосування ливарної технології.

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України має досвід сумісної розробки зі спеціалістами ВАТ «Азовмаш» зварної конструкції надресорної балки, дослідні зразки якої успішно пройшли прискорені випробування на опір втомі [11]. З урахуванням позитивних результатів вищезазначених робіт було розроблено нову суцільнозварну конструкцію бокової рами триелементного візка вантажного вагона з осьовим навантаженням 23,5 тс [6, 17]. Роботу розпочато з ініціативи ВАТ «Азовмаш», виробника вантажних залізничних вагонів, і продовжено за підтримки ТОВ «Рейл», яке спеціалізується на виготовленні компонентів та запасних частин залізничних вагонів. Розробка базується на таких концептуальних положеннях:

– взаємозамінність за габаритами й посадковими розмірами з литою конструкцією візка типу 18-100;

– застосування доступного та якісного листового прокату низьколегованої сталі, що добре зварюється (типу 09Г2С);

– задоволення вимог чинного стандарту з розрахунку на міцність залізничних вагонів [5], стандартів із проведення випробувань на статичне й циклічне навантаження, рекомендацій Міжнародного інституту зварювання (МІЗ) [16] щодо визначення опору втомі зварних з'єднань;

– технологічність процесу збирання і зварювання конструкції та мінімізація її залишкових зварювальних деформацій.

## Мета

За мету статті поставлено показати розробку суцільнозварної конструкції бокової рами триелементного візка вантажного вагона з осьовим навантаженням 23,5 тс. Ця розробка спрямована на розв'язок таких завдань:

– підвищення надійності за рахунок забезпечення високого рівня опору втомі та живучості суцільнозварної конструкції;

– розробка геометрії та форми з'єднань деталей рами, а також ефективних технологій їх зварювання;

– забезпечення точності базових розмірів у межах  $\pm 1$  мм;

– зменшення ваги невіддресорних мас на 5–10 %;

– низька собівартість виготовлення;

– створення промислового збирально-зварювального оснащення;

– зниження вартості впровадження у виробництво суцільнозварних бокових рам порівняно з технологією ливарного виробництва.

## Методика

З урахуванням зазначених концептуальних положень, було розроблено оригінальну конструкцію суцільнозварної бокової рами, промислову технологію її виготовлення та спеціалізоване технологічне оснащення. Загальний вигляд цієї конструкції подано на рис. 8. Конструкція бокової рами утворена суцільнозварною несучою балкою коробчастого перерізу 1, та встановленою на похилених поясах вставкою з двома елементами розташування фрикційних планок 2, розміщених на трикутних стінках 3 для прикріплення до відповідного похиленого пояса 4, та верхнім з'єднувальним елементом П-подібного перерізу 5 [6].

Під час розробки суцільнозварної конструкції застосовано математичне моделювання для визначення напружено-деформованого стану бокової рами під дією регламентованого спектру знакозмінних навантажень та оцінки міцності згідно з чинним стандартом [5] та сучасними світовими підходами [16].

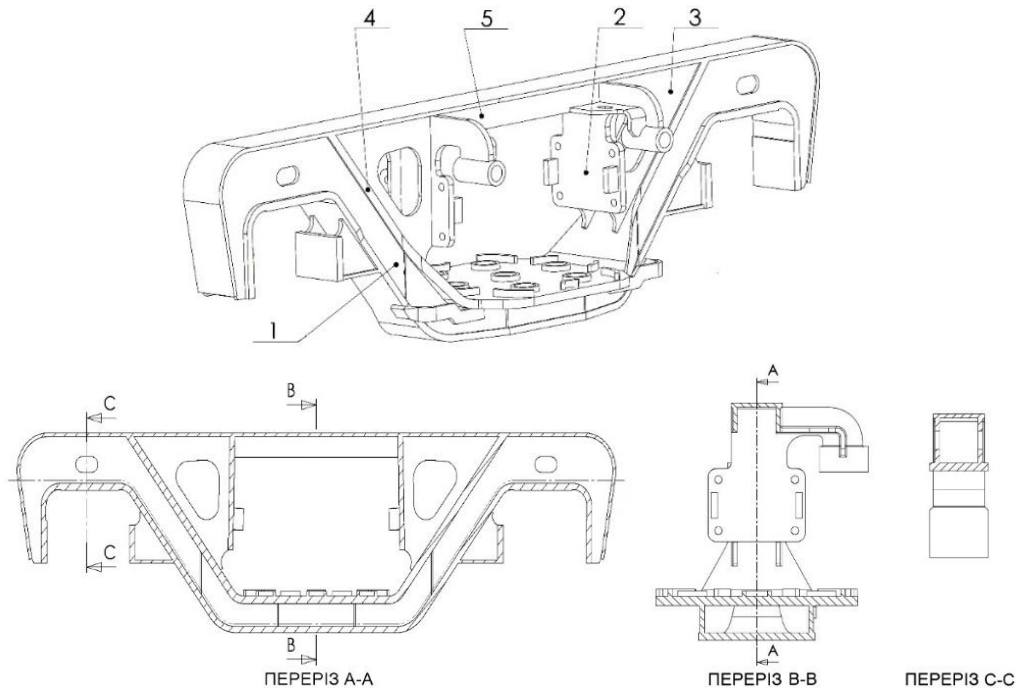


Рис. 8. Нова суцільнозварна конструкція бокової рами:

1 – зварна несуча балка коробчастого перерізу; 2 – елементи розташування фрикційних планок; 3 – трикутні стінки; 4 – похилі пояси; 5 – верхній з'єднувальний елемент П-подібного перерізу

Fig. 8. New all-welded side frame structure:

1 – welded box-shaped support beam; 2 – friction plate arrangement elements; 3 – triangular walls; 4 – inclined belts; 5 – upper U-shaped connecting element

Проведено розрахунок опору втомі розробленої суцільнозварної бокової рами відповідно до [5] за коефіцієнтами опору втомі для різних оцінних зон (основного металу і зварних швів), з урахуванням розподілу коефіцієнта вертикальної динаміки за діапазонами швидкостей експлуатації (спектр навантаження). Також узято до уваги додатковий спектр навантаження від поздовжніх стисних сил через автозчеплення. Установлено, що розроблена конструкція бокової рами є працездатною за змінних навантажень і задовольняє вимогам [5] із коефіцієнтом опору втомі  $[n] = 2$  як за умовою неперевищення розрахунковими напруженнями величин амплітуд допустимих напружень, так і за умовою накопичення пошкоджуваності.

Відповідно до чинного стандарту [5], допустимі максимальні амплітуди напруження за критерієм опору втомі можна виразити таким чином:

$$[\max(\sigma_a)] = \frac{\sigma_{a,N}}{[n] \sqrt{\frac{T_p f_3}{N_0} \sum_{i=1}^{10} P(v_i) k_i^m}},$$

де  $\sigma_{a,N}$  – границя витривалості (за амплітудою) для симетричного циклу навантаження на базі випробувань  $N_0 = 10^7$  циклів;  $[n]$  – допустима мінімальна величина коефіцієнта опору втомі для візка, який проєктують знову,  $[n] = 2$ ;  $m$  – показник ступеня у рівнянні кривої втомі в амплітудах;  $T_p$  – сумарний час динамічних навантажень за розрахунковий термін служби деталі;  $f_3$  – ефективна частота процесу зміни динамічних навантажень для обресорених частин, що становить

$$f_3 = \sqrt{\frac{4c}{m_k}},$$

(тут  $c$  – вертикальна жорсткість ресорного комплексу під вагою вагона брутто;  $m_k$  – вага навантаженого кузова);  $N_0$  – базове число циклів динамічних напружень;  $i$  – діапазон швидкості;

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$P(v_i)$  – частка часу, що припадає на експлуатацію в  $i$ -му діапазоні швидкості;  $v_i$  і  $k_i$  – середнє значення швидкості і коефіцієнт вертикальної динаміки в  $i$ -му діапазоні швидкості.

У випадку суцільнозварної бокової рами для різних оцінних зон основного матеріалу та металу зварних з'єднань обчислюють декілька значень допустимих амплітуд напружень за критерієм опору втомі. Для оцінки опору втомі бокової рами прикладено навантаження, що відповідають режиму нормального руху вагона у складі потяга, а саме:

- вертикальна сила, зменшена на величину сили ваги кузова вагона брутто;
- поперечна складова поздовжньої квазістатичної сили.

Величину (амплітуду) навантажень визначають коефіцієнтом вертикальної динаміки в діапазоні швидкостей руху до конструкційної (120 км/год). Коефіцієнт вертикальної динаміки взято однаковим для руху по прямих і кривих ділянках колії. Розрахунковий спектр навантаження [3, 5] наведено в табл. 1.

Чисельним способом на основі методу скінчених елементів визначено максимальні напруження за квазістатичного навантаження вертикальним зусиллям величиною 210,6 кН і зусиллям розпору клинів 30,1 кН [4], відносно якого задано спектр навантаження (табл. 1). Вертикальне динамічне навантаження  $F_{1z}$ , що діє на бокову раму, прикладають до опорної поверхні центральної ресорної підвіски, а силу розпору клинів  $F_{3x}$  – до вертикальних стійок центрального ресорного отвору (рис. 9, а). Результати розрахунків розподілу максимальних головних напружень у різних зонах бокової рами (1–5) від прикладеного квазістатичного навантаження наведено на рис. 9, б і в табл. 2.

Додатково проведений розрахунок опору втомі суцільнозварної конструкції бокової рами візка відповідно до рекомендацій МІЗ [16] за умовою зародження втомного руйнування (макротріщини) в зонах зварних з'єднань з урахуванням заданого спектру навантаження під час експлуатації показав, що розроблений варіант конструкції має достатній рівень опору втомі зварних з'єднань із коефіцієнтом безпеки  $\gamma_m = 1,1-1,4$ .

Таблиця 1

**Нормативні навантаження для розрахунку опору втомі бокової рами візка з осовим навантаженням 23,5 тс [3, 6]**

Table 1

**Normative loads for calculating the fatigue resistance of the trolley side frame with an axial load of 23.5 tnf [3, 6]**

Інтервал швидкості руху, м/с	Середня швидкість інтервалу, м/с	Імовірність руху в діапазоні швидкостей, $Pv_i$	Коефіцієнт вертикальної динаміки, $k_d$	Амплітуда вертикального динамічного навантаження $F_{1z}$ , кН	Амплітуда сили розпору клинів, $F_{3x}$ , кН
0..12,5	6,25	0,03	0,063	13,27	1,90
12,5...15,0	13,75	0,07	0,138	29,07	4,15
15,0...17,5	16,25	0,09	0,298	62,77	8,97
17,5...20,0	18,75	0,12	0,333	70,14	10,02
20,0...22,5	21,25	0,16	0,368	77,52	11,07
22,5...25,0	23,75	0,19	0,403	84,89	12,13
25,0...27,5	26,25	0,16	0,438	92,26	13,18
27,5...30,0	28,75	0,10	0,473	99,63	14,23
30,0...32,5	31,25	0,06	0,508	107,01	15,29
32,5...35,0	33,75	0,02	0,543	114,38	16,34

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

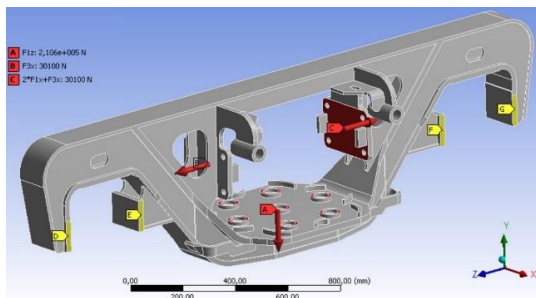
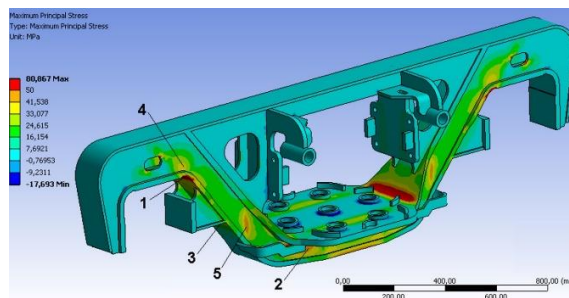
*a – a**b – b*

Рис. 9. Розрахункове визначення навантаженості конструкції бокової рами:

*a* – вертикальне навантаження (сила  $A$ )  $F_{1z}=210,6$  кН, рівномірно розподілене по площі спирання пружин на опорній поверхні центральної ресорної підвіски, та сил ( $B$  і  $C$ ) розпору клинів  $F_{3x}=30,1$  кН, прикладених до вертикальних стійок центрального ресорного отвору; *b* – розподіл головних напружень у різних зонах бокової рами (1 – основний матеріал у зоні R55 буксового отвору; 2 – поздовжнє кутове зварне з'єднання бічної стінки й опорної поверхні пружин; 3 – поперечне кутове зварне з'єднання опори в буксовому отворі; 4 – поздовжнє кутове з'єднання в зоні R55 буксового отвору; 5 – поперечне стикове зварне з'єднання бічної стінки) під дією прикладених навантажень

Fig. 9. Calculation determination of the loadedness of the side frame structure:

*a* – vertical load (force  $A$ )  $F_{1z}=210.6$  kN, evenly distributed over the area of spring support on the bearing surface of the central spring suspension, and forces ( $B$  and  $C$ ) of wedge spreading  $F_{3x}=30.1$  kN applied to the vertical posts of the central spring hole; *b* – distribution of principal stresses in different zones of the side frame (1 – the main material in the zone R55 of the axle hole; 2 – longitudinal angular welded joint of the side wall and the bearing surface of the springs; 3 – transverse angular welded joint of the support in the axle bore; 4 – longitudinal angular welded joint in the area R55 of the axle bore; 5 – transverse butt welded joint of the side wall) under the action of applied loads

Таблиця 2

**Порівняння амплітуд допустимих напружень і розрахункових максимальних напружень у різних зонах конструкції бокової рами відповідно до [5] і рекомендацій МІЗ [16]**

Table 2

**Comparison of the amplitudes of permissible stresses and calculated maximum stresses in different zones of the side frame structure in accordance with [5] and the recommendations of the International Institute of Welding [16]**

№ зони	Зони конструкції бокової рами	Стандарт [5]		МІЗ [16]	Розрахунок/вимірювання
		Коефіцієнт зниження границі витривалості, $\overline{K}_\sigma$	Максимально допустима амплітуда напружень $\sigma_a$ , МПа	Допустима амплітуда напружень $\sigma_a$ , МПа за $\gamma_M = 1,0/1,4$	Максимальне значення головних напружень $\sigma_a$ , МПа
1	Основний матеріал у зоні R55 буксового отвору	1,5	150	–	81
2	Поздовжнє кутове зварне з'єднання бічної стінки й опорної поверхні пружин	3,0	78	40/50	56/63
3	Поперечне кутове зварне з'єднання опори в буксовому отворі	3,0	78	40/50	37
4	Поздовжнє кутове з'єднання в зоні R55 буксового отвору	3,0	78	40/50	53/37
5	Поперечне стикове зварне з'єднання бічної стінки	4,7	51	44/56	33

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Згідно з рекомендаціями МІЗ [16], для розглянутих оцінних зон конструкції бокової рами (зон зварних з'єднань) із товщиною елементів до 25 мм розмах номінальних напружень, допустимих під час регулярного навантаження, можна подати у вигляді:

$$[\Delta\sigma] = \frac{FAT}{\gamma_M} \left( \frac{C}{N} \right)^{1/m},$$

де  $FAT$  – клас зварного з'єднання і його допустимий розмах напружень на базі  $2 \cdot 10^6$  циклів регулярного навантаження (рис. 10);  $\gamma_M$  – коефіцієнт безпеки,  $N$  – довговічність зварного з'єднання;  $C = 2 \cdot 10^6$ ,  $m = 3$  в разі  $10^4 < N < 10^7$  циклів і  $C = 5,8 \cdot 10^6$ ,  $m = 5$  в разі  $10^7 < N < 10^8$  циклів.

Під час призначення величини коефіцієнта безпеки  $\gamma_M$  слід враховувати, що  $FAT$  пропонують на основі 0,95 – імовірності неруйнування (експериментальні дані). Тому в [15] рекомендують вибирати  $\gamma_M$  у межах 1–1,4. Причому величина коефіцієнта безпеки  $\gamma_M = 1,4$  відповідає випадку, коли має місце загроза людському життю.

Відповідно, граничну довговічність  $[N]$  у разі регулярного навантаження з розмахом  $\Delta\sigma$  виражають таким чином:

$$[N] = C \cdot \left( \frac{FAT}{\Delta\sigma \cdot \gamma_M} \right)^m.$$

Спектр навантажень для розрахунку опору втомі визначають коефіцієнтом вертикальної динаміки та ймовірністю руху в діапазоні швидкостей руху (до конструкційної 120 км/год). За умови врахування спектру навантаження із десяти регулярних циклів відповідно до [7, 9, 10] (табл. 1), довговічність  $N_{\text{спек}}$  визначають шляхом лінійного підсумовування пошкоджуваності (метод Пальмгреа–Майнера):

$$\sum_{j=1}^{10} \frac{n_j}{N_j} \leq 1,$$

де  $n_j$  – кількість  $j$ -циклів із розмахом  $\Delta\sigma_j$ ;  $N_j$  – гранична довговічність у разі регулярного навантаження з розмахом  $\Delta\sigma_j$  для  $j$ -го елемента спектру. Значення  $N_j$  визначають за формулою:

$$N_j = C \cdot \left( \frac{FAT}{\Delta\sigma_j \cdot \gamma_M} \right)^m.$$

У табл. 2 узагальнено допустимі амплітуди напружень (втомна міцність) відповідно до [5] та рекомендацій МІЗ [16] у різних зонах зварної конструкції бокової рами з урахуванням зазначеного в табл. 1 спектру навантажень на базі  $10^7$  циклів під час тривалої експлуатації.

Порівняльний аналіз результатів демонструє недостатній консерватизм чинного вітчизняного стандарту [5] під час оцінки втомної міцності зварних з'єднань.

Також у табл. 2 подано розраховані значення максимальних напружень у різних зонах бокової рами внаслідок дії максимальних проектних зусиль на візок з осьовим навантаженням 23,5 тс. Проведені розрахунки (табл. 2, зони 2 та 4) показують, що для забезпечення достатнього рівня втомної міцності у найбільш небезпечних зонах зварної конструкції бокової рами доцільно після зварювання додатково застосовувати загальну термічну обробку для релаксації залишкових напружень та ударну ультразвукову обробку вздовж лінії сплавлення поздовжніх кутових зварних з'єднань.

## Результат

Розробку конструкції суцільнозварної бокової рами проведено також з урахуванням наявного рівня технологічних можливостей збирання та зварювання вагобудівних підприємств України, зменшення кількості зварних з'єднань, особливо поперечних, або розташування їх у найменш навантажених зонах, забезпечення повного проплавлення всіх зварних з'єднань, по можливості виконання двостороннього зварювання з розділкою кромок. Розроблено технологічну інструкцію збирання та зварювання бокової рами, а також відповідне спеціалізоване оснащення. Вони забезпечують точність збирання елементів конструкції та низький рівень залишкових деформацій, виконання зварювання з високою якістю, додаткову обробку та неруйнівний контроль найбільш небезпечних ділянок зварних з'єднань, зменшення загальних трудових затрат і часу на виготовлення виробу.

Потрібно відзначити, що розроблена суцільнозварна бокова рама порівняно з литою конструкцією має зменшену масу (405 кг) приблизно

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

на 10 %, і цей показник може бути ще поліпшений за подальшої оптимізації. Як відомо, зниження непересорних мас поліпшує ходові характеристики візків залізничних вагонів. Також розроблена технологія збирання і зварювання дає можливість забезпечити точність базових розмірів бокової рами в межах  $\pm 1$  мм. У свою чергу, це виключає перекіс осей колісних пар візка і, відповідно, зменшує зношення коліс.

Згідно з розробленою конструкцією і технологічним процесом на спеціалізованому обладнанні виготовлено два дослідних зразки бокової рами (рис. 11, *a, б*) і проведено прискорені випробування на втому (рис. 11, *в*) за вимогами чинних українських стандартів, наприклад [4], із залученням для технічної і консультаційної допомоги авторитетної організації ДП «УкрНДІВ» (м. Кременчук).

Результати випробувань на втому показали таке. У зразку зварної бокової рами № 1 після дії  $N_{i\_тр} = 8,8$  млн циклів вертикального навантаження (амплітуда  $P_{ai} = 245$  кН = 25 тс та постійного середнього навантаження циклу  $P_m = 363$  кН = 37 тс) утворилась перша макротріщина в основному металі на бічній стінці між нижнім поясом та опорною поверхнею пружин. Під час продовження регулярних навантажень тріщина повільно розвивалась у нижній пояс і фактично

не розвивалася на опорній поверхні пружин. Після 11,6 млн циклів у зоні поперечного зварного стикового з'єднання деталей бічної стінки утворилася друга макротріщина, яка і призвела до руйнування за  $N_{i\_р} = 13$  млн циклів (рис. 12, *a*). Візуальний аналіз зламу виявив що друга тріщина утворилася внаслідок дефекту несущільності, а саме неповного проплавлення зварного стику (рис. 12, *б*).

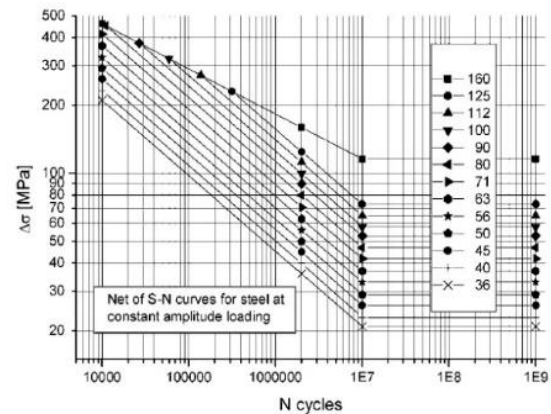


Рис. 10. Узагальнені криві Веллера для різних класів FAT зварних з'єднань зі сталі для нормальних номінальних напружень за  $N < 10^9$  циклів [16]

Fig. 10. Generalised Weller curves for different FAT classes of welded steel joints for normal nominal stresses at  $N < 10^9$  cycles [16].

*a – a*



*б – б*



*в – в*



Рис. 11. Дослідні зразки суцільнозварної бокової рами:

*a* – під час збирання та зварювання конструкції на спеціалізованому обладнанні;  
*б* – після зварювання і термообробки; *в* – під час прискорених випробувань на опір втому

Fig. 11. Prototypes of an all-welded side frame:

*a* – during assembly and welding of the structure on specialised equipment;  
*b* – after welding and heat treatment; *c* – during accelerated fatigue tests

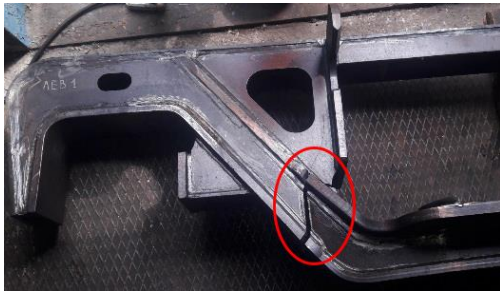
У зразку № 2 після  $N_{i\_тр} = 5,0$  млн циклів утворилась макротріщина на нижньому поясі в буксовому прорізі в зоні радіусного переходу R55, після  $N_{i\_р} = 5,4$  млн циклів відбулось руйнування (рис. 13, *a*). Візуальний аналіз зламу виявив, що тріщина утворилася в зоні поздовжнього кутового зварного з'єднання (рис. 13, *б*).

Узагалі циклічна довговічність двох дослідних зразків зварної бокової рами в режимі навантаження  $37 \pm 25$  тс у 2–4 рази перевищила циклічну довговічність литих рам, навіть зміцнених технологією високочастотного механічного проковування [8]. При цьому експериментально встановлена довговічність зварних рам у десятки

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

разів перевищує розрахункове допустиме число циклів до руйнування, яке для режиму навантаження  $37 \pm 25$  тс для литих рам складає  $[N_p] = 0,345 \cdot 10^6$  [8]. Слід відзначити, що зразок зварної бокової рами № 1 показав високе значення відносної живучості

*a – a*



$$Ж = (N_{i,р} - N_{i,тр}) / N_{i,р} = 0,32,$$

а за абсолютною величиною живучість зварного зразка перевищує у кілька разів довговічність стандартної литої рами (без додаткових зміцнювальних обробок).

*б – б*



Рис. 12. Руйнування дослідного зразка № 1 суцільнозварної бокової рами після прискорених випробувань на втому:

*a* – частина бокової рами з поперечним зварним стиковим з'єднанням (червоним виділена зона руйнування);  
*б* – зона руйнування

Fig. 12. Fracture of prototype No. 1 of the all-welded side frame after accelerated fatigue tests:

*a* – a part of the side frame with a transverse welded butt joint (fracture zone is highlighted in red); *b* – fracture zone

Таким чином, експериментально підтверджено високі показники опору втомі дослідних зразків розробленої в ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України конструкції суцільнозварної бокової рами візка вантажного вагона з осьовим навантаженням 23,5 тс. Для визначення фактичних

*a – a*



значень границі витривалості та коефіцієнта запасу опору втомі необхідно провести повний комплекс випробувань суцільнозварних бокових рам, і в разі отримання позитивних результатів їх можна буде рекомендувати до впровадження на залізницях колії 1 520 мм.

*б – б*



Рис. 13. Руйнування дослідного зразка № 2 суцільнозварної бокової рами після прискорених випробувань на втому:

*a* – бокова рама в зоні радіусного переходу R55 буксового отвору (зона зламу виділена червоним); *б* – зона зламу

Figure 13. Fracture of the prototype No. 2 of the all-welded side frame after accelerated fatigue tests:

*a* – side frame in the zone of radial transition R55 of the axle hole (fracture zone is highlighted in red);  
*b* – fracture zone

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Важливим питанням упровадження зварних конструкцій елементів візка є їх конкурентоспроможність із литими конструкціями. Для обґрунтування економічної доцільності проведено попередній розрахунок собівартості виготовлення суцільнозварної бокової рами (табл. 3). Згідно з аналізом пропозицій продажу (на березень 2019 року) вартість литої бокової рами різних виробників складала 36...70 тис. грн. Тобто собівартість виготовлення суцільнозварної бокової рами (33,6 тис. грн) є цілком конкурентоспроможною.

Отже, економічні переваги суцільнозварних бокових рам візка вантажного залізничного вагона над тими, що виготовлені ливарним методом, такі:

- конкурентоспроможна собівартість виготовлення;
- збільшення міжремонтного пробігу та гарантійного терміну експлуатації;
- виключення перекосу осей колісних пар, що суттєво зменшує зношення коліс,
- низькі витрати на впровадження у виробництво порівняно з ливарною технологією;
- гнучкість технології зварювання з точки зору обсягів виробництва та модернізації конструкції, яку виготовляють.

Таблица 3

**Собівартість виготовлення суцільнозварної бокової рами візка вантажного вагона (дані на 2019 рік)**

Table 3

**Production cost of an all-welded side frame of a freight car bogie (Data for 2019)**

№	Статті витрат	Вартість, грн
1	Листовий метал (645 кг)	13 415
2	Механічна обробка деталей (різання – 24,3 м, обробка кромки – 56 м, згинання – 6 шт.)	2 550
3	Зварювальний дріт (100,3 кг)	4 010
4	Захисна газова суміш CO <sub>2</sub> +Ar (139 л)	1 395
5	Післязварювальна термообробка (650 °C, 3 год)	4 300
6	Електроенергія для зварювання та різання (420 кВт·год)	0,835
7	Заробітна плата робочого персоналу (78,5 людино-годин)	7 095
	Усього	<b>33 600</b>

**Наукова новизна та практична значимість**

Згідно з вимогами чинних в Україні стандартів із розрахунку на міцність залізничних вагонів, а також із використанням сучасних розрахункових підходів щодо визначення опору втомі зварних з'єднань несучих конструкційних елементів, під дією заданого спектру навантажень розроблено нову суцільнозварну конструкцію бокової рами триелементного візка вантажного вагона з осьовим навантаженням 23,5 тс, що є взаємозамінною за габаритами й посадковими розмірами з литою конструкцією бокової рами

візка типу 18–100 і має високі характеристики надійності та довговічності.

**Висновки**

Розробку конструкції суцільнозварної бокової рами з листового прокату з низьколегованої сталі типу 09Г2С для триелементного візка вантажного вагона з осьовим навантаженням 23,5 тс виконано відповідно до чинних в Україні стандартів із розрахунку на міцність залізничних вагонів, а також сучасних розрахункових підходів щодо визначення опору втомі зварних з'єднань, з урахуванням наявного на ва-

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

гонобудівних підприємствах України рівня технологічних можливостей складання і зварювання деталей із забезпеченням вимог щодо якості та несучої здатності виробу. Розроблено промислове оснащення для складання і зварювання бокової рами, а також технологічну інструкцію для її виготовлення.

Виготовлено два дослідні зразки суцільнозварних бокових рам і проведено прискорені випробування на опір втомі за збільшеного навантаження  $37 \pm 25$  тс, за результатами яких експериментально встановлено, що циклічна довговічність цих зразків у 2...4 рази перевищує циклічну довговічність литих бокових рам.

Нова конструкція і технологія виготовлення зварної бокової рами забезпечують точність її базових розмірів у межах  $\pm 1$  мм, зменшують вагу невіднесених мас не менш як на 10 %, що повинно знизити зношення коліс, поліпшити ходові характеристики візків залізничних вагонів, збільшити їх міжремонтний пробіг та гарантійний термін експлуатації.

Важливою перевагою розробки є також зниження собівартості виробництва суцільнозварних бокових рам порівняно з технологією ливарного виробництва, гнучкість технології збирання та зварювання з точки зору об'єгів виробництва, модельного ряду та модернізації конструкції та загалом її конкурентоспроможність.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Багров О. М. Бокові рами візків вантажних вагонів. Експлуатація. Проблеми та їх вирішення. *Залізничний транспорт України*. 2016. Вип. 1–2. С. 29–34.
2. Багров О. М. Оцінка технологічної точності виготовлення литих надресорних балок та бокових рам візків вантажних вагонів. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2016. № 1 (225). С. 17–21.
3. Бороненко Ю. П., Орлова А. М. Обобщение накопленного опыта проектирования тележек грузовых вагонов для создания их типоразмерного ряда. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2004. Вип. 5. С. 25–29.
4. Голубенко А. Л., Губачева Л. А., Андреев А. А., Мокроусов С. Д. Особенности рамы тележки грузового вагона и усталостная выносливость. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2013. № 9 (1). С. 7–16.
5. ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [Чинний від 01.07.2015]. Київ : Держстандарт України, 2015. 162 с.
6. *Зварна бокова рама візка вантажного залізничного вагона* : пат. 95960 Україна : В61F5/52; заявл. 31.07.2014; опубл. 12.01.2015, Бюл. № 1.
7. Ловська А. О., Равлюк В. Г., Візник Р. І., Гребенюк В. А. *Експлуатаційні властивості транспортних засобів* : конспект лекцій. Харків : УкрДУЗТ, 2016. Ч. 2. 61 с.
8. Книш В. В., Мордюк Б. М., Прокопенко Г. І., Соловей С. О., Линник Г. О., Волочай В. В., Попова Т. В. Подовження терміну експлуатації конструкцій і споруд високочастотною механічною проковкою. *Праці VI Міжнародної науково-технічної конференції «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування»* (Тернопіль, 24-27 вер. 2019 р.). Тернопіль : ТНТУ, 2019. С. 157–160.
9. Манкевич Н. Б. Динамика грузовых вагонов на тележках модели 18-1711 с разной конструкцией клиньев рессорного подвешивания. *Наука та прогрес транспорту*. 2014. № 1 (49). С. 142–150.
10. Манкевич Н. Б. *Усовершенствование конструкции литых деталей двухосных тележек грузовых вагонов* : дис. ... канд. техн. наук. Днепропетровск, 2015. 262 с.
11. Махненко В. И., Гарф Э. Ф., Римский С. Т., Галинич В. И., Махненко О. В., Юхимец П. С., ..., Варенчук П. А. Проект сварной надресорной балки тележек грузовых вагонов. *Автоматическая сварка*. 2006. № 4. С. 3–10.
12. Радзиховский А. А. Системный подход к проектированию тележек для грузовых вагонов с повышенными осевыми нагрузками. *Вагонный парк*. 2008. № 8. С. 10–16.
13. Сотніков К. М., Морозов В. О. *Технічне обслуговування та ремонт вагонів* : навчальний посібник. Харків : ТО «Ексклюзив», 2014. 204 с.
14. *СТП 04-019:2018. Вагони вантажні. Ремонт візків. Правила виконання*. Київ : Акціонерне товариство «Українська залізниця», 2018. 100 с.

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

15. *DocRail*. URL: <https://docrail.fr/les-trains-demarchandises-et-la-grande-vitesse-les-mv-160/2015-2022>
16. Hobacher A. F. *Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components (IIW Collection)*. Springer, 2nd ed. 2016 edition. 143 p.
17. Lobanov L. M., Makhnenko O. V., Knysh V. V., Solovej S. A. and Pavlovskiy V. I. Development of welded structure of side frame of freight car bogie of increased reliability. *The Paton Welding Journal*. 2020. Vol. 2020. Iss. 3. P. 13–18. DOI: <https://doi.org/10.37434/tpwj2020.03.02>
18. Makhnenko O. V., Saprykina G. Yu., Mirzov I. V., Pustovoj A. D. Prospects for development of load-carrying elements of freight car bogie. *The Paton Welding Journal*. 2014. Vol. 2014. Iss. 3. P. 33–38. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2014.03.06>
19. Reidemeister O. G., Shykunov O. A. Sensitivity of stresses to the forces acting on the cast parts of freight-car bogie. *Science and Transport Progress*. 2018. № 4 (76). P. 125–133. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/141186>

L. M. LOBANOV<sup>1</sup>, O. V. MAKHNENKO<sup>2</sup>, V. I. PAVLOVSKY<sup>3</sup>, G. YU. SAPRYKINA<sup>4\*</sup>,  
A. D. PUSTOVOY<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Dep. of Optimizing of Advanced Welded Structures, E. O. Paton Institute of Electric Welding of the NAS of Ukraine, Kazymyr Malevych St., 11, Kyiv, Ukraine, 03150, tel. +38 (044) 287 24 55, e-mail [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua), ORCID 0000-0001-9296-2335

<sup>2</sup>Dep. of Mathematical Methods of Studies of Physical-Chemical Processes in Welding and Special Electrometallurgy, E. O. Paton Institute of Electric Welding of the NAS of Ukraine, Kazymyr Malevych St., 11, Kyiv, Ukraine, 03150, tel. +38 (044) 205 24 98, e-mail [makhnenko@paton.kiev.ua](mailto:makhnenko@paton.kiev.ua), ORCID 0000-0002-8583-0163

<sup>3</sup>Dep. of Mathematical Methods of Studies of Physical-Chemical Processes in Welding and Special Electrometallurgy, E. O. Paton Institute of Electric Welding of the NAS of Ukraine, Kazymyr Malevych St., 11, Kyiv, Ukraine, 03150, tel. +38 (097) 650 68 80, e-mail [viktor\\_pavlovski@ukr.net](mailto:viktor_pavlovski@ukr.net), ORCID 0000-0002-5441-3447

<sup>4\*</sup>Dep. of Mathematical Methods of Studies of Physical-Chemical Processes in Welding and Special Electrometallurgy, E. O. Paton Institute of Electric Welding of the NAS of Ukraine, Kazymyr Malevych St., 11, Kyiv, Ukraine, 03150, tel. +38(044) 205 25 98, e-mail [gala\\_sapr@ukr.net](mailto:gala_sapr@ukr.net), ORCID 0000-0003-1534-7253

<sup>5</sup>Dep. of Mathematical Methods of Studies of Physical-Chemical Processes in Welding and Special Electrometallurgy, E. O. Paton Institute of Electric Welding of the NAS of Ukraine, Kazymyr Malevych St., 11, Kyiv, Ukraine, 03150, tel. +38 (093) 489 30 55, e-mail [pustovoyad@gmail.com](mailto:pustovoyad@gmail.com), ORCID 0000-0003-0027-3722

## Advantages of an All-Welded Freight Car Bogie Side Frame

**Purpose.** Railway safety during the operation of freight cars largely depends on the reliability, fatigue resistance and durability of the cast bearing elements of the three-element bogie, especially the side frames. Premature failure of cast frames occurs mainly due to undetected latent defects in the foundry. To eliminate these problems, it is advisable to develop an alternative native all-welded side frame for a bogie with an axle load of 23.5 tnf, which can be interchangeable with the cast structure. **Methodology.** Mathematical modelling approaches were used to determine the stress-strain state of an all-welded structure under the influence of regulated loads and to assess its strength in accordance with current national and modern world standards. **Findings.** Prototypes of the all-welded side frame structure were subjected to accelerated fatigue tests. The tests have experimentally proved that the cyclic durability of the developed side frame is significantly (2...4 times) higher than the cyclic durability of cast side frames. **Originality.** A comparative analysis of the permissible stress amplitudes in different zones of the all-welded side frame during long-term operation based on  $10^7$  load cycles in accordance with the current standard for the strength of railway cars and modern approaches to determining the fatigue resistance of welded joints showed the insufficient conservatism of the national standard for assessing the fatigue strength of welded joints, which was taken into account when developing a new design of the all-welded side frame. **Practical value.** In addition to increasing reliability, possible increase in overhaul mileage and warranty period of side frames by ensuring a high level of fatigue resistance and durability, the welded structure can ensure the accuracy of the base frame size, reduce the weight of unsprung masses, which should reduce wheel wear and improve the running characteristics of railway carriage bogies. Reducing the cost of introducing all-welded side frames into mass production compared to the use of foundry technology for the manufacture of these structures and the fact that the cost of manufacturing an all-welded side frame is generally competitive with a cast structure is also one of the important advantages of our development.

Keywords: freight railway car; three-element bogie; side frame; all-welded structure; load spectrum; stress-strain state; mathematical modelling; fatigue tests; reliability; cyclic durability; survivability

## LIST OF REFERENCE LINKS

1. Bahrov, O. M. (2016). Bokovi ramy vizkiv vantazhnykh vagoniv. Ekspluatatsiia. Problemy ta yikh vyrishennia. *Railway transport of Ukraine, 1-2*, 29-34. (in Ukrainian)
2. Bahrov, O. M. (2016). The evaluation of manufacturing accuracy of cast bolster and side frame production for freight car bogies. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 1(225)*, 17-21. (in Ukrainian)
3. Boronenko, Yu. P., & Orlova, A. M. (2004). Obobshchenie nakoplenogo opyta proektirovaniya telezhek gruzovykh vagonov dlya sozdaniya ikh tiporazmernogo ryada. *Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 5*, 25-29. (in Russian)
4. Golubenko, A. L., Gubacheva, L. A., Andreev, A. A., & Mokrousov, S. D. (2013). Features the bogie frame freight wagons and fatigue strength. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 9(1)*, 7-16. (in Russian)
5. DSTU 7598:2014 Vaghony vantazhni. Zaghaljni vymoghy do rozrakhunkiv ta proektuvannja novykh i modernizovanykh vagoniv koliji 1520 mm (nesamokhidnykh). (2015). Kyev: Derzhstandart Ukrainy (in Ukrainian)
6. Paton, B. Y., Lobanov, L. M., Pavlovskiy, V. I., Lashko, A. A. (2015). *UA Patent № 95960 Ukrainyskyi instytut intelektualnoi vlasnosti* (Ukrpatent). (in Ukrainian)
7. Lovsjka, A. O., Ravljuk, V. Gh., Viznjak, R. I., & Ghrebenjuk, V. A. (2016). *Ekspluatacijni vlastyvosti transportnykh zasobiv: konspekt lekcij* (Vol. 2). Kharkiv: UkrDUZT. (in Ukrainian)
8. Knysh, V. V., Mordjuk, B. M., Prokopenko, H. I., Solovei, S. O., Lynnyk, H. O., Volochai, V. V., & Popova, T. V. (2019). Podovzhennia terminu ekspluatatsii konstruksii i sporud vysokochastotnoiu mekhanichnoiu prokovkoiu. In *Proceeding of the International Scientific and Technical Conference «In-Service Damage of Materials, its Diagnostics and Prediction»* (pp. 157-160). Ternopil, Ukraine. (in Ukrainian)
9. Mankevich, N. B. (2014). Dinamika gruzovykh vagonov na telezhkakh modeli 18-1711 s raznoy konstruksiey klinev resornogo podveshivaniya. *Science Transport Progress, 1(49)*, 142-150. (in Ukrainian)
10. Mankevich, N. B. (2015). *Improving the Design of Cast Parts for Two-Axle Bogies of Freight Cars* (PhD dissertation). Dnepropetrovsk, Ukraine. (in Russian)
11. Makhnenko, V. I., Garf, E. F., Rimskiy, S. T., Galinich, V. I., Makhnenko, O. V., Yukhimets, P. S., ..., & Varenchuk, P. A. (2006). Proekt svarnoy nadressornoy balki telezhek gruzovykh vagonov. *Automatic Welding, 4*, 3-10. (in Russian)
12. Radzikhovskiy, A. A. (2008). Sistemnyy podkhod k proektirovaniyu telezhek dlya gruzovykh vagonov s povyshennymi osevyimi nagruzkami. *Vagonnyy park, 8*, 10-16. (in Russian)
13. Sotnikov, K. M., & Morozov, V. O. (2014). *Tekhnichne obslughovuvannja ta remont vagoniv: navchalnyj posibnyk*. Kharkiv: TO «Ekskljuzyv». (in Ukrainian)
14. STP 04-019:2018. Vaghony vantazhni. Remont vizkiv. Pravyly vykonannja. (2018). Kyiv: Akcionerne tovarystvo «Ukrainsjka zaliznycja». (in Ukrainian)
15. *DocRail*. Retrieved from <https://docrail.fr/les-trains-demarchandises-et-la-grande-vitesse-les-mv-160/2015-2022> (in French)
16. Hobacher, A. F. (2016). *Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components (IIW Collection)*. Springer. (in English)
17. Lobanov, L. M., Makhnenko, O. V., Knysh, V. V., Solovej, S. A., & Pavlovskiy, V. I. (2020). Development of welded structure of side frame of freight car bogie of increased reliability. *The Paton Welding Journal, 2020(3)*, 13-18. DOI: <https://doi.org/10.37434/tpwj2020.03.02> (in English)
18. Makhnenko, O. V., Saprykina, G. Yu., Mirzov, I. V., & Pustovoj, A. D. (2014). Prospects for development of load-carrying elements of freight car bogie. *The Paton Welding Journal, 2014(3)*, 33-38. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2014.03.06> (in English)
19. Reidemeister, O. G., & Shykunov, O. A. (2018). Sensitivity of stresses to the forces acting on the cast parts of freight-car bogie. *Science and Transport Progress, 4(76)*, 125-133. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/141186> (in English)

Надійшла до редколегії: 30.08.2022

Прийнята до друку: 26.12.2022

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 624.21.09:[625.1:539.3]

М. В. ГЕРНИЧ<sup>1\*</sup>, С. В. КЛЮЧНИК<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (093) 874 33 55, ел. пошта gernich.nikolau@gmail.com, ORCID 0000-0002-5069-4798

<sup>2</sup>Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (067) 367 34 34, ел. пошта ssser05@ukr.net, ORCID 0000-0001-7771-8377

### Результати натурних досліджень напружено-деформованого стану сталезалізобетонної прогонової будови залізничного мосту

**Мета.** Основною метою дослідження є визначення напружено-деформованого стану та робочих характеристик наявної сталезалізобетонної прогонової будови під залізницю після тривалої експлуатації в разі сприйняття статичних і динамічних навантажень. **Методика.** Для досягнення мети проведено натурні обстеження наявного мостового переходу в цілому, основну увагу зосереджено на сталезалізобетонній прогонової будові, визначено умови та особливості її експлуатації, проведено статичні і динамічні випробування. Під час випробувань вимірювали загальні деформації прогонових будов (вертикальні й горизонтальні прогини) та напружений стан в елементах конструкцій за різних схем навантажень. У ході динамічних випробувань проводили реєстрацію статичних і динамічних складових прогинів та зміни напружень в елементах конструкцій під час проходження рухомого складу по прогонової будові. Досліджено взаємодію прогонової будови з рухомим складом, вплив нерівностей підходів до мосту на збудження рухомого складу. **Результати.** Отримано величини напружень в елементах сталезалізобетонної прогонової будови за умови встановлення такого випробувального навантаження, за якого в випробувальних елементах повинні виникати найбільші напруження та деформації. Виміряно частоти власних та вимушених коливань прогонової будови, динамічний коефіцієнт, визначено динамічні прогини головних балок, величини декрементів коливань частоти власних та вимушених коливань. Досліджено динамічну взаємодію рухомого складу зі сталезалізобетонною прогоною будовою. Підтверджено аналітичні припущення, узяті під час проектування сталезалізобетонних прогонових будов мостів. **Наукова новизна.** У роботі проведено дослідження напружено-деформованого стану сталезалізобетонної прогонової будови залізничного мосту після тривалої експлуатації, сумісної роботи прогонової будови з рухомим складом. **Практична значимість.** Визначено умови роботи сталезалізобетонної прогонової будови залізничного мосту, статичні й динамічні характеристики її роботи, взаємодії рухомого складу з прогоною будовою, вплив нерівностей колії підходів до мосту на динамічну взаємодію прогонової будови й рухомого складу. Практично підтверджено аналітичні розрахунки деформаційних і динамічних характеристик сталезалізобетонних прогонових будов мостів. Сумісна робота сталевої балки та залізобетонної плити забезпечена в достатній мірі і відповідає теоретичним припущенням.

*Ключові слова:* дослідження; сталезалізобетон; напруження; деформації; залізничний міст; прогонова будова; сумісна робота

#### Вступ

Дотримання показників ефективності конструкції прогонових будов мостів є одним із ключових напрямів розвитку мостобудування. Особливо ці питання актуальні в умовах відбудови транспортної інфраструктури держави, яка зазнала значних руйнувань під час війни.

Використання металевих балок тривалого зберігання (мобілізаційного резерву) перетворених у сталезалізобетонні прогонові будови мостів, шляхом поєднання у їх сумісну роботу із залізобетонною плитою проїзної частини, забезпечить раціональне використання наявного матеріального ресурсу [2]. Тому доцільне подальше дослідження властивостей та експлуатаційних

характеристик сталезалізобетонних прогонових будов мостів.

Сталезалізобетонні прогонові будови мостів є одним із прикладів об'єднання двох матеріалів з різними фізико-механічними властивостями – сталі та залізобетону – в сумісну роботу, що дозволяє їм оптимально працювати в розтягнутій та стиснутій зонах перерізу.

Порівняно із суто металевими та суто залізобетонними прогонами будовами сталезалізобетонні мають такі переваги [6, 8]:

- зменшення витрат металу, на відміну від металевих прогонових будов;
- зменшення ваги, на відміну від залізобетонних прогонових будов;
- підвищенні загальної жорсткості;
- підвищення несучої здатності;
- нескладна конструкція вузлових з'єднань;
- можливість нескладного проведення підсилення конструкції;
- кращі експлуатаційні характеристики: проїзна частина служить довше за рахунок більшої жорсткості плити, шум від потяга менший;
- економія часу, витраченого на будівництво, за рахунок збірності конструкцій.

До основних недоліків можна віднести:

- порівняно складніший розрахунок;
- необхідність забезпечення надійної сумісної роботи сталевих та залізобетонних частин перерізу без зсувів.

Сучасні тенденції мостобудування пов'язані з використанням нових високоміцних матеріалів, удосконаленням конструктивних форм та методів розрахунку, що призводить до полегшення конструкцій, та відповідно, зменшення їх жорсткості, підвищення чутливості до динамічних впливів. У свою чергу сталезалізобетонні прогонові будови мостів мають порівняно більшу жорсткість. Також залишається актуальним збереження й розвиток наявних мостових споруд, можливість використання прогонових будов, виготовлених за типовими проектами в другій половині минулого століття, для задоволення сучасних вимог.

Сталезалізобетонні прогонові будови мостів застосовують в усьому світі з 50-х років ХХ століття. Використання цих конструкцій розповсюджено і в Україні, зокрема на залізничці близько 11 % від загальної кількості мостів із прогонами 24–36 м є сталезалізобетонними.

Тому можна вважати, що вже накопичено достатній досвід із будівництва та експлуатації цих конструкцій.

Напружено-деформований стан окремо залізобетону і сталі та сталезалізобетонних прогонових будов достатньо вивчений [12, 13]. Стан нормативної бази проектування в Україні дає можливість доволі чітко розуміти та якісно прогнозувати роботу сталезалізобетонних прогонових будов мостів. Видано ряд державних будівельних норм України (ДБН) в галузі мостобудування [3–5], з середини 2013 року в Україні було видано Єврокоди (Eurocode 4) [7].

### Мета

Основною метою є дослідження визначення величин напружень в елементах конструкції, деформацій головних балок наявної сталезалізобетонної прогонової будови під дією навантаження.

Для досягнення сформульованої мети потрібно розв'язати такі завдання:

1. Провести обстеження наявного мостового переходу в цілому та сталезалізобетонної прогонової будови зокрема, визначити умови та особливості її експлуатації.

2. Провести статичні випробування за умови встановлення такого випробувального навантаження, за якого у випробовуваних елементах повинні виникати найбільші напруження та деформації.

3. Провести динамічні випробування, вимірювання частот власних та вимушених коливань прогонової будови, визначити динамічні прогини головних балок, величини декрементів коливань.

### Методика

Дослідження провела ГНДЛ штучних споруд Українського державного університету науки і технологій. Досліджено однопрогоновий сталезалізобетонний міст з їздою на баласті, споруджений у 1973 році на ділянці залізничці Кривий Ріг – Сортувальна – Апостолове. Міст розташований на прямій із поздовжнім ухилом  $i=1,5\%$  у бік Кривого Рогу.

Суцільна прогонова будова  $L_p=33,6$  м,  $L_n=34,2$  м була виготовлена за проектом Ленгіпротрансмосту (інв. № 133411) під залізничне навантаження С14. Головні балки – зварні зі

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

сталі 15ХСНД, об'єднані між собою поздовжніми та поперечними зв'язками (рис. 1).

По фасаді головних балок установлені тільки вертикальні ребра жорсткості. Висота головної балки – 250 см, відстань між осями головних балок – 200 см, товщина стінки вертикального листа – 12 мм, вага металу прогонової будови – 46,8 т.

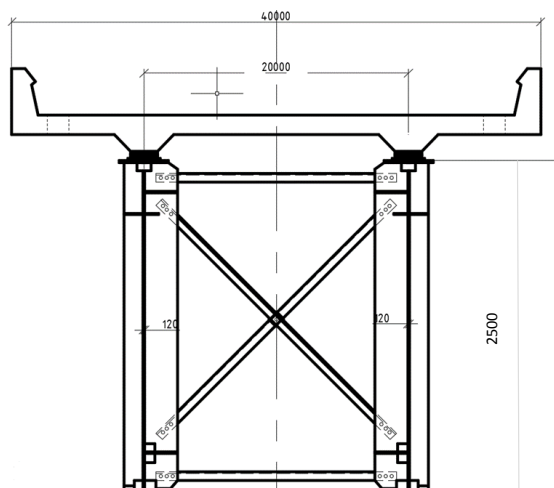


Рис. 1. Поперечний переріз прогонової будови

Fig. 1. Cross section of a span structure

Мостове полотно з їздою на баласті – збірна залізобетонна плита баластового корита, виконана із залізобетонних блоків, об'єднаних із верхнім поясом головних балок для сумісної роботи. Матеріал залізобетонних блоків – бетон М–400, стики омонолічені бетоном М–500.

Під час проведення статичних випробувань як випробувальне навантаження використовували два розташовані по кінцях електровози типу ЧС–2, вагон–лабораторію та чотири завантажені до повної вантажопідйомності чотирьохвісні піввагони. У ході випробувань встановлювали таке навантаження прогонової будови, за якого у випробувальних елементах повинні виникати найбільші напруження та деформації  $P_1 = 20,5$  т,  $P_2 = 22$  т (рис. 2).

Для вимірювання фібрових деформацій в елементах прогонової будови використовували тензорезистори, наклеєні на поверхню елементів прогонової будови. Вимірювальний комплекс для статичних і динамічних випробувань, окрім датчиків-перетворювачів (тензорезисторів), містив перехідний блок із двома спайдерами і ноутбук (рис. 3).

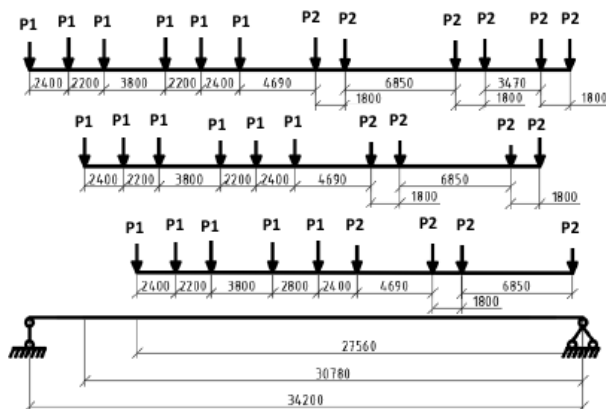


Рис. 2. Схема завантаження прогонової будови під час статичного випробування

Fig. 2. Scheme of loading of a span structure during a static test



Рис. 3. Вимірювальний комплекс

Fig. 3. Measuring complex

Аналогові електричні сигнали від тензорезисторів через екрановані кабелі надходили на спайдери, де перетворювались на цифрові сигнали, які після підсилення надходили в пам'ять ноутбука. Прогини балок реєстрували за допомогою прогиномірів Аістова типу 6–ПАО з точністю вимірювань 0,01 мм.

Схему встановлення вимірювальних приладів показано на рис. 4. Прилади № 1–6 – це тензорезистори, встановлені в середині прогону, прилади № 7–10 – прогиноміри Аістова типу 6–ПАО (№ 9 і 10 установлені в чверті прогону на відстані 8,4 м від рухомої опорної частини).

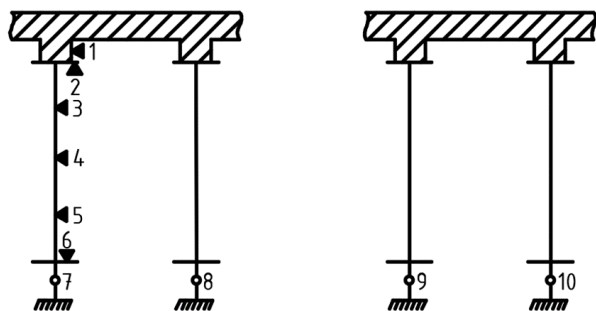


Рис. 4. Схема встановлення вимірювальних приладів

Fig. 4. Scheme of installation of measuring devices

Для визначення горизонтальної жорсткості прогонової будови вимірювали переміщення окремих точок мосту за допомогою індикаторів (месур) із ціною поділок 0,01 мм від статичного навантаження в горизонтальній площині, прикладеного щодо поруч розташованої прогонової будови (рис. 5).

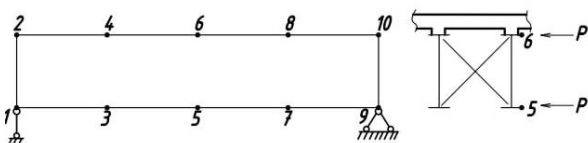


Рис. 5. Схема встановлення приладів для визначення горизонтальної жорсткості

Fig. 5. Scheme of installation of devices for determining horizontal stiffness

Під час проведення динамічних випробувань, вимірювань частот власних та вимушених коливань як навантаження використано вищезазначений зчеп, який виконував «човникові» заїзди зі швидкістю 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 117 км/год. Для кожної швидкості проводили від 6 до 12 заїздів.

### Результати

Під час обстеження мостового переходу дефектів, які могли впливати на роботу прогонової будови і тим самим на вантажопідйомність мосту та безпеку руху, не виявлено. Утворення тріщин у залізобетонних блоках у місцях омонолічувань та клеєвих з'єднань не виявлено. Для забезпечення нормальної експлуатації мосту й попередження розвитку корозії нижніх поясів головних балок та горизонтальних поздов-

жніх зв'язків проводять регулярний догляд та очищення цих елементів від сміття.

У процесі статичних випробувань за трьома схемами навантаження прогонової будови фіксували величини, зазначені в табл. 1, а саме:

- фіброві деформації у верхньому, нижньому поясах, а також у трьох точках (по висоті) вертикального листа в середині прогону (прилади 2, 3, 4, 5, 6);
- фіброві деформації в бетоні плити – у місці прикріплення до балки (прилад 1);
- вертикальні прогини у чвертях та в середині прогону (прилади 7, 8, 9, 10).

Таблиця 1

### Напруження та вертикальні переміщення від статичного навантаження

Table 1

#### Stresses and vertical displacements due to static load

№ приладу	Схема завантаження			Розмірність величин
	1	2	3	
1	-1,18	-1,76	-1,47	МПа
2	-4,90	-5,88	-3,92	МПа
3	0	0	0	МПа
4	12,75	15,40	12,65	МПа
5	15,00	14,42	12,94	МПа
6	39,82	41,87	38,15	МПа
7	12,15	12,36	12,13	мм
8	13,50	13,70	13,50	мм
9	8,08	7,60	7,20	мм
10	9,00	9,35	9,20	мм

Як видно з результатів випробувань, найбільші напруження в елементах прогонової будови виникли за схемою навантаження 2. Нейтральна вісь перерізу проходить через т. 3 за рахунок залучення до сумісної роботи металеві балки та залізобетонної плити проїзду. Вертикальні пружні переміщення відповідають нормативним значенням. Однак слід вказати, що вертикальні прогини в т. 8, 10 дещо більші ніж у т. 7, 9, це свідчить про те, що вісь колії на мосту зміщена від проектного положення.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Результати вимірювання горизонтальних переміщень точок прогонової будови за статичних навантажень наведено в табл. 2. Переміщення на опорах не були виявлені, тому до таблиці не внесені.

Таблиця 2

**Горизонтальні переміщення точок прогонової будови від дії статичного навантаження**

Table 2

**Horizontal displacements of span structure points under static load**

Сила $P$ , кН	Переміщення, мм (сила прикладена в т. 5)					
	3	4	5	6	7	8
22	0,25	0,15	0,45	0,20	0,25	0,20
44	0,55	0,30	1,00	0,40	0,55	0,30
88	1,00	0,65	2,20	0,90	1,15	0,62
110	1,70	0,90	2,95	1,25	1,55	0,89

У випадку центрального прикладання сили  $P$  в т. 5 (рис. 5) пружні деформації прогонової будови в горизонтальній площині майже симетричні, переміщення в т. 3 схожі з переміщеннями в т. 7, так само переміщення в т. 4 схожі з переміщеннями в т. 8.

Для вивчення впливу динаміки прогонової будови на коливання рухомого складу один з вагонів був обладнаний датчиками фіксування вертикальних сил  $V$ , що передаються від обресоленої частини екіпажу на кожне колесо, горизонтальних зусиль  $H$ , що діють на кожну вісь, вертикальних деформацій  $Z$ , трьох пружинних комплексів. За динамічних випробувань безперервні вимірювання приладами дали змогу побачити, рух вагона-еталона на підході до мосту, на прогоновій будові і за мостом, звичайно, автоматично фіксувались моменти виїзду на міст та з'їзду з нього.

Графічно показано залежність від швидкості руху значень горизонтальних сил  $H$  (рис. 6), вертикальних сил  $V$  (рис. 7), деформацій пружинних комплексів  $Z$  (рис. 8). На всіх графіках криві позначають: 1 – рух еталонного вагона перед мостом, 2 – по мосту, 3 – за мостом, 4 – рух по колії на підході до мосту.

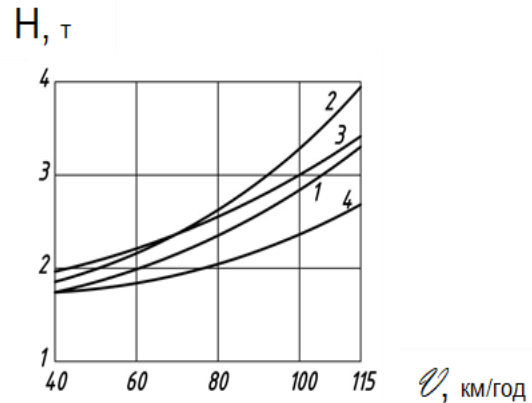


Рис. 6. Залежність горизонтальних сил від швидкості руху потяга

Fig. 6. Dependence of horizontal forces on train speed

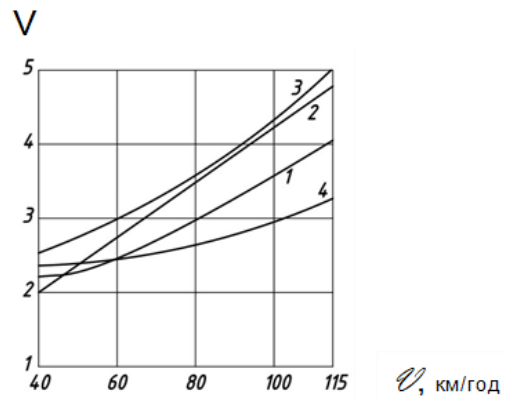


Рис. 7. Залежність вертикальних сил від швидкості руху потяга

Fig. 7. Dependence of vertical forces on train speed

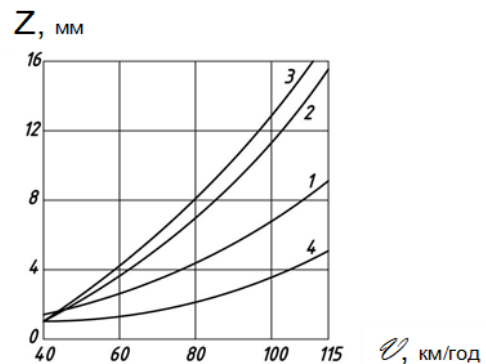


Рис. 8. Залежність деформації пружинних комплексів від швидкості руху потяга

Fig. 8. Dependence of spring set deformation on train speed

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Із графіків видно, що в разі збільшення швидкості руху від 50 до 117 км/год вертикальні сили збільшуються у 2,1 раза на мосту і в 1,8 раза на підходах до нього, у той же час горизонтальні сили – в 1,9 та в 1,7 раза відповідно. Найбільш чутливі до зміни швидкості руху потяга деформації пружинних комплектів на мосту у вказаному діапазоні швидкостей збільшуються в 9,7 раза, а перед ним у 5,6 раза.

Значні збудження, отримані під час руху по мосту, пояснюються не силами взаємодії мосту з рухомим складом, тобто не коливаннями самої прогонової будови, а наявністю значних передмостових нерівностей колії у вертикальній площині, у разі проходження яких рухомий склад зазнає збудження, що продовжується у вагоні під час руху по мосту. Подібні значні нерівності зустрічаються досить часто, підходи до мосту повинні бути рівномірними, тому оцінку динамічних якостей слід виконувати з урахуванням руху потяга на підходах, де часто наявні передмостові ями. Самі прогонові будови подібної конструкції та прогону не впливають на коливання рухомого складу [1].

Основні результати динамічних випробувань після обробки наведено в табл. 3.

Таблиця 3

**Характеристики прогонової будови, визначені за результатами динамічних випробувань**

Table 3

**Characteristics of the span structure determined by the results of dynamic tests**

№ з/п	Найменування величин	Одиниці виміру	Величина
1	Частота власних вертикальних коливань	Гц	4,60
2	Частота власних горизонтальних коливань	Гц	4,60
3	Декремент вертикальних коливань	–	0,25÷0,32
4	Декремент горизонтальних коливань	–	0,27÷0,3
5	Динамічний коефіцієнт	–	1,13

Розрахунковий період власних горизонтальних поперечних коливань для сталезалізобетонних прогонових будов залізничних мостів має бути не більше 0,01L і не перевищувати 1,5 с [5], у нашому випадку 0,336 с, що відповідає частоті коливань 2,97 Гц. Експериментальні значення 4,60 Гц отримано за однією формою власних коливань. Інші форми власних коливань не виявлено, що проблематично за недостатньо великої величини прогону та великої жорсткості сталезалізобетонної конструкції [9].

Декремент коливань найбільше залежить від матеріалу конструкції і для будівельних конструкцій ув більшості випадків становить:

- для сталевих конструкцій  $\delta = (0,04...0,15)$ ;
- для напружених залізобетонних конструкцій  $\delta = (0,07...0,25)$ ;
- для ненапружених залізобетонних конструкцій  $\delta = (0,15...0,45)$  [10].

Експериментальні значення декременту коливань сталезалізобетонної прогонової будови становлять у горизонтальному напрямі  $0,27\div 0,32$ , у вертикальній площині  $0,27\div 0,3$ , що відповідає нормальній роботі конструкції за сумісної роботи конструкції та достатньої жорсткості. На результати також впливає однопрогоновість мосту, та сили тертя в опорних частинах.

Динамічний коефіцієнт відповідає нормативним значенням для елементів сталевих та сталезалізобетонних прогонових будов (крім основних елементів головних ферм нерозрізних прогонових будов) незалежно від роду їзди (на баласті або поперечках):

$$(1 + \mu) = 1 + \frac{18}{30 + \lambda} = 1,28.$$

Отримане експериментальне значення динамічного коефіцієнта 1,13 свідчить про достатній запас міцнісних характеристик прогонової будови [11], належний експлуатаційний догляд і вплив сумісної роботи металеві балки та залізобетонної плити.

**Наукова новизна та практична значимість**

У роботі проведено дослідження напружено-деформованого стану сталезалізобетонної прогонової будови залізничного мосту після тривалої експлуатації під дією статичного

й динамічного навантаження та сумісної роботи прогонової будови з рухомим складом. Практична значимість полягає у визначенні умов роботи сталезалізобетонної прогонової будови залізничного мосту, статичних і динамічних її характеристик, взаємодії рухомого складу з прогоною будовою, вплив нерівностей колії підходів до мосту на динамічну взаємодію прогонової будови і рухомого складу. Практично підтверджено аналітичні розрахунки деформаційних і динамічних характеристик сталезалізобетонних прогонових будов мостів.

### Висновки

У результаті статичних і динамічних випробувань отримано дані, які свідчать про несучу здатність і деформаційні якості сталезалізо-

бетонної прогонової будови залізничного мосту після тривалого періоду експлуатації.

Знайдені значення прогинів, частот власних вертикальних і горизонтальних коливань вказують на те, що сумісна робота сталеві балки та залізобетонної плити забезпечена в достатній мірі та відповідає аналітичним припущенням.

Проведено перевірку роботи несучих конструкцій сталезалізобетонної прогонової будови залізничного мосту в експериментальному режимі під навантаженням від рухомого складу, перевірку якості будівельно-монтажних робіт і забезпечення безпеки руху й довговічності споруд залізничного проїзду.

Сталезалізобетонні споруди відповідають закладеним аналітичним припущенням та здатні забезпечувати стабільну роботу протягом тривалого часу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондарь Н. Г. *Как работают мосты*. Киев : Наукова думка, 1986. 118 с.
2. Гернич М. В., Ключник С. В., Співак Д. С. Сталезалізобетонні прогонові будови мостів для постконфліктного відновлення зруйнованої транспортної інфраструктури. *Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика*. 2021. № 19. С. 28–37.
3. ДБН В.2.3-26:2010. *Споруди транспорту. Мости і труби. Сталеві конструкції. Правила проектування*. [Чинний від 2010-12-28]. Київ : Мінрегіонбуд, України, 2011. 195 с.
4. ДБН В.1.2-15:2009. *Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження та впливи*. [Чинний від 2009-11-11]. Київ : Мінрегіонбуд, України, 2009. 83 с.
5. ДБН В.2.3-22:2009. *Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування*. [Чинний від 2009-11-11]. Київ : Мінрегіонбуд, України, 2009. 73 с.
6. Стороженко Л. І., Тимошенко В. М., Нижник О. В., Гасій Г. М., Мурза С. О. *Дослідження і проектування сталезалізобетонних структурних конструкцій*. Полтава : АСМІ, 2008. 262 с.
7. *Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Національний стандарт України*. Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. 167 с.
8. Корнієв М. М. *Сталеві мости : теоретичний та практичний посібник з проектування*. Київ : Вид-во «Ультрадрук», 2018. Т. 3. 542 с.
9. Редченко В. П. *Динамічні випробування мостів. Ч. 2 : вільні коливання, модальний контроль : монографія*. Дніпро : Пороги, 2017. 216 с.
10. Редченко В. П. *Особливості застосування спектрального аналізу при дослідженні коливань будівельних конструкцій* : монографія. Дніпропетровськ : Пороги, 2010. 95 с.
11. Ivanyuk, I., Vikhov, S., Vybranets, Y., Ivanyuk, Y. Theoretical research into spatial work of a steel-reinforced concrete statically indeterminate combined structure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. P. 13–22. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143023>
12. Kliuchnyk S., Ovchynnykov P. Study of Railway Steel Bridges' Behaviour in Order to Identify the Causes of Their Defects. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2022. Vol. 19. Iss. 3. P. 77–88. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.19.3.2022.3.7>
13. Krul Y., Kaplin R., Delyavsky M. Rationalization of the parameters of composite reinforced concrete superstructures under conditions of multi-criterion. *AIP Conference Proceedings 2077*. 2019. P. 020027-1–020027-7. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5091892>

M. V. HERNICH<sup>1\*</sup>, S. V. KLIUCHNYK<sup>2</sup><sup>1\*</sup>Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (093) 874 33 55, e-mail gernich.nikolau@gmail.com, ORCID 0000-0002-5069-4798<sup>2</sup>Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010 tel. +38 (067) 367 34 34, e-mail ssser05@ukr.net, ORCID 0000-0001-7771-8377

## Results of Full-Scale Studies of the Stress-Strain State of a Steel-Reinforced Concrete Span Structure of a Railway Bridge

**Purpose.** The main purpose of the study is to determine the stress-strain state and performance characteristics of an existing steel-reinforced concrete bridge span structure for a railway after long-term operation under static and dynamic loads. **Methodology.** To achieve the goal, the existing bridge crossing was inspected in situ, with the main focus on the steel-reinforced concrete span structure, the conditions and features of its operation were determined, and static and dynamic tests were performed. The tests measured the overall deformations of the span structures (vertical and horizontal deflections) and the stress state in the structural elements under different loading schemes. During the dynamic tests, static and dynamic components of deflections and changes in stresses in structural elements were recorded during the passage of rolling stock along the span structure. The interaction of the girder structure with the rolling stock and the influence of uneven approaches to the bridge on the excitation of the rolling stock were studied. **Findings.** The stresses in the elements of a steel-reinforced concrete span structure were obtained under the condition of setting a test load at which the greatest stresses and strains should occur in the test elements. The frequencies of natural and forced vibrations of the span structure, the dynamic coefficient, the dynamic deflections of the main beams, and the values of decrements of the vibrations of the natural and forced vibrations were measured. The dynamic interaction of the rolling stock with the steel-reinforced concrete span structure is investigated. The analytical assumptions made during the design of steel-reinforced concrete bridge spans were confirmed. **Originality.** The study investigates the stress-strain state of a steel-reinforced concrete bridge span after long-term operation and the joint operation of the span with rolling stock. **Practice value.** The operating conditions of a steel-reinforced concrete railway bridge span, static and dynamic characteristics of its operation, interaction of rolling stock with the span, and the influence of track irregularities of the bridge approaches on the dynamic interaction of the span and rolling stock were determined. The analytical calculations of deformation and dynamic characteristics of steel-reinforced concrete bridge spans have been practically confirmed. The joint operation of a steel beam and a reinforced concrete slab is sufficiently ensured and meets theoretical assumptions.

*Keywords:* research; reinforced concrete; stresses; deformations; railway bridge; span structure; joint operation

### REFERENCES

1. Bondar, N. G. (1986). *Kak robotayut mosty*. Kyiv: Naukova dumka. (in Russian)
2. HERNICH, M. V., KLIUCHNYK, S. V., & SPIVAK, D. S. (2021). Composite reinforced concrete bridge girders for post-conflict reconstruction of the destroyed transport infrastructure. *Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 19, 28-37.
3. *Sporudy transportu. Mosty i truby. Stalevi konstrukciji. Pravyla proektuvannja*, 195 DBN V.2.3-26:2010. (2010). (in Ukrainian)
4. *Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennja ta vplyvy*, 83 DBN V.1.2-15:2009. (2009). (in Ukrainian)
5. *Sporudy transportu. Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannja*, 73 DBN V.2.3-22:2009. (2009). (in Ukrainian)
6. Storozhenko, L. I., Tymoshenko, V. M., Nyzhnyk, O. V., Ghasij, Gh. M., & Murza, S. O. (2008). *Doslidzhennja i proektuvannja stalezalizobetonnykh strukturnykh konstrukcij*. Poltava: ASMI. (in Ukrainian)
7. *Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures. National standard of Ukraine*. (2012). Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. (in Ukrainian)
8. Kornijev, M. M. (2018). *Stalevi mosty : teoretychnyj ta praktychnyj posibnyk z proektuvannja* (Vol. 3). Kyiv: Ultraprint. (in Ukrainian)
9. Redchenko, V. P. (2017). *Dynamichni vyprovuvannja mostiv. Vol. 2: viljni kolyvannja, modalnyj kontrolj: monoghrafija*. Dnipro: Porogy. (in Ukrainian)
10. Redchenko, V. P. (2010). *Osoblyvosti zastosuvannja spektralnogo analizu pry doslidzhenni kolyvanj budivelnykh konstrukcij: monoghrafija*. Dnipropetrovsjk: Porogy. (in Ukrainian)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

---

11. Ivanyk, I., Vikhot, S., Vybranets, Y., & Ivanyk, Y. (2018). Theoretical research into spatial work of a steel-reinforced concrete statically indeterminate combined structure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 13-22. DOI: <https://doi.10.15587/1729-4061.2018.143023> (in English)
12. Kliuchnyk, S., & Ovchynnykov, P. (2022). Study of Railway Steel Bridges' Behaviour in Order to Identify the Causes of Their Defects. *Acta Polytechnica Hungarica*, 19(3), 77-88. DOI: <https://doi.10.12700/APH.19.3.2022.3.7>
13. Krul, Y., Kaplin, R., & Delyavsky, M. (2019). Rationalization of the parameters of composite reinforced concrete superstructures under conditions of multi-criterion. *AIP Conference Proceedings 2077*, 020027-1–020027-7. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5091892> (in English)

Надійшла до редколегії: 11.08.2022

Прийнята до друку: 13.12.2022

## УДК 69.059-047.38:[004.942:629.735-049.7]

О. В. ГОРДА<sup>1</sup>, Ю. М. ЧЕРВЯКОВ<sup>2</sup>, А. П. ГРИГОРОВСЬКИЙ<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Інформаційні технології проектування та прикладної математики», Київський національний університет будівництва і архітектури, просп. Повітрофлотський, 31, Київ, Україна, 03680, тел. +38 (050) 135 78 40, ел. пошта anaelg@ukr.net, ORCID 0000-0001-7380-0533

<sup>2</sup>ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва ім. В. С. Балицького», просп. В. Лобановського, 51, Київ, Україна, 03110, тел. +38 (067) 328 48 52, ел. пошта budmat68@gmail.com, ORCID 0000-0002-1326-6217

<sup>3\*</sup>ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва ім. В. С. Балицького», просп. В. Лобановського, 51, Київ, Україна, 03110, тел. +38(063) 155 05 12, ел. пошта a.grigorovski@gmail.com, ORCID 0000-0003-0009-2358

## Розробка будівельних інформаційних моделей процесу дистанційного обстеження аварійних будівель із використанням безпілотних літальних апаратів

**Мета.** Прийняття організаційно-технологічних рішень щодо ліквідації наслідків руйнувань будівель від понаднормових впливів через воєнні дії базується на оперативному отриманні інформації про технічний стан об'єкта. Проведення першочергових аварійно-рятувальних робіт безпосередньо після катастрофи чи аварії, коли є загроза людському життю, потребує швидкого прийняття таких рішень в умовах невизначеності щодо запобігання вторинним руйнуванням. У зв'язку з цим основною метою роботи є мінімізувати тривалість процесу прийняття рішень в умовах невизначеності шляхом оптимізації технології отримання інформації, тобто процесу обстеження з використанням автоматизованих дистанційно керованих літальних апаратів, у сукупності з будівельно-інформаційним моделюванням процесу отримання та обробки інформації про технічний стан об'єкта. **Методика.** Проаналізовано фактори впливу на несучу здатність та організаційно-технологічні особливості процесу втрати міцності бетонних і залізобетонних будівельних елементів у випадку підризу на їх поверхні відкритого заряду. Для складання інформаційної моделі динамічного руйнування враховано зростання та злиття мікротріщин під впливом прикладених напружень. **Результати.** Описано процес дистанційного обстеження пошкоджених у наслідок воєнних дій будівель з використанням безпілотних літальних апаратів. За результатами аналізу цього процесу розроблено методику інформаційного моделювання руйнувань будівель від позапроектних впливів. Наведено етапи побудови інформаційної моделі пошкодженого об'єкта. **Наукова новизна.** Уперше розроблено методику будівельно-інформаційного моделювання часткових руйнувань великопанельних будівель від позапроектних впливів для оптимізації організаційно-технологічних рішень із підсилення конструкцій в осередках таких руйнувань та можливості виконання термінових аварійно-рятувальних робіт. **Практична значимість.** Обґрунтовано зменшення тривалості та ризику прийняття неефективних рішень в умовах недостатньої інформації про пошкоджений об'єкт за рахунок інформаційного моделювання з використанням безпілотних літальних апаратів.

*Ключові слова:* великопанельна будівля; позапроектний вплив; руйнування; підсилення конструкцій; будівельно-інформаційне моделювання; аварійно-рятувальні роботи

### Вступ

Розробка організаційно-технологічних заходів із ліквідації наслідків руйнувань будівель від понаднормових впливів через воєнні дії потребує оперативного отримання інформації про технічний стан пошкодженого об'єкта, до того ж виконання першочергових аварійно-рятувальних робіт безпосередньо після катастрофи чи аварії потребує швидкого прийняття рішень в умовах невизначеності. Ефективність

аварійно-рятувальних і відновлювальних робіт залежить від своєчасної достовірної та об'єктивної інформації щодо місця та обсягів руйнувань від позапроектного впливу. Для отримання такої інформації можна використовувати безпілотні літальні апарати [9, 10].

У зв'язку з розширенням застосування та вдосконаленням безпілотних літальних апаратів і веб-камер задача розробки методів та алгоритмів збору й обробки даних моніторингу зон руйнування об'єктів набуває актуального

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

значення (рис. 1). Облік реального часу для опрацювання потоку зображень обумовлює різке збільшення необхідного обсягу обчислюва-

льного обладнання та витрат часу на виконання розрахунків. Альтернативою є застосування методів математичної морфології [3, 5, 6].



Рис. 1. Обстеження пошкоджених унаслідок воєнних дій будівель із використанням безпілотних літальних апаратів фахівцями ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва ім. В. С. Балицького» (м. Ірпінь, квітень 2022 р.)

Fig. 1. Examination buildings damaged as a result of military operations with the use of unmanned aerial vehicles by specialists of the SE «Research Institute of Construction Production named after V. S. Balytskyi» (Irpin, April 2022)

Актуальною є розробка нових цифрових методів і засобів, що відрізняються не тільки ефективним і якісним, але й швидким формуванням віртуального образу (цифрового зображення) об'єкта за рахунок зменшення обсягу необхідних розрахунків шляхом кодування відеоінформаційних сигналів. Цифрове зображення (далі – ЗО) – це масив даних, отриманий шляхом дискретизації (аналого-цифрового перетворення) оригіналу. Після кодування за допомогою певного алгоритму й запису на носій цей масив даних стає файлом.

Синтез таких методів і засобів дозволить забезпечити сучасні вимоги до використання відеоінформаційних систем, оптимізувати прийняття рішень безпосередньо після катастрофи чи аварії, коли є загроза людському здоров'ю та життю.

### Мета

Ця стаття спрямована на розробку методики будівельно-інформаційного моделювання часткових руйнувань великопанельних будівель від позапроектних впливів для оптимізації організаційно-технологічних рішень із підкріплення та посилення конструкцій і ділянок в осередках руйнувань та можливості своєчасного виконання термінових аварійно-рятувальних робіт.

### Методика

Отримання інформації про пошкоджений об'єкт у режимі реального часу в процесі моніторингу має враховувати такі особливості:

- форма об'єкта значно модифікується залежно від його розташування відносно елементів сканувальної лінійки, його яскравість змінюється в десятки разів;

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

– кадри тієї самої послідовності не приведені до єдиної системи координат;

– часова стаціонарність фону спостерігається лише на двох-трьох кадрах одного напряму сканування;

– розмір вибраного фрагмента спостережень суттєво впливає на обсяг розрахунків.

Традиційне виконання обстеження для оцінки технічного стану будівельного об'єкта – це тривалий, багатофункціональний процес, вразливий до впливу людського фактора й помилок, які, у свою чергу, призводять до необ'єктивних висновків.

Інформаційно-математична модель надає можливість швидко отримати точну та об'єктивну комплексну оцінку технічного стану будівельного об'єкта в цілому, враховуючи при цьому стан кожного його конструкційного елемента – від фундаментної частини до покрівлі. Водночас втручання людини в процес отримання інформації мінімізовано, а всі пошкодження будівельного об'єкта оброблюють згідно з уніфікованим алгоритмом дій [1, 2, 4].

Інформаційне моделювання – це процес, що складається з етапів, результати яких являють собою інформаційні моделі будівлі, що різняться одна від одної структурою об'єкта та індивідуальними вимогами щодо розв'язання конкретних задач. Таким чином, інформаційна модель – це об'єкт досить мінливий, який залежить від складності задач що потребують розв'язання. Напрацьований досвід використання BIM-технологій дозволяє говорити про деяку загальну структуру інформаційної моделі будівлі під час розв'язання задач щодо її відновлення. Інформаційна модель повинна поєднувати дані різних типів і форматів. Як ядро інформаційної моделі ефективно використовують геометричну модель, яка семантично пов'язує інформацію про процеси, що відбуваються в середині об'єкта, і дії над об'єктом [7, 8]. Геометричну модель спочатку будують як об'єктно-орієнтовану параметричну 3D-модель. Отримати необхідну вихідну інформацію для формування об'єктивних характеристик, що динамічно змінюються в часі, фрагментів об'єкта з метою найповніше формалізувати опис структури споруди можна на основі зображень із веб-камери безпілотного літального апарата.

У цій статті модель динамічного руйнування, де руйнування розглядають як процес росту та злиття мікротріщин під впливом прикладених напружень, використовують для аналізу міцності і стійкості бетонних і залізобетонних конструкцій та ділянок об'єкта для випадку руйнівного впливу ударної хвилі внаслідок зовнішнього вибуху та в разі підриву на поверхні конструкцій відкритого заряду, тобто у випадку контактної/внутрішнього вибуху.

### Результати

Залежно від ступеня пошкодження конструкції можуть бути аварійними, непридатними до відновлення, придатними до відновлення з необхідністю їх демонтажу або без демонтажу [4, 7]. Дефекти, що виникають у наслідок позапроектних впливів на будівлю або споруду, є багатоплановими, і їх перелік відкритий до доповнення. Основними з них, за принципом впливу на конструкційні елементи, є такі:

– стіни: відшарування штукатурного покриття; випучування; намокання основи будівлі; наскрізна діагональна тріщина; вертикальні тріщини; діагональні тріщини; вертикальні тріщини в залізобетонній монолітній стіні; руйнування основи; тріщина по штукатурному шару; тріщина в місці примикання плити перекриття; тріщина у віконній перемишці; зазор між стіною та вимощенням; руйнування захисного шару бетону перемишок; вивітрювання розчину зі швів мурування; руйнування окремих цеглин мурування; протікання ґрунтових вод; похилі тріщини на поверхні фасаду; порушення просторової жорсткості; тріщини в бетоні стінової панелі;

– перекриття: деформація металевих балок; тріщини в перекритті; сколювання ребра плити перекриття; руйнування арочної дуги склепінчастого перекриття; розрив металевої стяжки перекриття; тріщина по склепінчастому перекриттю; обсіпання штукатурки; руйнування захисного шару перекриття; відсутність захисного шару балок перекриття; обвалення конструкції перекриття; тріщини по деформаційному шву; тріщини по стелі; руйнування ребра плити перекриття;

– покрівля: відсутність організованого водосток; протікання по плитах покриття; утворення повітряних пухирів; порушення прими-

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

кання до парапету; руйнування опорного бруса; намокання кроквяних ніг та латування; руйнування ділянки карнизу; відсутність захисних ковпаків.

Основна частина геометричної моделі попередньо містить схематичну модель геометрії об'єкта, яку формують із припущеннями. Віртуальний об'єкт (модель) буде приблизно відповідати реальній геометрії наявної будівлі, наприклад, у випадку, коли залишки конструкцій недоцільно контролювати геодезичними методами або коли наявна інформація дозволяє використати типовий проєкт чи об'єкт-аналог. Схематична геометрія забезпечує описання взаємодії (з'єднання) складових елементів будівельного об'єкта. Її можна використовувати, зокрема, для створення схеми розрахунків стійкості будівлі до зовнішніх навантажень, а також під час можливої експлуатації або розробки проєкту реставрації чи капітального ремонту.

До задач створення онтології ЗО об'єкта належать:

- створення цілісної системи будівель, яка забезпечує інформаційну підтримку спеціалістів та експертів різних галузей, у межах яких використовують або досліджують ЗО;

- формування предметної галузі для забезпечення автоматизації висновків у межах інтелектуальної бази знань ЗО з метою побудови інтелектуального (автоматизованого) розпізнавання та класифікації відповідного ЗО, оскільки останнє є складною, комбінованою в інформаційному плані, галуззю знань;

- забезпечення синтезу алгоритмів інтеграції висновків для кожної конкретної формалізованої прикладної задачі, оскільки база знань в онтології цифрових зображень є інтегрованою з бази прикладних галузей знань;

- можливість побудови метрик із сукупності ЗО з метою застосування методів кластерного аналізу, розробки розрахункового методу формування внутрішнього каталогу нерухомих об'єктів із серії кадрів.

Використання кольору під час аналізу зображення об'єкта дозволяє визначити малі структури та слабо структуровані області, оскільки кольоровість є презентабельною ознакою зображення, навіть у випадку незначної яскравості.

Із точки зору колірному атласу, зображення об'єкта являє собою такі сукупності:

- колірні плями різної структури (градієнти, кольори, візерунки);
- границі між колірними плямами;
- відношення суміжності, що задані на цій сукупності плям;
- абсолютні величини, що задані функціями присутності плям;
- взаємні пропорції.

Синтез початкової онтології колірних областей ЗО складається з таких елементів:

- універсуму – безпосереднього цифрового зображення об'єкта на носії зображення;
- палітра кольору на носії зображення;
- топології носія зображення, зв'язності, торкання, околиці, області;
- структур на носії зображення;
- кластера на носії зображення;
- ознак як функцій на носії зображення;
- параметрів на носії зображення;
- дескрипторів на носії зображення;
- фігур на носії зображення;
- шумів і структури шумів на носії зображення;
- фону на носії зображення;
- для областей: кольори, градієнти, текстури.

Із використанням колірному атласу зображення об'єкта можна відтворювати локальні анізотропні ознаки як незалежні зміни в кожній точці зображення, які формують неоднорідність між локаціями відповідних плям.

Побудову процедури приведення сукупності зображень об'єкта, виконаних уздовж однієї траєкторії переміщення веб-камери, до одного ракурсу моніторингу методом порівняння кутів оптичної осі конуса огляду до поверхні моніторингу в різних точках траєкторії також реалізують за рахунок колірному атласу.

За допомогою методу колірному атласу для зображень об'єкта будують послідовність колірних портретів з урахуванням локальних градієнтів кольору та форми однокольорової локальної області. Отримані колірні портрети зображення об'єкта в сукупності з локацією та орієнтацією веб-камери дозволяють побудувати динамічний ряд вимірювань його колірному атласу. У термінах колірному атласу це дозволяє будувати або визначати конструкції областей на зображенні та

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

набори форм областей, притаманних кожному конкретному ряду.

Усе вказане вище дозволяє визначати лінійні та висотні розміри об'єкта.

Сучасні веб-камери безпілотних літальних апаратів мають у своєму складі далекоміри, висотоміри та гіроскопи, які дозволяють разом з апаратурою позиціонування точно фіксувати місце розташування центра тяжіння та орієнтацію платформи веб-камери.

За результатами аналізу ЗО визначають:

- характеристики масиву тріщин;
- розподіл атипових колірних плям;
- розподіл атипових градієнтів колірних плям;
- сферичну та циліндричну локалізацію симетрії втрат і пошкоджень.

Вихідні дані для складання алгоритму розрахунку:

- типовий проєкт великопанельної будівлі;
- значення показників міцності, узятих із проєкту матеріалів;
- можливе врахування допустимих нормативними документами або проєктом відхилень геометричних параметрів і характеристик міцності конструкцій;
- постійні, довготривалі, тимчасові навантаження, які сприймає будівля під час експлуатації;
- позапроєктні навантаження, що призводять до руйнування конструкційних елементів будівлі; прогноз обсягу потенційних руйнувань залежно від потужності позапроєктного навантаження та розташування можливих руйнувань унаслідок такого впливу;
- геометричні параметри та характеристики міцності комплектів тимчасового кріплення для виконання варіативного розрахунку із забезпечення стійкості будівлі після виконання стабілізаційних заходів.

Для інтерпретації вихідних даних і даних обстеження під час перетворення візуальної інформації в цифрове зображення вихідна відеоінформація повинна відповідати таким вимогам:

- зображення містять фон (стаціонарну частину сигналу), випадкові шуми та об'єкт;
- статистичні характеристики фону значно змінюються по полю кадру: дисперсія фону, швидкість спаду форми кореляційної функції змінюється, кореляційні залежності анізотропні

(кореляція в напрямі сканування перевищує кореляцію вздовж сканувальної лінійки);

– випадковий шум, що супроводжує вимірювання, має однаковий порядок малості з одним розподілом шкали квантування сигналу і стаціонарний по кадру та за часом, характер розподілу шуму близький до нормального;

– об'єкт та його форма модифікується залежно від розташування щодо елементів сканувальної лінійки;

– кадри однієї й тієї ж послідовності не приведені до єдиної системи координат, уздовж лінійки кадр зміщується менш ніж на його розмір;

– тимчасова стаціонарність фону спостерігається лише на двох-трьох кадрах одного напрямку сканування;

– тимчасова стаціонарність шуму об'єктів та фону під час прямого та зворотного сканування значно відрізняється;

– зображення можуть містити відблиски.

Вихідними даними для побудови інформаційної моделі є сукупність зображень-фіксацій об'єкта, отриманих у результаті дрейфу веб-камери за вертикаллю, горизонталлю та азимутом відносно об'єкта для визначення непошкодженої, зруйнованої зони та зони можливого руйнування, а також зони, що може підлягати відновленню.

За результатами аналізу процесу дистанційного обстеження з використанням безпілотних літальних апаратів встановлено, що побудову інформаційної моделі доцільно здійснювати за алгоритмом, що передбачає отримання інформації про об'єкт за етапами визначення характеристик таких елементів:

1. Прямокутні паралелепіпеди приміщень будівлі.
2. Плити перекриття.
3. Внутрішні та зовнішні стінові панелі.
4. Несучі балки (за наявності).
5. Відсутні частини з п. 1–4, наприклад, ліфтові шахти.
6. Сходові марші, майданчики та стіни.
7. Балкони та навіслі конструкції.
8. Відсутні частини з п. 6–7, наприклад, кровляна система за наявності схилого даху.
9. Колірні плями з п. 1–4 та 6–7.
10. Поверхня даху.
11. Втрати за п. 10.
12. Колірні плями з п. 10.

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

13. Зображення фундаменту.
  14. Втрати за п. 13.
  15. Колірні плями за п. 14.
  16. Пов'язані зони втрат.
  17. Зони можливого обвалення елементів споруди на основі кольорних плям пов'язаних зон втрат.
  18. Вертикальні та горизонтальні тунелі руйнування.
  19. Обвалення фасадів.
  20. Зони цілісності споруди.
- Деталізацію моделювання етапів процесу дистанційного обстеження з використанням безпілотних літальних апаратів буде наведено в наступних роботах.

### Наукова новизна та практична значимість

Організаційно-технологічне проектування, тобто розробка проекту організації будівництва (ПОБ) та проекту виконання будівельних робіт (ПВР), передбачає вивчення матеріалів вишукувань, стану навколишнього середовища, можливостей будівельної організації, її технічної бази тощо, що потребує тривалого часу. Зменшити тривалість та ризик прийняття неефективних рішень в умовах недостатньої інформації про пошкоджений об'єкт можна за рахунок інформаційного моделювання процесу отримання інформації з використанням безпілотних літальних апаратів.

У рамках наукової статті викладено вперше розроблену методіку будівельно-інформаційного моделювання часткових руйнувань великопанельних будівель від позапроектних впливів для оптимізації організаційно-технологічних рішень із підкріплення та підсилення конструкцій і ділянок будівлі в осередках таких руйнувань та можливості виконання термінових аварійно-рятувальних робіт.

Практична значимість наукового дослідження полягає в мінімізації часу та ризику прийняття неефективних рішень в умовах недостатньої інформації про пошкоджений у результаті позапроектного впливу об'єкт.

### Висновки

1. З'ясовано, що зменшити тривалість і ризик прийняття неефективних рішень щодо пошкодженого об'єкта можна за допомогою інформаційного моделювання з використанням безпілотних літальних апаратів.

2. З аналізу процесу дистанційного обстеження пошкоджених у наслідок воєнних дій будівель за допомогою безпілотних літальних апаратів встановлено, що інформаційну модель доцільно будувати за етапами визначення характеристик конструкцій елементів та планувальних особливостей пошкодженого об'єкта.

3. Розроблено методіку будівельно-інформаційного моделювання часткових руйнувань великопанельних будівель від позапроектних впливів. Наведено етапи здійснення побудови інформаційної моделі об'єкта.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Григоровський П. Є., Горда О. В., Чуканова Н. П. Інформаційне моделювання будівель для вибору систем інструментального моніторингу на різних етапах життєвого циклу. *Будівельне виробництво*. 2019. № 68. С. 15–19.
2. Іваник І. Г., Віхоть С. І., Пожар Р. С., Іваник Я. І., Вибранець Ю. Ю. *Основи реконструкції будівель і споруд*. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. 272 с.
3. Маковейчук О. М., Худов Г. В. Методи математичної морфології. *Системи обробки інформації*. 2008. Вип. 7 (74). С. 137–141.
4. Михайленко В. М., Русан І. В., Григоровський П. Є., Терентьев О. О., Свідерський А. Т., Горбатюк Є. В. *Моделі і методи інформаційної системи діагностики технічного стану об'єктів будівництва* : підручник. Київ : ЦП «Компринт», 2018. 325 с.
5. Giardina C. R., Dougherty E. R. *Morphological Methods in Image and Signal Processing*. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice-Hall, 1988. 321 p.
6. Goutsias J., Vincent L., Bloomberg D. S. *Mathematical morphology and its application to image and signal processing*. New York : Springer New York, 2000. 446 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/b117970>

7. Hryhorovskiy P., Osadcha I., Jurelionis A., Basanskyi V., Hryhorovskiy A. A BIM-based method for structural stability assessment and emergency repairs of large-panel buildings damaged by military actions. *Buildings*. 2022. Vol. 12. Iss. 11. P. 1–22. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12111817>
8. Leite F., Akcamete A., Akinci B., Atasoy G., Kiziltas S. Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models. *Automation in Construction*. 2011. Vol. 20. Iss. 5. P. 601–609. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.11.027>
9. Rizo-Maestre C., González-Avilés Á. Galiano-Garrigós A., Andújar-Montoya M. D., Puchol-García J. A. UAV + BIM : Incorporation of Photogrammetric Techniques in Architectural Projects with Building Information Modelling Versus Classical Work Processes. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. Iss. 14. P. 23–29. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12142329>
10. Syed U., Mohit J. Digital monitoring and modeling of construction supply chain management scheme with BIM and GIS : An overview. *International Conference on Advances in Construction Materials and Structures*. 2022. Vol. 65. Part 2. P. 1908–1914. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.160>

O. V. GORDA<sup>1</sup>, YU. M. CHERVYAKOV<sup>2</sup>, A. P. HRYHOROVSKIY<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Dep. «Information Technologies of Design and Applied Mathematics», Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotskyi Ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03680, tel. +38 (050) 135 78 40, e-mail [anaelg@ukr.net](mailto:anaelg@ukr.net), ORCID 0000-6000-1673-8060-533

<sup>2</sup>State «Research Institute of Building Production Named of V.S. Balitsky», V. Lobanovskiy Ave., 51, Kyiv, Ukraine, 03110, tel. +38 (067) 328 48 52, e-mail [budmat68@gmail.com](mailto:budmat68@gmail.com), ORCID 0000-0002-1326-6217

<sup>3\*</sup>State «Research Institute of Building Production Named of V.S. Balitsky», V. Lobanovskiy Ave., 51, Kyiv, Ukraine, 03110, tel. +38(063) 155 05 12, e-mail [a.grigorovski@gmail.com](mailto:a.grigorovski@gmail.com), ORCID 0000-0003-0009-2358

## Development of Building Information Models for the Process of Remote Inspection of Emergency Buildings Using Unmanned Aerial Vehicles

**Purpose.** Making organizational and technological decisions to eliminate the consequences of building destruction from excessive impacts due to military operations is based on the prompt receipt of information about the technical condition of the object. Carrying out priority emergency rescue operations immediately after a disaster or accident, when there is a threat to human life, requires rapid decision-making in the face of uncertainty about preventing secondary damage. In this regard, the main goal of the work is to minimize the duration of the decision-making process under conditions of uncertainty by optimizing the technology of obtaining information, that is, the process of inspection using automated remote-controlled aircraft, in conjunction with building information modeling of the process of obtaining and processing information about the technical condition of the object. **Methodology.** The factors influencing the bearing capacity and organizational and technological features of the process of loss of strength of concrete and reinforced concrete building elements are analyzed in the event of an open charge detonation on their surface. The growth and fusion of microcracks under the influence of applied stresses were taken into account to develop an information model of dynamic fracture. **Findings.** The process of remote inspection of buildings damaged as a result of military operations using unmanned aerial vehicles is described. Based on the results of the analysis of this process, a methodology for information modeling of building destruction from off-design impacts has been developed. The stages of building an information model of the damaged object are presented. **Originality.** For the first time, a methodology for building information modeling of partial destruction of large-panel buildings from off-design impacts has been developed to optimize organizational and technological solutions for strengthening structures in the centers of such destruction and the possibility of performing urgent rescue operations. **Practical value.** The paper substantiates the reduction of the duration and risk of making ineffective decisions in conditions of insufficient information about the damaged object due to information modeling using unmanned aerial vehicles.

**Keywords:** large-panel building; off-design impact; destruction; structural reinforcement; building information modeling; rescue operations

## REFERENCES

1. Hryhorovskiy, P. Ye., Horda, O. V., & Chukanova, N. P. (2019). Information modeling of buildings for selection of instrumental monitoring systems at different stages of the life cycle. *Construction Production*, 68, 15-19. (in Ukrainian)
2. Ivanyk, I. H., Vikhot, S. I., Pozhar, R. S., Ivanyk, Ya. I., & Vybranets, Yu. Yu. (2013). *Osnovy rekonstruktсии budivel i sporud*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki. (in Ukrainian)
3. Makoveychuk, A. N., & Khudov, G. V. (2008). Methods of mathematical morphology. *Information Processing Systems*, 7(74), 137-141. (in Ukrainian)
4. Mikhajlenko, B. M., Rusan, I. V., Ghryghorovskiy, P. Je., Terentijev, O. O., Sviderskij, A. T., & Ghorbatjuk, Je. V. (2018). *Modeli i metody informacijnoji systemy diagnostyky tekhnichnogho stanu ob'ektiv budivnyctva: pidruchnyk*. Kyiv: TsP «Komprynt». (in Ukrainian)
5. Giardina, C. R., & Dougherty, E. R. (1988). *Morphological Methods in Image and Signal Processing*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall. (in English)
6. Goutsias, J., Vincent, L., & Bloomberg, D. S. (2000). *Mathematical morphology and its application to image and signal processing*. New York: Springer New York. DOI: <https://doi.org/10.1007/b117970> (in English)
7. Hryhorovskiy, P., Osadcha, I., Jurelionis, A., Basanskyi, V., & Hryhorovskiy, A. (2022). A BIM-based method for structural stability assessment and emergency repairs of large-panel buildings damaged by military actions. *Buildings*, 12(11), 1-22. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12111817> (in English)
8. Leite, F., Akcamete, A., Akinci, B., Atasoy, G., & Kiziltas, S. (2011). Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models. *Automation in Construction*, 20(5), 601-609. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.11.027> (in English)
9. Rizo-Maestre, C., González-Avilés, Á. Galiano-Garrigós, A., Andújar-Montoya, M. D., & Puchol-García, J. A. (2020). UAV + BIM: Incorporation of Photogrammetric Techniques in Architectural Projects with Building Information Modelling Versus Classical Work Processes. *Remote Sensing*, 12(14), 23-29. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12142329> (in English)
10. Syed, U., & Mohit, J. (2022). Digital monitoring and modeling of construction supply chain management scheme with BIM and GIS: An overview. *International Conference on Advances in Construction Materials and Structures*, 65(2), 1908-1914. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.160> (in English)

Надійшла до редколегії: 04.08.2022

Прийнята до друку: 09.12.2022

## УДК 624.21.033.6

І. С. ОСТАПЕНКО<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. військової підготовки спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту, Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 09, ел. пошта kvpdsst@gmail.com, ORCID 0000-0003-2232-7138

## Особливості реалізації технологічних рішень проекту будівництва мостового переходу з тимчасовим мостом

**Мета.** Основною метою статті є дослідження методики проведення інженерно-технічної розвідки й реалізації конструктивно-технологічних рішень проекту будівництва мостового переходу з тимчасовим мостом, які були пошкоджені внаслідок ведення бойових дій. **Методика.** Досягнення поставленої мети передбачає аналіз практичних конструктивно-технологічних рішень провадження робіт із будівництва й відновлення мостових переходів із тимчасовими мостами, а також вивчення та узагальнення практичного досвіду впроваджених технологічних рішень поєднання дерев'яних типових конструкцій зі сталевими типовими прогоновими будовами. **Результати.** Узагальнено досвід особливостей ведення інженерно-технічної розвідки в районах будівництва й відновлення мостових переходів на деокупованих територіях. З'ясовано ключові етапи реалізації технологічних рішень проекту будівництва мостового переходу з тимчасовим мостом, пошкодженням унаслідок ведення бойових дій, із застосуванням комбінації сталевих інвентарних мостових конструкцій та мостових конструкцій із дерева. **Наукова новизна.** Уперше досліджено особливості ведення інженерно-технічної розвідки з метою реалізації отриманих результатів у відповідній проектній документації на будівництво тимчасового мосту. Розглянуто особливості конструктивно-технологічних рішень із раціональним поєднанням різних матеріалів і конструкцій під час будівництва тимчасових мостів, що забезпечує тривалий термін їх експлуатації. **Практична значимість.** З'ясовані елементи організації й проведення інженерно-технічної розвідки місцевості, водних перешкод, будівельних майданчиків, бази матеріально-технічного забезпечення та інших заходів будуть сприяти якісній підготовці проектною документації на будівництво мостових переходів з тимчасовими мостами. Особливості застосування зазначених у статті нестандартних проектів провадження робіт і конструктивно-технологічних рішень під час будівництва тимчасових мостів мають низку технологічних переваг, які дають можливість забезпечити ефективне відновлення зруйнованих бойовими діями мостів у стислі терміни. Висвітлені в статті деякі технологічні способи комбінацій дерев'яних конструкцій та елементів зі сталевими прогоновими будовами проїзної частини під час будівництва тимчасових автомобільних мостів підвищують їх вантажопідйомність.

**Ключові слова:** інженерно-технічна розвідка; малий міст; мостові переходи; балка; автомобільні мости; конструктивно-технологічні рішення; дерев'яні конструкції; сталеві інвентарні мостові конструкції

### Вступ

Одним із головних завдань російських окупаційних військ є руйнування всієї сфери забезпечення життєдіяльності України, у тому числі транспортної й дорожньої інфраструктури, основу якої складають мости, переходи через перешкоди й інші штучні споруди. За даними Міністерства інфраструктури, усього на залізницях, дорогах державного й загального призначення внаслідок війни було зруйновано понад 300 мостів. Отже, чітко постає беззаперечний факт, що забезпечення безперервного переміщення військ і вантажів різного призначення, у тому числі й гуманітарних, в умовах війни висунуло на перший план актуальну проблему –

термінового відновлення й будівництво мостових переходів із тимчасовими мостами.

З огляду на те, що дерев'яні мости не вимагають великих фінансових витрат, мають просту конструкцію, а лісоматеріал для них можна отримання безпосередньо в районі будівництва мосту, стає можливим індустріалізувати процеси зведення мостових переходів із тимчасовими мостами через невеликі водні перешкоди в умовах ведення військових дій. Такі тимчасові мости мають комбінувати мостові конструкції з дерева та інвентарні металеві мостові конструкції. Раціональне поєднання інноваційних і традиційних конструктивно-технологічних рішень, матеріалів, конструкцій під час будівництва тимчасових автомобільних мостів за-

безпечує тривалий термін їх експлуатації. Як основні конструкції для спорудження тимчасового мосту в більшості польових проєктів використовують інвентарні конструкції надбудов опор ИМИ–60 та зварні широкополічні двотаврові балки типу  $МАL_p = 18,53$  м зі сталі 15ХСНД, з'єднані між собою металевими зв'язками, які знаходяться на довготривалому зберіганні відповідних організаційних структур. Водночас мостове полотно тимчасового автомобільного мосту споруджують дощаним на дерев'яних поперечинах. Спосіб поєднання дерев'яних конструкцій та елементів зі сталевими балками прогонових будов проїзної частини під час тимчасового відновлення автомобільних мостів підвищує їх вантажопідйомність. Та щодо застосування нетипових конструктивно-технологічних рішень необхідно зазначити, що збудовані тимчасові мости повинні відповідати нормативній вантажопідйомності [1–3] та мати необхідну міцність, жорсткість і стійкість для безпечного пропуску тимчасових навантажень, передбачених нормами з обмеженням чи без обмеження швидкості руху.

Конструктивні рішення [4; 6] щодо застосування комбінацій матеріалів і конструкцій потрібно приймати відповідно до типових проєктів з урахуванням місцевих особливостей, дотриманням чинних нормативно-правових актів. Отже, постає актуальна наукова проблема, що потребує дослідження та розроблення проєкту провадження робіт, ефективної доцільності застосування вдосконаленої технології й конструктивно-технологічних рішень під час будівництва тимчасових мостових переходів із комбінованих конструкцій матеріалів у деокупованих районах та районах ведення бойових дій.

### Мета

У статті автор має за мету проаналізувати особливості ведення інженерно-технічної розвідки місцевості, будівельних майданчиків у районі спорудження мостових переходів із тимчасовим мостом, запропонувати нетипові конструктивно-технологічні рішення реалізації проєкту провадження робіт із будівництва мостового переходу з тимчасовим мостом із застосуванням комбінуванням мостових конструкцій із дерева та інвентарних сталевих мостових конструкцій.

### Методика

Досягнення поставленої мети передбачає аналіз практичних конструктивно-технологічних рішень провадження робіт із будівництва й відновлення мостових переходів із тимчасовими мостами, а також вивчення та узагальнення практичного досвіду впровадження технологічних рішень поєднання дерев'яних типових конструкцій зі сталевими типовими прогоновими будовами.

### Результати

Виходячи з того, що більшість районів будівництва (відновлення) мостових переходів тривалий час перебували під окупацією російських військ, були розграбовані та зазнали значних руйнувань, а прилегла територія, як правило, замінована та є небезпечною для особового складу будівельних підрозділів і цивільного населення, на першому етапі реалізації проєкту провадження робіт із будівництва мостових переходів із тимчасовими мостами інженерно-саперні підрозділи проводять обстеження й розмінування прилеглої місцевості, підходів до мосту, визначених місць для будівельних майданчиків. Наступним кроком реалізації проєкту провадження робіт із будівництва тимчасового мосту є проведення інженерно-технічної розвідки. Основним завданням розвідки за відсутності конкретних розпоряджень є вибір між відновленням мосту на старій осі або будівництвом тимчасового на обході. У порівнянні цих варіантів особливо оцінюють можливість зведення підходів до мосту на обході в певні терміни. Зіставлення проводять не лише за термінами відкриття руху через перешкоду, а й за витратами на конструкції прогонових будов та експлуатаційними якість збудованого мосту. Для будівництва низьководного тимчасового мосту на обході інженерна розвідка має визначити:

- місце розташування мосту та підходів до нього;
- режим річки, тобто характерні рівні води, початок і кінець льодоставу, терміни осіннього та весняного льодоходів, їх характер;
- характер ґрунтів берегів та дна річки на глибину закладення нових фундаментів опор;
- наявність інших переправ у районі будівництва;

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

– необхідний отвір моста;  
місця розташування будівельних майданчиків, укриття, розташування для особового складу й техніки;

– місцеві будівельні матеріали, промислові підприємства та інші ресурси, придатні для відновлення;

шляхи висування підрозділів до місць робіт і дороги для перевезення конструкцій і матеріалів;

– орієнтовні витрати матеріалів, робочої сили та потребу в технічних засобах для будівництва мосту.

У завданні на інженерну розвідку має бути зазначено, які види конструкцій для першочергових робіт слід запроєктувати на об'єкті. Інші матеріали оформляють у вигляді картки інженерної розвідки, яку використовує відповідний інженерно-технічний склад у ході подальшої розробки проєкту мосту. Місце переходу рекомендують обирати так, щоб вісь моста була перпендикулярна до напрямку течії в головному руслі. Міст розташовують на прямій ділянці річки з меншими шириною і глибиною, а також зі стійким руслом, що сформувалося. Слід уникати спорудження мостів на ділянках річки з широкими заболоченими заплавами або з протоками та островами. Вісь переходу закріплюють на обох берегах стовпами, винесеними за межі будівельного майданчика та захищеними від пошкоджень під час будівельних робіт. Для контролю висотних позначок на берегах ставлять тимчасові репери.

План мостового переходу з підходами до мосту відпрацьовують на карті. Проводять зйомку місцевості з оформленням плану всього переходу в масштабі 1:5 000 – 1:10 000, що охоплює всі ділянки робіт. Необхідним є проведення гідрологічних досліджень водної перешкоди (визначення ширини, глибини річки, швидкості течії й т. под.). Трасу підходів рекомендують обирати з найменшими обсягами робіт із їх спорудження, а також з урахуванням вимог маскування транспортного руху на підходах до мосту. Закріплення траси виконують за чинними нормативними документами для автомобільних доріг. Для визначення отвору моста інженерна розвідка повинна зібрати дані про наявні або зруйновані мости на цій же водній перешкоді. Розвідка місцевих матеріалів та

інших ресурсів повинна встановити в заданому районі:

– наявність місцевих плавучих засобів, передусім річкових барж, буксирів, а також причалів, пристаней і судноремонтних баз;

– місця можливої організації лісосік, якість і запаси лісу в них, умови заготівлі й вивезення, можливість розгортання в лісосіках майданчиків заготівлі конструкцій;

– склади матеріалів, придатних для будівництва моста;

– кар'єри, умови підвезення;

– місцеві промислові підприємства (лісопильні і деревообробні, ремонтні й металообробні) та можливості їх використання для відновлення моста;

– можливість залучення місцевого населення або місцевих будівельних експлуатаційних організацій до будівництва.

Орієнтовні витрати матеріалів, робочої сили й потребу в технічних засобах визначають за схемою моста й подовжнім профілем переходу з використанням укрупнених нормативів [11–14].

Польовий проєкт тимчасового мостового переходу на обході повинен містити такі документи:

– план переходу на карті великого масштабу з вказівкою розглянутих варіантів розташування моста на місцевості, будівельних майданчиків, пунктів заготівлі матеріалів і конструкцій, шляхів підвезення й висування будівельної техніки;

– подовжній профіль мостового переходу, що включає підходи, за прийнятим варіантом;

– схеми варіантів конструкції моста з характерними поперечними перерізами; для прийнятого варіанта розробляють план паль опор із вказівкою вимірних глибин води по кутах опор;

– графік проведення робіт, у якому передусім показують ті їх види, які виконують після введення моста в експлуатацію (будівництво кригорізів, розчищення русла й укріпні роботи, зведення споруд регуляції);

– схеми організації найбільш складних і відповідальних робіт (складання, установка надбудов опор, пролітних будов, зведення підходів, заготівля конструкцій і т. под.);

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

– пояснювальну записку з розрахунками отвору моста, схемою розташування реперів і закріплення осі моста, обґрунтуванням прийнятого варіанта схеми моста та організація робіт.

У розробці схеми моста слід керуватися наявними типовими проектами низьководних мостів (рис. 1).

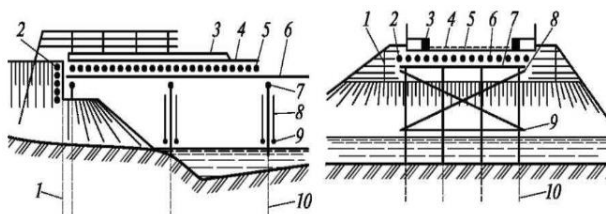


Рис. 1. Прості дерев'яні балочні мости:

- 1 – паля огорожувальної стінки;
- 2 – огорожувальна стінка;
- 3 – колесовідбійний брус;
- 4 – верхній настил; 5 – нижній поперечний настил;
- 6 – прогони; 7 – насадка;
- 8 – діагональна (похила) розпірка;
- 9 – горизонтальна розпірка; 10 – паля

Fig. 1. Simple timber trestle bridges:

- 1 – fencing wall pile;
- 2 – fencing wall; 3 – barrier curb; 4 – upper deck;
- 5 – decking; 6 – bridge balk;
- 7 – bridge seat; 8 – diagonal brace;
- 9 – horizontal brace; 10 – pile

Таким чином, здійснення інженерно-технічної розвідки мостових переходів і мостів є актуальним питанням для структурних підрозділів Держспецтрансслужби. Професійна оцінка характеру мостового переходу, масштабів руйнування й інших показників, необхідних для прийняття рішення на розроблення проекту й провадження робіт із будівництвом тимчасового мосту, дозволить ефективно та якісно виконати будівництво у визначений термін із застосуванням і збереженням техніки та життя військовослужбовців.

За результатами роботи групи інженерно-технічної розвідки приймають рішення щодо вибору варіанта відновлення (на старій осі або близькому обході), розробляють або уточнюють проект і робочі креслення відновлення або зведення тимчасового мосту. У цьому аспекті варто взяти до уваги той факт законодавчого положення, що до об'єктів, які будують за проектами масового й повторного застосування, а також для технічно нескладних об'єктів,

якими саме і є тимчасові мости, які будує Державна спеціальна служба транспорту, можна застосовувати одностадійну схему проєктування, за якої відразу після обґрунтування й інвестицій складають робочий і польовий проєкти. Робочий проєкт містить затверджувальну частину й робочу документацію. У цьому контексті необхідно також зазначити, що тимчасові малі мости проєктують і будують на основі типових рішень [4; 7; 10].

Відповідно до робочого проєкту, відновлення (будівництва) мостового переходу, тимчасового мосту (на старій осі або близькому обході) виконуються з урахуванням:

- обсягів руйнування мосту й насипів на підходах;
- розмірів мосту й річки;
- термінів відновлення;
- величини підмостових габаритів;
- пори року.

Вид відновлення (тимчасове, короткотермінове) залежить від термінів, які відводять на відновлення ділянки, наявності сил, засобів і конструкцій.

На основі розробленого проєкту відновлення (будівництва) мосту значний за обсягом і трудомісткістю комплекс робіт поділяють на три етапи:

- підготовчий;
- основний;
- заключний.

На підготовчому етапі виконують такі роботи:

- зосередження підрозділів;
- підготовка будівельних і монтажних майданчиків;
- приведення в робочий стан машин і механізмів;
- заготівля матеріалів і конструкцій;
- геодезичні роботи;
- початок збільшеного складання конструкцій у монтажні блоки;
- підготовка будівельних майданчиків у безпосередній близькості від мосту.

Головним завданням цього етапу є забезпечення безперебійного ходу основних робіт.

На основному етапі виконують:

- розчищення берегової лінії, а за необхідності і русла річки;

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- підготовку місця для влаштування підва-  
лини диванного типу;
- спорудження підвадини диванного типу;
- складання й установаження прогонової бу-  
дови;
- укладання мостового полотна.

Тривалість цих робіт безпосередньо впливає на термін відновлення мосту, отже, неприпустимими є затримки у ході їх виконання.

На заключному етапі виконують такі робо-  
ти:

- приведення полотна мосту в стан, що за-  
безпечує безпечний рух транспорту;
- захист дерев'яних конструкцій від руйну-  
вання.

Заклучні роботи пов'язані з випробуванням мосту, установаженням окремих конструкцій, приведенням монтажних з'єднань в експлуатаційний стан.

Під час провадження робіт із будівництва тимчасового мосту, як правило, застосовують відповідні комплекси машин та механізми для земляних і монтажних робіт.

Для визначення основних показників відно-  
влення тимчасового малого мосту необхідно  
розрахувати [1–3]:

1) термін відновлення (будівництва) малого  
мосту  $T_M$ , діб:

$$T_M = \frac{L_M}{\tau \cdot \beta}, \quad (1)$$

де  $L_M$  – довжина мосту, м;  $\tau$  – темп відновлюваль-  
них (будівельних) робіт,  $\tau = 3\text{--}5$  пог. м / зміну;  
 $\beta$  – кількість змін;

2) трудомісткість робіт із відновлення мосту  
 $\Pi_M$ , люд.-діб:

$$\Pi_M = L_M \cdot N, \quad (2)$$

де  $N$  – збільшена норма витрат праці на віднов-  
лення 1 пог. м мосту,  $N = 10$  люд.-діб;

3) вихід особового складу на роботу  $E$ ,  
люд.-змін:

$$E = \frac{\Pi_M}{T_M}. \quad (3)$$

Щодо інших розрахункових показників не-  
обхідно зазначити, що обмежений термін слу-  
жби тимчасового мосту дозволяє значно полег-  
шити як експлуатаційні, так і технічні вимоги

до споруди [4; 5; 8]. Так, наприклад, піднесення  
низу конструкції прогонових будов над розра-  
хунковим рівнем води допускають на 0,5–1,0 м.  
Довжину мосту визначають за шириною дзер-  
кала ріки під час відновлення з додаванням су-  
марної ширини опор, що ускладнюють русло  
ріки. Навантаження можна задавати як норма-  
тивне, так і реально обігове. Швидкість руху:  
нормальна – 30 км/год, але в певних умовах  
вона може бути знижена до 5 км/год. Дерев'яні  
прогонові будови для тимчасових мостів можна  
застосовувати двох типів: 1) із прогонами;  
2) пакетні. Також застосовують сталеві прого-  
нові будови різних технологічних конструкцій,  
алюмінієві й залізобетонні, однак опори мо-  
жуть мати спрощену конструкцію.

У ході будівництва мостових переходів із  
тимчасовими мостами на декупованих терито-  
ріях структурні підрозділи Держспецтрансслу-  
жби з метою індустріалізації будівельно-  
монтажних робіт, на основі вивчення практич-  
ного досвіду, як основні конструкції викорис-  
товують дерев'яні пальові фундаменти, інвен-  
тарні конструкції надбудов опор ИМИ-60 та  
зварні широкополічні двотаврові балки типу  
МАЛ<sub>р</sub> = 18,53 м зі сталі 15ХСНД, з'єднані між  
собою металевими зв'язками, при цьому мосто-  
ве полотно будують дощаним на дерев'яних  
поперечинах. Такі конструктивні рішення було  
прийнято відповідно до типових проектів тим-  
часових мостів з урахуванням наявності кон-  
струкцій, будівельних матеріалів, термінів вико-  
нання робіт та особливостей місцевості, із до-  
триманням чинних нормативно-правових актів  
[9]. Застосування конструктивно-  
технологічних рішень під час будівництва мос-  
ту подано на рис. 2.

Таким чином, на основі вивчення практич-  
ного досвіду ведення інженерно-технічної роз-  
відки районів будівництва мостових переходів  
із тимчасовими мостами, застосування кон-  
структивно-технологічних рішень для впрова-  
дження комбінованих конструкцій розроблено  
методику послідовності ведення розвідки й ви-  
конання основних конструктивно-  
технологічних рішень проекту провадження  
робіт із будівництва тимчасових мостів.



Рис. 2. Будівництво мосту

Fig. 2. Bridge construction

### Наукова новизна та практична значимість

У роботі вперше досліджено особливості ведення інженерно-технічної розвідки місцевості, водних перешкод, будівельних майданчиків, бази матеріально-технічного забезпечення,

інших заходів із метою якісної підготовки проектної документації на будівництво мостових переходів із тимчасовими мостами. Проаналізовано етапи реалізації проекту будівництва тимчасового мосту. Розглянуто деякі нетипові конструктивно-технологічні рішення комбінування інвентарних мостових сталевих конструкцій із дерев'яними конструкціями й елементами під час будівництва тимчасових автомобільних мостів.

Застосування таких конструктивно-технологічних рішень дозволяє зменшити об'єми робіт, витрати робочої сили й матеріалів, спростити конструкції, якісно використати наявний матеріальний ресурс, а головне скоротити терміни будівництва.

### Висновки

У статті здійснено аналіз особливостей інженерно-технічної розвідки, а також упровадження нестандартних конструктивно-технологічних рішень реалізації проекту будівництва тимчасових мостів із застосуванням комбінації конструкцій. Матеріал наукової публікації містить елементи наукової новизни та пройшов необхідну апробацію. Застосовані комбінації конструктивно-технологічних рішень потребують подальшого наукового дослідження з метою впровадження в практичну діяльність.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. [Чинний від 2009-11-11]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 83 с.
2. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. [Чинний від 2014-10-06]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 206 с.
3. ДСТУ-Н Б В.2.6-203:2015. Настанова з виконання робіт при виготовленні та монтажі будівельних конструкцій. URL: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu\\_n\\_b\\_v\\_2\\_6\\_203/5-1-0-1833](https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_n_b_v_2_6_203/5-1-0-1833)
4. Гернич М. В., Ключник С. В., Співак Д. С. Сталезалізобетонні прогонові будови мостів для постконфліктного відновлення зруйнованої транспортної інфраструктури. Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. 2021. № 19. С. 28–37. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2021/233872>
5. Казарян В. Ю., Сахарова И. Д. Современные методы реконструкции мостовых сооружений. Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. 2018. № 14. С. 6–14. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2019/152845>
6. Коваль П. М., Бабяк І. П., Ковальчик Я. І., Горба М. Б. Збірні залізобетонні попередньо напружені балки для автодорожніх мостів. Електронний науковий архів Львівської політехніки. 2013. № 755. С. 184–188.

7. Корнеев М. М. Стальные мосты. Теоретическое и практическое пособие по проектированию. Киев, 2003. 547 с.
8. НДР № 94/2011-Цтех-177/2011-ЦЮ від 30.09.2011р. «Проведення досліджень стану залізничних металевих мостів з двоповерховою проїзною частиною та шляхи їх реконструкції під сучасні, вимоги». Київ : Укрзалізниця, 2011. 120 с.
9. Радкевич А. В., Лісняк М. О., Горбатюк Ю. М. Відновлення штучних будов : навчальний посібник. Дніпро, 2018. С. 5–62., С. 85–134.
10. Страхова Н. Є., Голубев В. О., Ковальов П. М., Тодіріка В. В. Експлуатація і реконструкція мостів. Київ, 2002. 403 с.
11. Diachenko L., Benin A., Smirnov V., Diachenko A. Rating of dynamic coefficient for simple beam bridge design on high-speed railways. Civil and Environmental Engineering. 2018. Vol. 14. Iss. 1. P. 37–43. DOI: <https://doi.org/10.2478/cee-2018-0005>
12. Kitov Y., Verevicheva M., Vatulia G., Orel Y., Deryzemlia S. Design solutions for structures with optimal internal stress distribution. MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 133. P. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713303001>
13. Shen L., Soliman M., Ahmed S. A. A probabilistic framework for life-cycle cost analysis of bridge decks constructed with different reinforcement alternatives. Engineering Structures. 2021. Vol. 245. P. 112879. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112879>
14. Singiresu S. R. The Finite Element Method in Engineering. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2018. 782 p.

I. S. OSTAPENKO<sup>1\*</sup>

Dep. «Military Training of Specialists of the State Special Transport Service», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 09, e-mail kvpdSst@gmail.com, ORCID 0000-0003-2232-7138

## Features of the Implementation of technological Solutions of the Bridge Crossing Construction Project with a Temporary Bridge

**Purpose.** The main aim of the research is the study of the methodology of conducting engineering and technical reconnaissance and the implementation of structural and technological solutions for the project of the construction of a bridge crossing with a temporary bridge damaged as a result of hostilities. **Methodology.** The achievement of the set goal involves research and analysis of practical structural and technological solutions for construction works, restoration of bridge crossings with temporary bridges, as well as study and generalization of practical experience of implemented technological solutions of combining wooden typical structures with steel typical span structures. **Findings.** A generalization of the experience of conducting engineering and technical reconnaissance in construction areas, restoration of bridge crossings in de-occupied territories was generalized. The author revealed and clarified the general key stages of the implementation of technological solutions for the project of the construction of a bridge crossing with a temporary bridge damaged as a result of hostilities using a combination of steel inventory bridge structures with wooden bridge structures. **Originality.** For the first time, the author investigated the peculiarities of conducting engineering and technical reconnaissance in order to implement the obtained results in the relevant project documentation for the construction of a temporary bridge. The peculiarities of constructive and technological solutions with a rational combination of various materials and structures during the construction of temporary bridges, which ensure a long period of their operation, are considered. **Practical value.** The elements of the methodology of organization and carrying out engineering technical exploration of terrain, water obstacles, construction sites and the base of logistics and other measures will contribute to the quality preparation of project documentation for the construction of bridge crossings with temporary bridges. The application peculiarities of non-standard projects of conducting works and structural and technological solutions in the construction of temporary bridges have a number of technological advantages that make it possible to ensure effective restoration of the destroyed combat actions of the bridges in a short time. Some technological methods of combinations of wooden structures and elements with steel carriers of the roadway when building temporary car bridges increase their load capacity.

**Keywords:** engineering technical intelligence; small bridge; bridge crossings; beam; car bridges; structural and technological solutions; wooden structures; steel inventory bridge structures

REFERENCES

1. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennia i vplyvy, 83 DBN V.1.2-15:2009. (2009). (in Ukrainian)
2. Stalevi konstruksii. Normy proektuvannia, 206 DBN B.2.6-198:2014. (2014). (in Ukrainian)
3. Nastanova z vykonannia robot pry vyhotovlenni ta montazhi budivelnykh konstruksii, 203 DSTU-N B V.2.6-203:2015. (2015).  
URL: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu\\_n\\_b\\_v\\_2\\_6\\_203/5-1-0-1833](https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_n_b_v_2_6_203/5-1-0-1833) (in Ukrainian)
4. Hernich, M., Klutchnik, S., & Spivak, D. (2021). Composite reinforced concrete bridge girders for post-conflict reconstruction of the destroyed transport infrastructure. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, 19, 28-37. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2021/233872> (in Ukrainian)
5. Kazaryan, V. Yu., & Sakharova, I. D. (2018). Modern methods of reconstruction of bridge structures. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, 14, 6-14. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2019/152845> (in Ukrainian)
6. Koval, P. M., Babiak, I. P., Kovalchuk, Ya. I., & Horba, M. B. (2013). Zbirni zalizobetonni poperedno napruzeni balky dlia avtodorozhnikh mostiv. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository, 755, 184-188. (in Ukrainian)
7. Korneev, M. M. (2003). *Stalnye mosty. Teoreticheskoe i prakticheskoe posobie po proektirovaniyu*. Kyiv. (in Ukrainian)
8. «Provedennia doslidzhen stanu zaliznychnykh metalevykh mostiv z dvopoverkhovoiu proiznoi chastynoi ta shliakhy yikh rekonstruksii pid suchasni, vymohy», 120 NDR No 94/2011-Tstekh-177/2011-TsIu vid 30.09.2011r. (2011). (in Ukrainian)
9. Radkevych, A. V., Lisnyak, M. O., & Gorbatiuk, Y. M. (2018). Vidnovlennia shtuchnykh budov: navchalnyi posibnyk (pp. 5-62, 85-134). Dnipro. (in Ukrainian)
10. Strakhova, N. E., Golubev, V. O., Kovalev, P. M., & Todorika, V. V. (2002). *Ekspluatatsiia i rekonstruksii mostiv*. Kyiv. (in Ukrainian)
11. Diachenko, L., Benin, A., Smirnov, V., & Diachenko, A. (2018). Rating of Dynamic Coefficient for Simple Beam Bridge Design on High-Speed Railways. *Civil and Environmental Engineering*, 14(1), 37-43. DOI: <https://doi.org/10.2478/cee-2018-0005> (in English)
12. Kitov, Y., Verevicheva, M., Vatulia, G., Orel, Y., & Deryzemlia, S. (2017). Design solutions for structures with optimal internal stress distribution. *MATEC Web of Conferences*, 133, 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713303001> (in English)
13. Shen, L., Soliman, M., & Ahmed, S. A. (2021). A probabilistic framework for life-cycle cost analysis of bridge decks constructed with different reinforcement alternatives. *Engineering Structures*, 245, 112879. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112879> (in English)
14. Singiresu, S. R. (2018). *The Finite Element Method in Engineering*. Oxford: Butterworth-Heinemann. (in English)

Надійшла до редколегії: 16.05.2022

Прийнята до друку: 19.09.2022

Тематичний показчик журналу «Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна» за 2022 рік

Назва статті	№ журналу	Стор.
<b>Автоматизовані системи управління на транспорті</b>		
<i>С. Ю. БУРЯК, О. О. ГОЛОЛОБОВА, Т. М. СЕРДЮК, А. М. АФАНАСОВ, В. В. СКАЛЬКО, К. О. ЯМБУРГ, Д. С. БІЛУХІН</i> Вплив людського фактора на пильність при керуванні транспортними засобами	3-4	5
<b>Екологія та промислова безпека</b>		
<i>Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО, М. В. КАЛИМБЕТ</i> Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності взаємодії складових системи «відправник – перевізник – одержувач»	2	5
<b>Економіка та управління</b>		
<i>В. В. МЯМЛІН</i> Сучасна парадигма соціально-економічного розвитку: якою вона має бути?	3-4	14
<b>Експлуатація та ремонт засобів транспорту</b>		
<i>В. Н. СЕРДЮК, О. Б. ОЧКАСОВ</i> Розробка напівпровідникового реле часу для локомотивів	1	5
<i>В. О. ХАВРУК</i> Оцінка резервів підвищення ефективності використання рухомого складу автотранспортного підприємства	2	17
<i>О. В. ЛАВРУХІН, С. Р. МИРОНЕЦЬ, В. А. БОГОМОЛОВ</i> Удосконалення технології управління рухом поїздів на основі абстрактного моделювання оперативних процесів	3-4	25
<b>Електричний транспорт, енергетичні системи та комплекси</b>		
<i>С. В. АРПУЛЬ, А. М. АФАНАСОВ, Д. С. БІЛУХІН, В. Є. ВАСИЛЬЄВ, О. С. ШАПОВАЛОВ, С. Ю. БУРЯК</i> Визначення раціонального режиму взаємного навантаження тягових двигунів магістральних електровозів	1	13
<i>А. М. МУХА, С. В. ПЛАКСІН, Л. М. ПОГОРІЛА, Д. В. УСТИМЕНКО, Ю. В. ШКІЛЬ</i> Комбінована система синхронізованого керування рухом і підвісом магнітоплана	1	23
<i>Є. С. РЯБОВ, Л. Ю. КОНДРАТЬЄВА, Л. В. ОВЕР'ЯНОВА, Б. Х. ЄРІЦЯН, С. О. ГУЛАК</i> Обґрунтування структури тягового електропривода електровоза для залізничного кар'єрного транспорту	2	26
<b>Залізнична колія та автомобільні дороги</b>		
<i>М. Б. КУРГАН, Д. М. КУРГАН, М. А. ГУСАК, М. О. ГАВРИЛОВ, О. Ф. ЛУЖИЦЬКИЙ</i> Оцінка безпеки руху транспортних засобів на перетині автомобільної дороги й залізниці на одному рівні	2	45

Назва статті	№ журналу	Стор.
<b>Інформаційно-комунікаційні технології та математичне моделювання</b>		
<i>Л. І. ЖУЧИЙ</i> Онтологічна підтримка узгодження та інтеграції даних інформаційних систем АТ «Укрзалізниця»	1	32
<i>В. І. ШИНКАРЕНКО, Л. І. ЖУЧИЙ</i> Конструкційно-продукційне моделювання онтологічного забезпечення документообігу з обмеження швидкості руху поїздів	2	59
<i>В. В. СКАЛОЗУБ, В. М. ГОРЯЧКІН, І. В. КЛИМЕНКО, І. А. ТЕРЛЕЦЬКИЙ, А. П. ТЕРЛЕНКО</i> Дослідження процедур мережі хеммінга для управління сервісними системами при неточно визначених і природомовних даних	3-4	33
<b>Машинобудування</b>		
<i>В. В. НОВОДВОРСЬКИЙ, М. П. ШВЕД</i> Процес гомогенізації розплаву в дисковому екструдері з дозованим живленням	3-4	48
<b>Рухомий склад і тяга поїздів</b>		
<i>А. М. АФАНАСОВ, С. В. АРПУЛЬ, В. Є. ВАСИЛЬЄВ, О. О. ГОЛОЛОБОВА, С. М. ГОЛІК</i> Автоматизовані системи керування взаємним навантаженням тягових електромашин	1	50
<i>С. В. МЯМЛІН, Л. А. МУРАДЯН, О. А. ШИКУНОВ, І. В. ПІЦЕНКО</i> Вплив технічного обслуговування й ремонту буксових вузлів на ризики їх відмов	1	59
<i>О. В. ФОМІН, А. О. ЛОВСЬКА, А. М. ФОМІНА, С. С. СОВА</i> Дослідження навантаження несучої конструкції вагона-хопера з дахом із композитного матеріалу	1	71
<i>В. Є. ВАСИЛЬЄВ, А. М. АФАНАСОВ, О. М. ГУЛІВЕЦЬ, Ю. Я. ПОПУДНЯК</i> Експериментальні дослідження енергетичної ефективності прискорених теплових випробувань тягових електромашин	2	69
<i>Л. М. ЛОБАНОВ, О. В. МАХНЕНКО, В. І. ПАВЛОВСЬКИЙ, Г. Ю. САПРИКІНА, А. Д. ПУСТОВОЙ</i> Переваги суцільнозварної конструкції бокової рами візка вантажного вагона	3-4	55
<b>Транспортне будівництво</b>		
<i>М. М. ПОПОВИЧ, С. В. КЛЮЧНИК</i> Особливості напружено-деформованого стану сталезалізобетонної прогонової будови з попереднім вигином сталеві балки	1	80
<i>Н. К. БОНДАРЕНКО, О. Л. ТЮТЬКІН</i> Порівняльний аналіз результатів маркшейдерських та чисельних досліджень перегінного тунелю Київського метрополітену	2	78
<i>В. Ю. УЛЬЯНОВ, В. В. БІЛИК</i> Результати дослідження стану ґрунтової дамби ставка-охолоджувача Запорізької атомної електростанції	2	86

Назва статті	№ журналу	Стор.
<i>М. В. ГЕРНИЧ, С. В. КЛЮЧНИК</i> Результати натурних досліджень напружено-деформованого стану сталезалізобетонної прогонової будови залізничного мосту	3-4	70
<i>О. В. ГОРДА, Ю. М. ЧЕРВЯКОВ, А. П. ГРИГОРОВСЬКИЙ</i> Розробка будівельних інформаційних моделей процесу дистанційного обстеження аварійних будівель із використанням безпілотних літальних апаратів	3-4	79
<i>І. С. ОСТАПЕНКО</i> Особливості реалізації технологічних рішень проєкту будівництва мостового переходу з тимчасовим мостом	3-4	87

Subject index to the journal «Nauka ta Progres Transportu. Visnik Dnipropetrovs'kogo Nacional'nogo Universitetu Zalizničnogo Transportu = Science and Transport Progress» for 2022

Article title	Journal number	Page
<b>Automated and Telematic Systems on Transport</b>		
<i>S. Y. BURIAK, O. O. GOLOLOBOVA, T. M. SERDIUK, A. M. AFANASOV, V. V. SKALKO, K. O. YAMBURH, D. S. BILUKHIN</i> The Influence of the Human Factor on Vigilance in Driving	3-4	5
<b>Ecology and Industrial Safety</b>		
<i>Y. V. ZELENKO, M. V. KALYMBET</i> Development of Recommendations for Improving the Interaction Efficiency Between the Components of the «Sender-Carrier-Recipient» System	2	5
<b>Economics and Management</b>		
<i>V. V. MYAMLIN</i> The Modern Paradigm of Socio-Economic Development: What It Should Be!	3-4	14
<b>Operation and Repair of Transport Means</b>		
<i>V. N. SERDIUK, O. B. OCHKASOV</i> Development of a Semiconductor Time Relay for Locomotives	1	5
<i>V. O. KHAVRUK</i> Evaluation of Reserves for Improving the Efficiency of Using Rolling Stock of a Motor Transport Enterprise	2	17
<i>O. V. LAVRUKHIN, S. R. MYRONETS, V. A. BOHOMOLOV</i> Improvement of Train Traffic Control Technology Based on Abstract Modelling of Operational Processes	3-4	25
<b>Electric Transport, Power Systems and Complexes</b>		
<i>S. V. ARPUL, A. M. AFANASOV, D. S. BILUKHIN, V. Y. VASYLIEV, O. S. SHAPOVALOV, S. Y. BURIAK</i> Determination of the Rational Mode of Mutual Loading of Traction Engines of Main Electric Locomotives	1	13
<i>A. M. MUKHA, S. V. PIAKSIN, L. M. POHORILA, D. V. USTYMENKO, Y. V. SHKIL</i> Combined System of Synchronized Simultaneous Control of Magnetic Plane Movement and Suspension	1	23
<i>Y. S. RIABOV, L. Y. KONDRATIEVA, L. V. OVERIANOVA, B. K. YERITSYAN, S. O. HULAK</i> Justification of the Structure of the Electric Traction Drive of the Electric Locomotive for Railway Quarry Transport	2	26
<b>Railroad and Roadway Network</b>		
<i>M. B. KURHAN, D. M. KURHAN, M. A. HUSAK, M. O. HAVRYLOV, O. F. LUZHITSKYI</i> Vehicle Traffic Safety Assessment at the Intersection of Highways and Railways at the Same Level	2	45

Article title	Journal number	Page
<b>Information and Communication Technologies and Mathematical Modeling</b>		
<i>L. I. ZHUCHYI</i> Ontological Support for Harmonization and Integration of Ukrzaliznytsia Information Systems Data	1	32
<i>V. I. SHYNKARENKO, L. I. ZHUCHYI</i> Constructive-Synthesizing Modelling of Ontological Document Management Support for the Railway Train Speed Restrictions	2	59
<i>V. V. SKALOZUB, V. M. HORIACHKIN, I. V. KLYMENKO, I. A. TERLETSKYI, A. P. TERLENKO</i> Investigation of Hamming Network Procedures for Controlling Service Systems with Imprecisely Defined and Natural Language Data	3-4	33
<b>Mechanical Engineering</b>		
<i>V. V. NOVODVORSKYI, N. P. SHVED</i> The Process of Melt Homogenization in a Metered-Discharge Disk Extruder	3-4	48
<b>Rolling Stock and Train Traction</b>		
<i>A. M. AFANASOV, S. V. ARPUL, V. Y. VASYLIEV, O. O. HOLOLOBOVA, S. M. HOLIK</i> Automated Control Systems for Mutual Loads of Traction Electric Machines	1	50
<i>S. V. MYAMLIN, L. A. MURADIAN, O. A. SHYKUNOV, I. V. PITSENKO</i> Influence of Maintenance and Repair of Axle Boxes on the Risks of Their Failure	1	59
<i>O. V. FOMIN, A. O. LOVSKA, A. M. FOMINA, S. S. SOVA</i> Loading Research of Load-Bearing Structure of Hopper Car with Composite Roof	1	71
<i>V. Y. VASYLIEV, A. M. AFANASOV, O. M. HULIVETS, Y. Y. POPUDNIAK</i> Experimental Research of the Energy Efficiency of Accelerated Thermal Tests of Traction Electric Machines	2	69
<i>L. M. LOBANOV, O. V. MAKHNENKO, V. I. PAVLOVSKY, G. YU. SAPRYKINA, A. D. PUSTOVOY</i> Advantages of an All-Welded Freight Car Bogie Side Frame	3-4	55
<b>Transport Construction</b>		
<i>M. M. POPOVYCH, S. V. KLIUCHNYK</i> Features of the Stressed-Strain State of a Steel-Reinforced-Concrete Span Structure with Preliminary Bending of a Steel Beam	1	80
<i>N. K. BONDARENKO, O. L. TIUTKIN</i> Comparative Analysis of the Results of Mine Surveying and Numerical Studies of the Running Tunnel of the Kyiv Metro	2	78
<i>V. Y. ULIANOV, V. V. BILYK</i> Research results of the earth dam condition of cooling pond of the Zaporizhzhia nuclear power plant	2	86
<i>M. V. HERNICH, S. V. KLIUCHNYK</i> Results of Full-Scale Studies of the Stress-Strain State of a Steel-Reinforced Concrete Span Structure of a Railway Bridge	3-4	70

Article title	Journal number	Page
<i>O. V. GORDA, YU. M. CHERVYAKOV, A. P. HRYHOROVSKYI</i> Development of Building Information Models for the Process of Remote Inspection of Emergency Buildings Using Unmanned Aerial Vehicles	3-4	79
<i>I. S. OSTAPENKO</i> Features of the Implementation of technological Solutions of the Bridge Crossing Construction Project with a Temporary Bridge	3-4	87

## ЗМІСТ

### **АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ**

**С. Ю. БУРЯК, О. О. ГОЛОЛОБОВА, Т. М. СЕРДЮК,  
А. М. АФАНАСОВ, В. В. СКАЛЬКО, К. О. ЯМБУРГ,  
Д. С. БІЛУХІН**

Вплив людського фактора на пильність при керуванні транспортними засобами ..... 5

### **ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ**

**В. В. МЯМЛІН**

Сучасна парадигма соціально-економічного розвитку: якою вона має бути?..... 14

### **ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ**

**О. В. ЛАВРУХІН, С. Р. МИРОНЕЦЬ,  
В. А. БОГОМОЛОВ**

Удосконалення технології управління рухом поїздів на основі абстрактного моделювання оперативних процесів ..... 25

### **ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ**

**В. В. СКАЛОЗУБ, В. М. ГОРЯЧКІН,  
І. В. КЛИМЕНКО, І. А. ТЕРЛЕЦЬКИЙ,  
А. П. ТЕРЛЕНКО**

Дослідження процедур мережі хеммінга для управління сервісними системами при неточно визначених і природомовних даних ..... 33

### **МАШИНОБУДУВАННЯ**

**В. В. НОВОДВОРСЬКИЙ, М. П. ШВЕД**

Процес гомогенізації розплаву в дисковому екструдері з дозованим живленням ..... 48

### **РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ**

**Л. М. ЛОБАНОВ, О. В. МАХНЕНКО,  
В. І. ПАВЛОВСЬКИЙ, Г. Ю. САПРИКІНА,  
А. Д. ПУСТОВОЙ**

Переваги суцільнозварної конструкції бокової рами візка вантажного вагона ..... 55

### **ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО**

**М. В. ГЕРНИЧ, С. В. КЛЮЧНИК**

Результати натурних досліджень напружено-деформованого стану сталезалізобетонної прогонової будови залізничного мосту ..... 70

**О. В. ГОРДА, Ю. М. ЧЕРВЯКОВ,  
А. П. ГРИГОРОВСЬКИЙ**

Розробка будівельних інформаційних моделей процесу дистанційного обстеження аварійних будівель із використанням безпілотних літальних апаратів ..... 79

**І. С. ОСТАПЕНКО**

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПРОЄКТУ БУДІВНИЦТВА МОСТОВОГО ПЕРЕХОДУ З ТИМЧАСОВИМ МОСТОМ ..... 87

**ТЕМАТИЧНИЙ ПОКАЖЧИК ЖУРНАЛУ  
«НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ. ВІСНИК  
ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»  
ЗА 2022 РІК** ..... 95

# CONTENTS

## ***AUTOMATED AND TELEMATIC SYSTEMS ON TRANSPORT***

**S. Y. BURIK, O. O. GOLOBOVA, T. M. SERDIUK,  
A. M. AFANASOV, V. V. SKALKO, K. O. YAMBURH,  
D. S. BILUKHIN**

The Influence of the Human Factor on Vigilance  
in Driving ..... 5

## ***ECONOMICS AND MANAGEMENT***

**V. V. MYAMLIN**

The Modern Paradigm of Socio-Economic Development:  
What It Should Be!..... 14

## ***OPERATION AND REPAIR OF TRANSPORT MEANS***

**O. V. LAVRUKHIN, S. R. MYRONETS,  
V. A. BOHOMOLOV**

Improvement of Train Traffic Control Technology Based  
on Abstract Modelling of Operational Processes..... 25

## ***INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES AND MATHEMATICAL MODELLING***

**V. V. SKALOZUB, V. M. HORIACHKIN,  
I. V. KLYMENKO, I. A. TERLETSKYI,  
A. P. TERLENKO**

Investigation of Hamming Network Procedures for  
Controlling Service Systems with Imprecisely Defined and  
Natural Language Data..... 33

## ***MECHANICAL ENGINEERING***

**V. V. NOVODVORSKYI, N. P. SHVED**

The Process of Melt Homogenization in a Metered-Discharge  
Disk Extruder ..... 48

## ***ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION***

**L. M. LOBANOV, O. V. MAKHNENKO,  
V. I. PAVLOVSKY, G. YU. SAPRYKINA,  
A. D. PUSTOVOY**

Advantages of an All-Welded Freight Car Bogie Side  
Frame ..... 55

## ***TRANSPORT CONSTRUCTION***

**M. V. HERNICH, S. V. KLIUCHNYK**

Results of Full-Scale Studies of the Stress-Strain State  
of a Steel-Reinforced Concrete Span Structure of a Railway  
Bridge..... 70

**O. V. GORDA, YU. M. CHERVYAKOV,  
A. P. HRYHOROVSKYI**

Development of Building Information Models for the Process  
of Remote Inspection of Emergency Buildings Using  
Unmanned Aerial Vehicles..... 79

**I. S. OSTAPENKO**

Features of the Implementation of technological Solutions  
of the Bridge Crossing Construction Project with a Temporary  
Bridge .....87

**SUBJECT INDEX TO THE JOURNAL «NAUKA TA  
PROGRES TRANSPORTU. VİSNIK  
DNİPROPETROVS'KOGO NACİONAL'NOGO  
UNİVERSITETU ZALİZNIČNOGO TRANSPORTU =  
SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS»**

**FOR 2022.....98**

## 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:**

Наукова бібліотека (ауд. 166),  
Український державний університет науки і технологій,  
вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна,  
49010  
e-mail: stp.journal@ust.edu.ua

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

Наукове видання

**НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ.**

№ 3-4 (99-100) 2022

(українською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – О. В. Помінова

Комп'ютерне верстання – О. В. Помінова

Літературна обробка – С. П. Лагдан

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Ум. друк. арк. 12,09. Тираж 100 пр. Зам. №02/03-04

**Український державний університет науки і технологій**

*Адреса редакції, видавця:*

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

*Тел.:* +38 (056) 371-51-05

*E-mail:* stp.journal@ust.edu.ua

*Друк:*

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

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



Scientific Edition

**NAUKA TA PROGRES TRANSPORTU.**

=

**SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS**

No. 3-4 (99-100) 2022

(in Ukrainian and English languages)

Responsible for issue – O. V. Pominova

Desktop publishing – O. V. Pominova

Redaction – S. P. Lahdan

Format 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Conventional printed sheet 12,09. Circulation 100. Order no. 02/03-04

**Ukrainian State University of Science and Technologies**

Address of editor and editorial office

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

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

*E-mail:* stp.journal@ust.edu.ua

*Printing*

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

