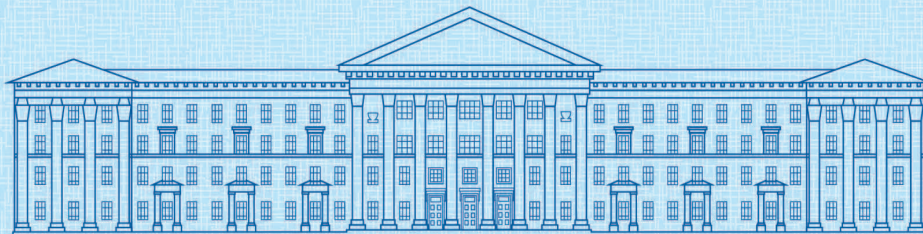




ISSN 2307-3489 (Print)
ISSN 2307-6666 (Online)



НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

№6(96)

.. 2021 ..

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ

ВІСНИК ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Науковий журнал

№ 6 (96) 2021

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

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

Дніпро

2021

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

ГОЛОВА РЕДАКЦІЙНОЇ РАДИ УНІВЕРСИТЕТУ
ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛУ

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

ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА
ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

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

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Аврамовіс З. З., Белградський університет (Сербія); Бела І., Інститут логістики (Угорщина); Біляєв М. М., УДУНТ (Україна); Богдєвичус М., Вільнюський технічний університет імені Гедимінаса (Литва); Боднар Б. Є., УДУНТ (Україна); Вакуленко І. О., УДУНТ (Україна); Воронін С. В., УкрДУЗТ (Україна); Головкова 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); Кузнєцов 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); Тютюкін 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 28.12.2021 р., протокол № 3

Видавець Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003 р.

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

Видання публікується з 1936 р.:

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

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

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

Scientific journal

No. 6 (96) 2021

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

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

Dnipro

2021

Founder:

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

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

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

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

Avramovic Z. Ž., Faculty of Transport and Traffic Engineering (Serbia); Béla I., Logistics Institute (Hungary); Biliaiev M. M., 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 Puluj National Technical University (Ukraine); Matsiuk 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); Ślaskowski 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 28.12.2021, Protocol no. 3

Publisher Ukrainian State University of Science and Technologies (Dnipro)
Certificate of Publisher ДК no. 1315 from 31.03.2003

Address of Founder Lazaryana St., 2, room 267, Dnipro, Ukraine, 49010, tel.: +38 (056) 371-51-05;
e-mail: kolesnykova@diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua; journal site: <http://stp.diit.edu.ua/>

Edition is being published since 1936:

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

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 656.256:681.5.09

О. О. ГОЛОЛОВА¹, С. Ю. БУРЯК^{2*}, В. І. ГАВРИЛЮК³, Р. В. МАРКУЛЬ⁴,
А. М. АФАНАСОВ⁵, Д. С. БЛУХІН⁶

¹Каф. «Автоматика та телекомунікації», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта golobova_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

^{2*}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

³Каф. «Автоматика та телекомунікації», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта vl.gavriluk@gmail.com, ORCID 0000-0001-9954-4478

⁴Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, ел. пошта guangamr@gmail.com, ORCID 0000-0002-7630-8963

⁵Каф. «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

⁶Каф. «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

Визначення причин порушень у роботі автоматичної локомотивної сигналізації

Мета. Безпечність перевізного процесу на залізничному транспорті та його безупинна робота значною мірою залежать від надійності роботи засобів залізничної автоматики та зв'язку. Особлива роль у забезпеченні безперервності перевізного процесу залізниць належить системам інтервального регулювання руху поїздів, а також автоматичній локомотивній сигналізації у поєднанні із системами контролю пильності машиніста та автостопом. Тому основною метою нашої статті є детальний аналіз надійності роботи цих систем, щоб мати змогу на базі отриманої інформації корегувати методики обслуговування та вдосконалювати експлуатаційну роботу персоналу. **Методика.** Для попередження збоїв та відмов у роботі пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації проаналізовано статистику відмов усіх пристроїв залізничної автоматики, які можуть призвести до порушень. Визначено найбільш відповідальні пристрої, контроль яких значно вплине на працездатність системи та підвищить надійність роботи в цілому. **Результати.** Аналіз статистичних даних показав, що основною причиною порушень у роботі системи автоматичної локомотивної сигналізації є вихід із ладу дешифратора, локомотивного фільтра та підсилювача, а основною причиною, що обумовлює несправності, залишається зношеність апаратури. **Наукова новизна.** Результати розробок, спрямованих на підвищення ефективності та надійності роботи залізничних пристроїв, постійно впроваджують в експлуатаційну практику, автоматизуючи велику кількість технологічних процесів та поліпшуючи показники напрацювання апаратури на відмову. Попри це аналіз роботи пристроїв на залізницях за період 2013–2021 років засвідчив, що на людський фактор, позначений порушеннями технології виконання робіт і недотриманням вимог технологічних карт і посібників з експлуатації, а також неякісним ремонтом і перевіркою приладів на ремонтно-технологічних дільницях, припадає значна частка причин погіршення показників надійності роботи всіх систем залізничної автоматики та розглянутої системи локомотивної сигналізації. **Практична значимість.** Проведений аналіз показав, що вдосконалення як безпосередньо самих систем і пристроїв залізничної автоматики, так і методів їх перевірки, експлуатації та обслуговування підвищить рівень безпеки та надійності перевезень.

Ключові слова: автоматична локомотивна сигналізація (АЛС); статистика відмов; аналіз причин збоїв; завади в роботі; приймальна та передавальна апаратура; кількісні та якісні показники відмов

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

Вступ

Залізничний транспорт в Україні забезпечує перевезення мільйонів тонн вантажів і сотень тисяч пасажирів, представляючи один із найпоширеніших видів транспорту. Розгалужена система мережі залізниць України налічує велику кількість автоматизованих систем керування як безпосередньо рухом поїздів, так і забезпеченням життєдіяльності багатьох структурних підрозділів у її складі, у тому числі й системи автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС). Щоденно ці складні системи функціонують під впливом численних перешкод різного роду, зокрема як погодних умов, так і важких механічних та електричних перевантажень. Безумовно, безпечність перевізного процесу на залізничному транспорті та його стабільна робота значною мірою залежать від гарантованої безперервної роботи пристроїв залізничної автоматики та зв'язку. Слід зазначити, що головне місце в забезпеченні ефективної та безпечної роботи галузі посідають системи інтервального регулювання руху поїздів (ІРРП), а також АЛС. Для максимально ефективного забезпечення безперебійної роботи системи АЛС необхідно проаналізувати статистику відмов усіх пристроїв залізничної автоматики, приділивши особливу увагу причинам відмов та збоїв у роботі АЛС як системи, що

є найбільш вразливою для зовнішніх несприятливих факторів. А це, у свою чергу, надасть змогу визначити параметри та методи їх контролю для підвищення безпеки руху поїздів.

Слід також згадати, що в цьому напрямі є певні досягнення. Підвищенню ефективності та надійності роботи залізничних пристроїв присвячено багато науково-дослідних робіт, результати яких застосовують на залізницях. Упровадження цих напрацювань в експлуатаційну роботу має на меті автоматизацію технологічних процесів, скорочення часу на обслуговування пристроїв та підвищення ймовірності безвідмовної роботи апаратури [4, 5, 10]. Але процес розробок, зважаючи на продовження фіксації порушень у роботі системи АЛС, триває.

АЛС у поєднанні із системами контролю пильності машиніста та автостопом представляють собою частину системи забезпечення безпеки руху. Кожен збій, відмова чи транспортна подія, що сталися на залізницях, залежно від конкретних обставин, можуть становити загрозу для життя людей та призвести до значних матеріальних збитків. Щоб мати можливість цьому запобігти, необхідно підвищувати надійність роботи та поліпшувати методи обслуговування залізничних пристроїв [11].

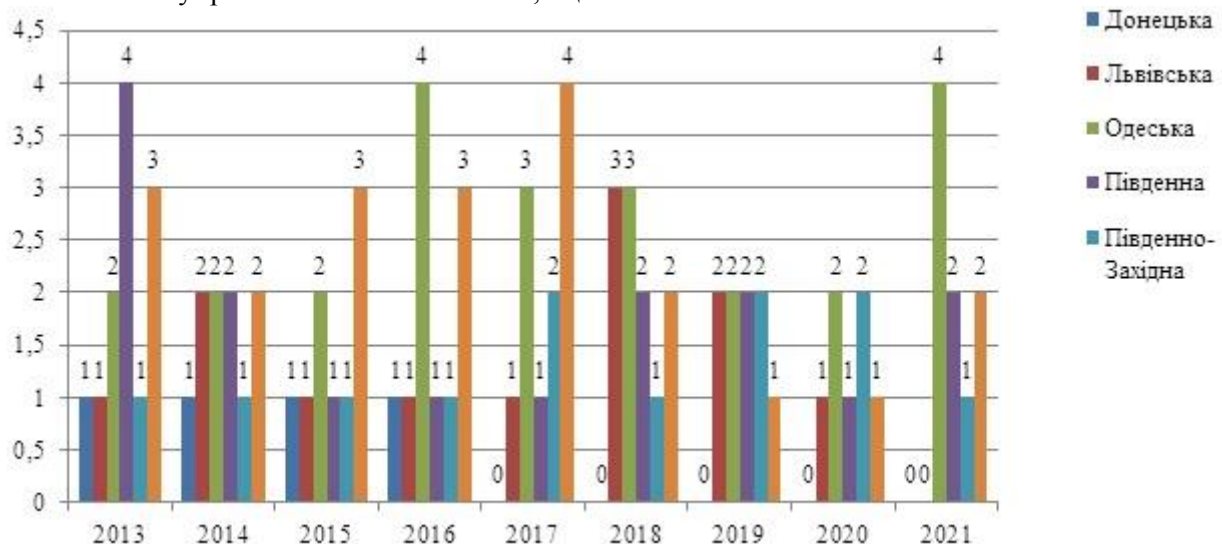


Рис. 1. Кількість транспортних подій за період 2013–2021 років

Fig. 1. Number of transport events for the period 2013–2021

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

Мета

Відповідно до викладеного, у роботі поставлено мету провести аналіз статистики відмов та збоїв у роботі, для якої характерне поєднання підвищення швидкостей руху транспортних засобів та експлуатаційних показників оновлених типів поїздів, нових типів електропоїздів та локомотивів з асинхронним тяговим приводом із непоправним моральним і фізичним старінням усіх локомотивів і рухомих одиниць залізниць України, більшість із яких уже давно має відпрацьований ресурс.

Дослідження статистики порушень у роботі системи АЛС також сприятиме визначенню факторів найбільшого впливу на її працездатність у цілому. Передусім це стосується визначення критичних помилок, які впливають на безпеку руху.

Методика

Статистичний збір та аналіз інформації проведено на основі відповідних показників з роботи шести українських залізниць за досліджені дев'ять років порівняно з показниками інших досліджень, за попередні роки [1, 2].



Рис. 2. Кількість відмов пристроїв СЦБ за період 2013–2021 років

Fig. 2. Number of failures of signaling arrangements for the period 2013–2021

Кількість транспортних подій за 2013–2021 роки наведена на рис. 1, із якого видно, що у 2013 році загальна кількість подій, що сталася, складає 12 випадків, у 2014-му – 10, 2015-му – 9, 2016, 2017 та 2018-му – по 11, 2019-му – 9, 2020-му – 7, 2021-му – 9.

Із загальної кількості інцидентів, які відбуваються з вини господарства сигналізації та зв'язку, частка вини дистанцій сигналізації та зв'язку складає близько 75 %.

Причинами виникнення таких інцидентів є:

- порушення технології виконання робіт (неоперативна організація усунення відмов, недотримання вимог технологічних карт та посібників з експлуатації). Ця причина призводить до виникнення близько 45 % транспортних подій від загальної їх кількості;

- невиконання робіт, передбачених планами технічного обслуговування пристроїв СЦБ, інструкціями та керівними вказівками. Із цієї причини відбувається близько 30 % інцидентів;

- інші причини (вплив грозових та комутаційних перенапруг, ожеледиця, повінь тощо). На частку цієї причини в різні роки припадає від нуля до декількох відсотків інцидентів.

Окремо проаналізуємо надійність роботи пристроїв СЦБ (рис. 2).

Кількість відмов пристроїв СЦБ у 2021 році порівняно з аналогічним періодом 2020 року збільшилась на 47,4 % і склала 4 730 проти 3 209. А загальна кількість відмов за наведені 9 років склала 40 520 випадків.

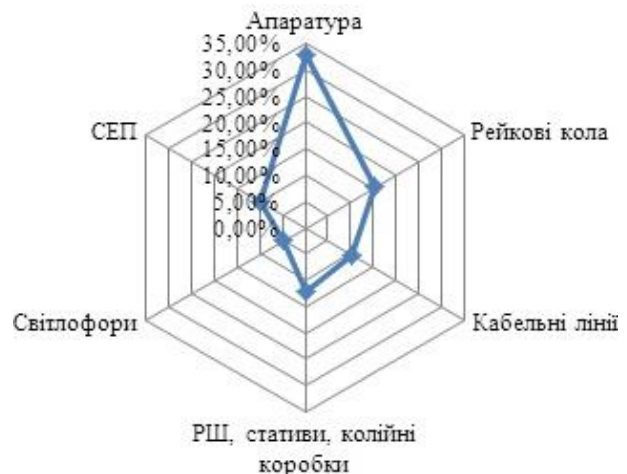


Рис. 3. Відмови пристроїв СЦБ, закріплених за господарством сигналізації та зв'язку, у 2021 році

Fig. 3. Failures of signaling arrangements classified as signaling and communication facilities in 2021

Різновидами відмов пристроїв СЦБ, закріплених за господарством сигналізації та зв'язку, у 2021 році були такі (рис. 3):

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

1. Вихід із ладу реле, блоків, трансформаторів, трансмітерів, конденсаторів та конденсаторних блоків, випрямлячів, безконтактної апаратури, пристроїв захисту – 411 відмов, або 32,8 %. Найбільша кількість відмов апаратури в регіональній філії «Одеська залізниця» – 155. Основними причинами відмов апаратури є фізичне старіння.

2. Порушення роботи рейкових кіл – 193 відмови, або 15,4 %. Найбільша кількість відмов рейкових кіл у регіональній філії «Львівська залізниця» – 78. Основні причини відмов у рейкових колах – обрив або відсутність рейкових з'єднувачів.

3. Несправність у релейних шаф, штативів, у колійних коробок – 151 відмова або 12,0 %. Найбільша кількість відмов цих пристроїв у регіональній філії «Придніпровська залізниця» – 50. Основні причини відмов – обрив або

втрата контакту монтажного проводу, несправність клем, рознімачів, колодок.

4. Порушення роботи кабельних ліній – 130 відмов, або 10,4 %. Найбільша кількість відмов кабельних ліній у регіональній філії «Придніпровська залізниця» – 50. Основні причини відмов кабельних ліній – внутрішній обрив жил у кабелі.

5. Несправність світлофорів – 61 відмова, або 4,9 %. Найбільша кількість відмов цих пристроїв у регіональній філії «Придніпровська залізниця» – 15.

6. Несправність стрілочних електроприводів, гарнітури, замків Мелентьєва – 121 відмова, або 9,7 %. Найбільша кількість відмов цих пристроїв у регіональній філії «Одеська залізниця» – 36. Основними причинами цих відмов є вихід із ладу електродвигуна та втрата контакту в автоперемикачі.

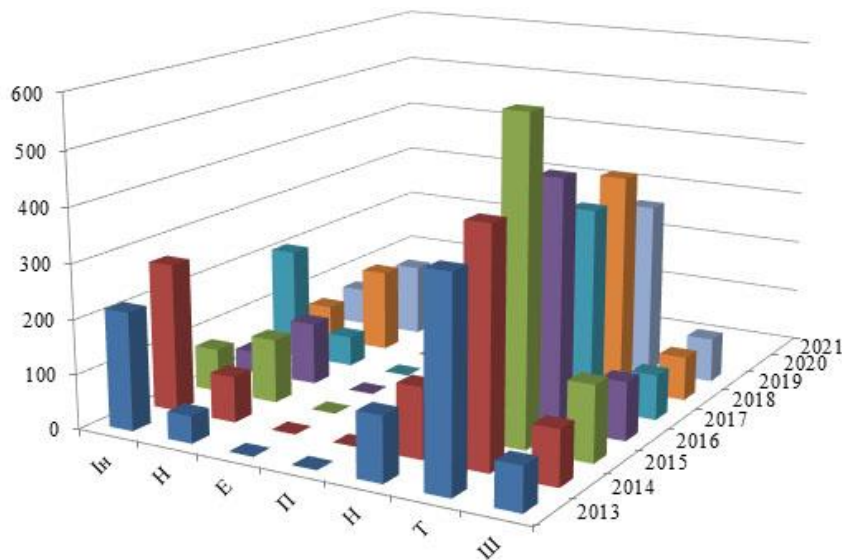


Рис. 4. Розподілення кількості порушень дії пристроїв АЛС, що призвели до її вимкнення під час прямування поїздів, за службами

Fig. 4. Distribution of the number of failures of the Automatic Locomotive Signaling System's devices, which resulted in its shutdown during the train running by services

Основними причинами відмов пристроїв СЦБ є:

1. Експлуатаційні – 1 024 відмови, або 81,7 %. Із них:

1.1. Порушення технології виконання робіт (недотримання вимог технологічних карт та посібників з експлуатації) під час технічного обслуговування та ремонту пристроїв СЦБ –

440 відмов, або 35,1 %. Найбільша кількість таких відмов у регіональній філії «Придніпровська залізниця» – 184.

1.2. Вихід із ладу приладів, пристроїв через фізичне старіння – 438 відмов, або 34,9 %. Найбільша кількість таких відмов у регіональній філії «Одеська залізниця» – 224.

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

1.3. Неякісний ремонт і перевірка приладів на ремонтно-технологічних ділянках СЦБ – 31 відмова, або 2,5 %. Найбільша кількість таких відмов у регіональній філії «Придніпровська залізниця» – 25.

1.4. Причина не виявлена – 95 відмов, або 7,6 %. Найбільше відмов із невиявленою причиною в регіональній філії «Придніпровська залізниця» – 25.

2. Інші – 89 відмов, або 1,0 %. Із них:

2.1. Вплив грозових та комутаційних перенапруг – 67 відмов, або 5,3 %. Найбільше таких відмов у регіональній філії «Південна залізниця» – 34.

2.2. Конструктивно-заводський недолік – 71 відмова, або 5,7 %. Найбільше таких відмов у регіональній філії «Одеська залізниця» – 43.

Аналіз кількості порушень дії пристроїв АЛС, що призвели до її вимкнення під час прямування поїздів, показує, що за 2013 рік на залізницях України допущено 1 030 порушень, 2014 -ий – 807, 2015-ий – 832, 2016-ий – 840, 2017-ий – 1 011, 2018-ий – 1 586, 2019-ий – 530, 2020-ий – 430, 2021-ий – 1 058. Розподілення

порушень дії пристроїв АЛС у період 2013–2021 рр. за різними службами зображено на рис. 4.

На рис. 5 подано співвідношення об'єктів, що стали причиною відмов пристроїв АЛС і призвели до її вимкнення під час прямування поїздів у період 2020–2021 рр.

Виділимо основні з них, де зросла кількість відмов:

– дешифратор – 29/34 (2021/2020 рр. відповідно; причинами, як правило, є злам контактних пружин реле – 11/13, втрата контакту та підгоряння контактів реле – 8/11);

– підсилювач – 27/25 (причини – відмова транзистора (8/6), підгоряння контактів реле ІР (11/3));

– локомотивний фільтр – 5/2 (причини – катушка дроселя, механічні пошкодження, відмова конденсатора).

Також потрібно визначити, що кількість відмов збільшилася в загальних ящиках – 7/1 (причини – відсутність контакту на клеммах або контактних пружинах).

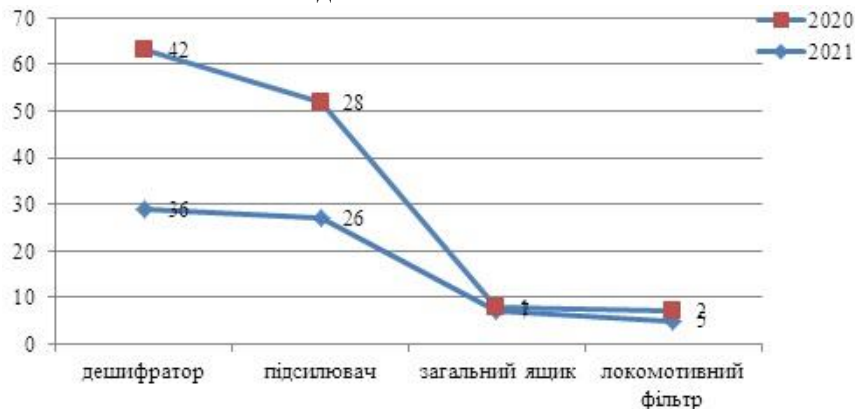


Рис. 5. Співвідношення об'єктів відмов пристроїв АЛС по службі сигналізації, централізації та блокування, що призвели до її вимкнення під час прямування поїздів

Fig. 5. Ratio of failure objects of the Automatic Locomotive Signaling System's devices by the service of signals and interlocking, which resulted in its shutdown during the train movement

Слід зауважити, що основною причиною відмов пристроїв АЛС і надалі залишається зношеність апаратури.

Також проаналізуємо загальну кількість короточасних порушень (збоїв) у роботі локомотивної сигналізації, вважаючи такими лише ті, що повторювались тричі за 3 доби на одному й тому ж місці (ізолювана секція, блок-ділянка

тощо). За 2013 рік відбулося 4 215 випадків, 2014-ий – 2 075, 2015-ий – 1 408, 2016-ий – 1 457, 2017-ий – 779, 2018-ий – 1 586, 2019-ий – 530, 2020-ий – 430, 2021-ий – 1 058. Розподілення збоїв у роботі АЛС у період 2013–2021 рр. за різними службами зображено на рис. 6.

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

Аналіз показав, що основними причинами збоїв за службами є:

- за службою Ш – несправність приладів кодування, спотворення часових параметрів коду;
- за службою П – намагніченість рейок, несправність або відсутність з'єднувачів на перегонах, рейки, укладені поряд з залізничними коліями або в середині них;
- за службою Е – нестабільне живлення.

Результати

Із проведеного аналізу видно, що середня кількість транспортних подій, які відбуваються щороку на всіх залізницях України, становить близько 9 інцидентів (рис. 1). При цьому, як показує статистика, 60–80 % інцидентів відбувається з вини дистанцій сигналізації та зв'язку. Головною причиною цього залишається порушення технології виконання робіт. Окрім того, у результаті аналізу кількості відмов пристроїв СЦБ чітко спостерігається тенденція до зростання. Основними об'єктами відмов найчастіше (у 36 % випадків) стає елементна база систем СЦБ (реле, трансмітери, конденсатори і т. ін.). Відзначимо, що серед головних причин відмов виділяються експлуатаційні (85,3 %): неякісне

виконання робіт під час технічного обслуговування та зношеність апаратури. Якщо елементна база пристроїв СЦБ в багатьох випадках є передавальною апаратурою кодів АЛС на локомотив, то можна зробити висновок, що неякісне виконання робіт технічного персоналу негативно впливає на безперебійність роботи АЛС в цілому [8, 10].

Аналіз роботи систем АЛС на залізницях України (рис. 4) дає змогу відзначити, що кількість порушень дії пристроїв, які призвели до вимкнення АЛС під час прямування поїздів, упродовж дослідних дев'яти років залишається стабільно високою.

Основними об'єктами, несправності є дешифратори, підсилювачі й локомотивні фільтри, а основною причиною залишається зношеність апаратури. При цьому кількість збоїв у роботі АЛС упродовж 2013–2021 років значно більша. Це обумовлено наявністю великої кількості завад, що впливають на передавальну та приймальну апаратуру АЛС. Автори багатьох науково-дослідних робіт [3, 5–7] ставлять перед собою мету зменшити вплив завад на роботу системи. Але, як показує статистика, проблема й надалі залишається актуальною.

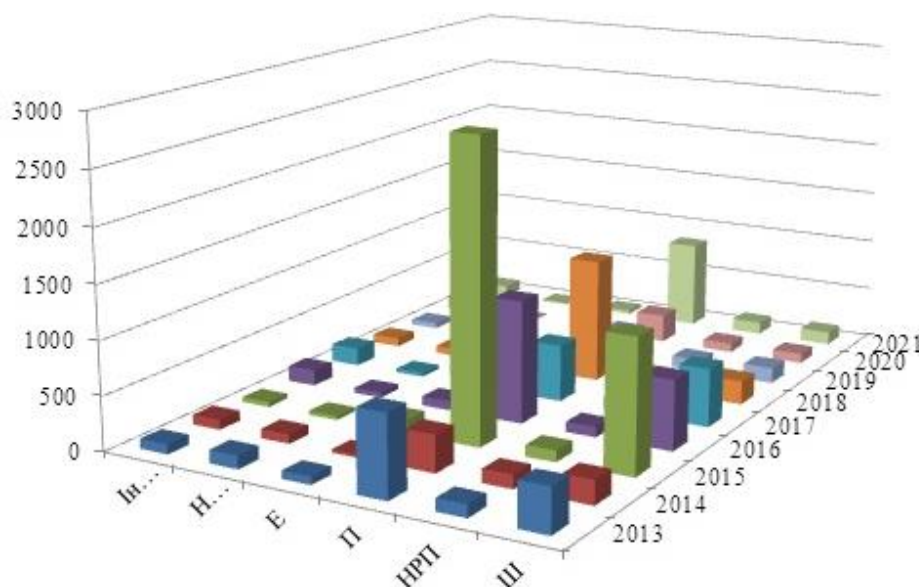


Рис. 6. Розподілення збоїв у роботі АЛС за різними службами

Fig. 6. Distribution of failures in the operation of Automatic Locomotive Signaling System, attributed to different services

**Наукова новизна і практична
значимість**

Проведений аналіз дозволив не тільки визначити причини порушень у роботі системи АЛС та їх вплив на безпеку руху поїздів а й надати кількісну оцінку. Це сприяло формуванню комплексного підходу до пошуку варіантів вирішення цієї проблеми. У першу чергу це стосується практичних пропозицій щодо розробки шляхів подолання виявлених недоліків, а також щодо експлуатації обладнання, яке подекуди морально й технічно застаріло. Доведено також і необхідність проведення аналітичних спостережень за статистикою відмов, подальше їх дослідження з метою визначення впливу різних чинників. Це дає змогу правильно оцінити ступінь впливу на безпеку руху та перевізний процес у цілому порушень у роботі системи АЛС за природою збоїв і перешкод.

Висновки

Аналіз роботи залізничних пристроїв за дослідні 2013–2021 роки показав, що людський фактор, а саме порушення технології виконання робіт, недотримання вимог технологічних карт та посібників з експлуатації, неякісний ремонт та перевірка приладів на ремонтно-технологічних ділянках, залишається суттєво високим у показниках надійності роботи залізничної апаратури в цілому і в системах АЛС зокрема. Проте, якість виконання зазначених робіт не єдиний фактор, який впливає на ефективність роботи АЛС. Статистичні дані свідчать і про морально-технічне застарівання обладнання. Тому для поліпшення умов функціонування систем АЛС та ІРРП необхідно вживати дієвих заходів, спрямованих на оновлення пристроїв та засобів, а також на автоматизацію процесу їх моніторингу та діагностування.

Таким чином, розробки у сфері автоматизації процесів перевірки та обслуговування систем безпеки перевезень на залізничному транспорті не втрачають своєї актуальності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України за 12 місяців 2013–2021 року. Міністерство транспорту України. Державна адміністрація залізничного транспорту, 2014–2018.
2. Антоненко В. С., Кравцов Ю. А., Сафро В. М., Чегуров А. Б. Анализ работоспособности автоматической локомотивной сигнализации числового кода. *Известия ПГУПС*. 2011. № 1. С. 101–112.
3. Гололобова О. А. Исследование работы системы автоматической локомотивной сигнализации в условиях помех. *Вестник БелГУТа : Наука и транспорт*. 2016. Вып. 2 (33). С. 126–129.
4. Горелик А. В., Тарадин Н. А., Веселова А. С., Солдатов Д. В. Оценка качества технической эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики. *Автоматика на транспорте*. 2017. Т. 3, № 3. С. 319–334.
5. Киякина Т. Е., Селиверов Д. И. Причины сбоев в работе автоматической локомотивной сигнализации, методы решения проблем. *II международная научная конференция «Технические науки в России и за рубежом»* (ноябрь 2012 г., Москва). Москва, 2012. С. 47–49.
6. Лукоянов С. В. Сбои кодов АЛСН на скоростном участке стало меньше. *Автоматика, связь, информатика*. 2011. № 9. С. 22–25.
7. Лукоянов С. В. Сбои кодов АЛСН на скоростном участке стало меньше. *Автоматика, связь, информатика*. 2011. № 11. С. 34–36.
8. Пулятков А. В., Скоробогатов М. Э. Системный анализ устойчивости работы систем автоматической локомотивной сигнализации. *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2018. № 1 (57). С. 79–89. DOI: [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2018.1\(57\).79-89](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2018.1(57).79-89)
9. Hololobova O. O., Havryliuk V. I. Application of Fourier transform and wavelet decomposition for decoding the continuous automatic locomotive signaling code. *Science and Transport Progress*. 2017. № 1 (67). P. 7–17. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/92771>

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

10. Hololobova O. O., Havryliuk V. I., Kovryhin M. O., Buriak S. Yu. Study of transmission lines effect on the system operation of continuous automatic cab signalling. *Science and Transport Progress*. 2014. № 5 (53). P. 17–28. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2014/30833>
11. Theeg G., Vlasenko S. *Railway Signalling and Interlocking. International Compendium*. Hamburg : Eurailpress, 2009. 448 p.

O. O. HOLOBOVA¹, S. Y. BURIK^{2*}, V. I. HAVRYLIUK³, R. V. MARKUL⁴,
A. M. AFANASOV⁵, D. S. BILUKHIN⁶

¹Dep. «Automatics and Telecommunications», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail gololobova_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

^{2*}Dep. «Automatics and Telecommunications», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail ser.buryak@gmail.com, ORCID 0000-0002-8251-785X

³Dep. «Automatics and Telecommunications», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail vl.gavriyuk@gmail.com, ORCID 0000-0001-9954-4478

⁴Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 53, e-mail guarangamr@gmail.com, ORCID 0000-0002-7630-8963

⁵Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St, 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +380 (056) 373 1531, e-mail afanasof@ukr.net, ORCID 0000-0003-4609-2361

⁶Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St, 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +380 (056) 373-15-31, e-mail comandor04@gmail.com, ORCID 0000-0002-2791-617X

Determination of the Origin of Failures in the Operation of the Automatic Locomotive Signaling

Purpose. The safety of the transportation process in railway transport and its continuous operation to a large extent depend on the reliability of the means of railway automation and communication. In this case, special role in ensuring the efficient and safe operation of railways belongs to the systems of interval control of the train movement, as well as automatic locomotive signaling in conjunction with the systems of monitoring the driver's vigilance and automatic train stop. Therefore, the main purpose of the article is a detailed analysis of the operation reliability of these systems, in order to be able to correct service techniques and improve operational work, based on the information received. **Methodology.** To prevent halting and failures in the operation of automatic locomotive signaling devices, it was analyzed the failure statistics of all devices of railway automatics, which can lead to disturbances in its work. It was identified the most responsible devices, whose control will greatly affect the system performance and increase the reliability of the work as a whole. **Findings.** Analysis of statistical data showed that the main causes of malfunctions in the automatic locomotive signaling system are the failure of the decoder, locomotive filter and amplifier, and the main reason for the malfunction is equipment wear. **Originality.** The results of the work aimed at increasing the efficiency and reliability of the operation of the railway equipment are continuously implemented in the operational work, automating a large number of technological processes and improving the failure rate performance. However, ignoring this, the analysis of the operation of devices on the railways for the period 2013–2017 showed that a significant part of the reasons for the deterioration of the reliability of all systems of railway automation and separately considered locomotive alarm system accrue to the human factor, embodied in violations of the technology of work and non-compliance with the requirements of technological maps and manuals, as well as poor repair and inspection of devices in repair and technological areas. **Practical value.** The analysis showed that the issue of improving both the systems themselves and the devices of railway automatics, as well as the methods of their inspection, operation and maintenance, will increase the level of safety and reliability of transportations.

Keywords: automatic locomotive signaling; failure statistics; failure cause analysis; work interference; receiving and transmitting equipment; quantitative and qualitative failure rates

REFERENCES

1. *Analiz stanu bezpeky rukhu poizdiv na zaliznytsiakh Ukrainy za 12 misiatsiv 2013–2021 roku.* (2014–2022). Ministerstvo transportu Ukrainy. Derzhavna administratsiia zaliznychnoho transportu. (in Ukrainian)
2. Antonenko, V. S., Kravtsov, Yu. A., Safro, V. M., & Chegurov, A. B. (2011). Analiz rabotosposobnosti avtomaticheskoy lokomotivnoy signalizatsii chislovogo koda. *Proceedings of Petersburg Transport University*, 1, 101–112. (in Russian)
3. Gololobova, O. A. (2016). Research the operation of the automatic locomotive signaling system continuous under noisy conditions. *Bulletin of BSUT: science and transport*, 2(33), 126–129. (in Russian)
4. Gorelyk, A. V., Taradin, N. A., Veselova, A. S., & Soldatov, D. V. (2017). Quality assessment of railway automatics and telemechanics maintenance systems. *Automation on Transport*, 3(3), 319–334. (in Russian)
5. Kiiakina, T. E., & Seliverov, D. I. (2012). Prichiny sboev v rabote avtomaticheskoy lokomotivnoy signalizatsii, metody resheniya problem. In *II mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya «Tekhnicheskie nauki v Rossii i za rubezhom»* (pp. 47–49). Moscow, Russia. (in Russian)
6. Lukoianov, S. V. (2011). Sboev kodov ALSN na skorostnom uchastke stalo menshe. *Automation, communication, informatics*, 9, 22–25. (in Russian)
7. Lukoianov, S. V. (2011). Sboev kodov ALSN na skorostnom uchastke stalo. *Automation, communication, informatics*, 9, 34–36. (in Russian)
8. Pultiakov, A. V., & Scorobogatov, M. E. (2018). System analysis of the stability of the automatic locomotive signaling systems. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 1(57), 79–89. DOI: [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2018.1\(57\).79-89](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2018.1(57).79-89) (in Russian)
9. Hololobova, O. O., & Havryliuk, V. I. (2017). Application of Fourier transform and wavelet decomposition for decoding the continuous automatic locomotive signaling code. *Science and Transport Progress*, 1(67), 7–17. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/92771> (in English)
10. Hololobova, O. O., Havryliuk, V. I., Kovryhin, M. O., & Buriak, S. Yu. Study of transmission lines effect on the system operation of continuous automatic cab signaling. *Science and Transport Progress*, 5(53), 17–28. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2014/30833> (in English)
11. Theeg, G., & Vlasenko, S. (2009). *Railway Signalling and Interlocking. International Compendium*. Hamburg: Eurailpress. (in English)

Надійшла до редколегії: 09.08.2021

Прийнята до друку: 09.12.2021

UDC 656.259.2:681.5.015.75

K. V. HONCHAROV^{1*}, R. V. RYBALKO^{2*}^{1*}Dep. «Automatics and Telecommunications», Ukrainian State University of Science and Technologies, 2 Lazariana St, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail goncharovkonv@gmail.com, ORCID 0000-0002-0432-1077^{2*}Research Department, Ukrainian State University of Science and Technologies, 2 Lazariana St, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 51 09, e-mail r.v.rybalka@gmail.com, ORCID 0000-0001-7444-0517

Multi-Valued Automatic Cab Signalling System Based on the CDMA Technology

Purpose. The work is aimed at the development of principles for the construction of multi-valued automatic cab signalling system (ACS) using the wide-band pseudorandom signals. **Methodology.** An analysis of existing ACS systems and modern telecommunication technologies has been performed to achieve the stated purpose. The multi-valued automatic cab signalling system CDMA-ACS has been proposed. The mentioned system utilizes wide-band pseudo-noise signals to transmit commands. System parameters: frequency band – 155...395 Hz, pseudorandom codes – 16-bit Walsh codes, spectrum spreading factor – 16, source signal bandwidth – 15 Hz, carrier modulation – DBPSK (differential binary phase-shift keying), information rate – 15 bit/sec, code combination length – 4 bits, maximum amount of commands – 256, the duration of single command transmission – 0.27 sec. Functional diagrams of generator and receiver of the multi-valued automatic cab signalling system have been designed. It has been suggested to apply the correlation method to receive the ACS signals. **Findings.** To investigate the proposed CDMA-ACS system the simulation modelling has been accomplished in MATLAB in two stages: at the first stage, the CDMA-ACS system was investigated as interference-free; at the second stage – under the influence of powerful narrow-band interferences (traction current harmonics). It has been found that the system shows high immunity to narrow-band harmonic interferences. The most significant harmonics of the traction current related to the system are 250 Hz and 300 Hz, since they are the closest to the carrier frequency of 275 Hz. It has been determined that errors in decoding the ACS commands occur if the signal-to-noise ratio becomes lower than -8 dB. To reduce the influence of 250 Hz and 300 Hz, harmonics the application of additional notch filters was proposed. **Originality.** For the first time, the authors of this work carried out research on the multi-valued automatic cab signalling system with the use of wide-band pseudo-random Walsh codes. **Practical value.** Implementation of solutions being proposed allows improving the informativeness and interference immunity for the automatic cab signalling system, reducing the duration of command transmission from the railway track to the cab.

Keywords: automatic cab signalling; wide-band signal; code division multiple access; Walsh codes; correlation method; interference immunity

Introduction

Train traffic safety largely depends on the reliable and effective operation of the locomotive automatics devices. Such devices control the train speed, inform the driver about the current train situation, train location, actual and permissible speed of the section, control the driver's vigilance, and enable automatic braking in case of safety violations [13].

In Ukraine, today, the system of continuous automatic cab signalling with numerical coding (ALSN according to transcription from Ukrainian naming) is the main locomotive means to provide train traffic safety. In such a system, the permissible train speed is determined only by considering

the current train movement situation. Herewith constant speed restrictions, which are not related to the condition, profile, curve radius or other track section peculiarities, are not considered. Temporary restrictions applied during various works at track lines are not accounted for as well. Additionally, the ALSN system does not provide the permissible speed reduction depending on the route (straight or diverging) of movement in the station and does not consider the number of the turnouts' frogs. On the line, such a system allows the driver to receive information only about the vacancy of the two block sections ahead. All this relates to the low number of values of the ALSN system, which uses only three signals: Z, Zh and KZh codes (tran-

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

scripted from Ukrainian). The disadvantages of this system also include high latency (transmission delay of one command is 5...6 s), low interference immunity, outdated element base, and limited functionality.

One of the directions of further development of the ACS system is to update the locomotive equipment and apply advanced methods of signal processing. Thus, in [3] to increase the interference immunity of ALSN, it was proposed to use multi-channel adaptive filters, and in [2, 6] – the methods of digital signal processing and correlation analysis. The work [1] proposes an improved method of receiving ACS codes by «accumulation» when the receiver accumulates the signal for a certain period and then determines the received code according to the envelop pattern. There are also studies on the recognition of the ACS signals using the artificial neural networks [4, 5, 7], as well as spectral analysis and Wavelet transform [9]. However, all of these do not solve the problem of low ALSN informativeness, which is related to the low number of values of this system.

The development of multi-valued ACS involves the selection of carrier signals to transmit information to the locomotive through the rail line. Narrow-band signals are traditionally used in existing multi-valued cab signalling systems. For example, the frequency coding system ALSU (transcribed from Ukrainian naming) uses 15 commands, each of which is encoded by a combination of two unmodulated sinusoidal signals with different frequencies. The Russian ALS–YeN (transcription from Russian) system uses a carrier signal with a frequency of 175 Hz with differential binary phase-shift keying [6]. Italian BACC system, which is closest to the ALSN system, uses amplitude-modulated signals with carrier frequencies of 50 and 178 Hz and different modulation frequencies, yielding nine ACS commands [13]. Thus, traditional ACS systems use narrow-band signals, the spectrum of which is between the traction current harmonics. The ACS signal bandwidth cannot be more than 50 Hz (frequency difference of two adjacent harmonics), and considering the amplitude response of the filters is 25...30 Hz. This limits the information content and the information transfer rate over such a communication channel.

In modern telecommunication systems wide-band signals are often used. Thus, third-generation mobile systems, systems for satellite communication and satellite navigation are based on CDMA technology, which uses wide-band pseudorandom signals [8, 10–12]. Fourth-generation mobile communications use OFDMA wide-band signals, which consist of orthogonal subcarriers [14]. Such technologies provide high interference immunity and spectral efficiency. In this regard, the research on the possibility of using the wide-band signals to transmit commands to cab signalling is relevant.

Purpose

The purpose of this work is to develop the principles of construction of a multi-valued automatic cab signalling system using the wide-band pseudorandom signals.

Methodology

To construct a multi-valued ACS, we propose to take a set of commands of the ALSU frequency system as a basis and expand it considering the possible increase of speed up to 250 km/h (Table 1). System commands (ACS signals) are designated by the conventional numbers, and the signal, which represents information about the higher operating speed, corresponds to the higher sequence number.

In the case of three-digit automatic block signalling on a line, three ACS signals are used: 1, 6 and 9, whereas in the four-digit automatic block signalling – four signals: 1, 4, 6 and 9. The three signals are general, and signal 4, transmitted by the yellow light signal in the case of four-digit automatic block signalling, allows movement at a speed below 50 km/h for a freight train and 80 km/h for a passenger one.

Four code signals 2, 3, 5 and 7 are used to transmit information about the predefined movement speed during the setting of the incoming route to the siding line with a divergence on the turnouts' frogs of different numbers. These signals transmit the same information about the set speed for both freight and passenger trains, considering that the value of this speed is determined not by the braking distance, but by the turnouts' frogs on the route (below 25, 50, 80 and 90 km/h, respectively, for the frogs of the 1/9, 1/11, 1/18 and 1/22 numbers).

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

When the train moves along the main station track, the same ACS signals as on the running tracks are applied.

For high-speed trains, the proposed ACS system provides signals 10, 11, 12, 13, 14, which are used

to transmit information about the set speed of 160, 180, 200, 220 and 250 km/h.

There are also reserve signals 15 and 16, which can be used to transmit additional information, if it is needed in the case of specific operating conditions of the line.

Table 1

Commands of multi-valued ACS

Command number	Cab signal	Controlled speed, km/h			Note
		Freight train	Passenger train	High-speed train	
block section is occupied	red	0	0	0	–
1	red yellow	0	0	0	–
2	yellow	25	25	25	diverging movement, frog 1/9
3	yellow	50	50	50	diverging movement, frog 1/11
4	yellow	50	80	80	–
5	yellow	80	80	80	diverging movement, frog 1/18
6	yellow	80	120	120	–
7	yellow	90	120	120	diverging movement, frog 1/22
8	yellow	90	140	140	–
9	green	90	140	140	–
10	green	90	160	160	–
11	green	90	160	180	–
12	green	90	160	200	–
13	green	90	160	220	–
14	green	90	160	250	–
15	reserve	–	–	–	–
16	reserve	–	–	–	–

According to CDMA (Code Division Multiple Access) technology, a wide-band pseudo-noise signal (pseudorandom sequence) is added to the information signal of each user [8, 11, 12]. Due to this, the signal spectrum is modulated and widened.

Herewith, each user occupies the entire available time-frequency resource of the communication system. Pseudorandom code combination, which is unique for each user, performs a kind of signal marking. Adding the same combination on the re-

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

ceiving end allows extracting the user signal from the received group signal. Orthogonal codes are used as pseudorandom to reduce mutual inter-channel interference.

Advantages of the CDMA technology include high spectral efficiency, data confidentiality, high system flexibility, and high immunity to narrow-band interferences. The latter is related to the fact that the energy of the pseudo-noise signal is distributed over a wide frequency band, and narrow-band interference, even a very powerful one, does not significantly affect it.

In this work, the multi-valued system of automatic cab signalling (CDMA-ACS), which use pseudo-noise signals, has been proposed. Parameters of the system: frequency band – 155...395 Hz, pseudorandom codes – 16-bit Walsh codes, spectrum spreading factor – 16, information signal bandwidth – 15 Hz, carrier modulation – DBPSK (differential binary phase-shift keying), information rate – 15 bit/s, code combination length – 4 bits. Each ACS command corresponds to one of 16 unique Walsh codes and a 4-bit informational code combination. Thereby, the maximum possible

number of commands is 256 and the transmission time for one command is 0.27 s. 16 ACS commands are sufficient for practical application. Thus, the proposed parameters provide significant information redundancy, which increases the system interference immunity.

To generate CDMA-ACS signals, we offer a generator, the functional diagram of which is given in Fig. 1. Using the encoder, each ACS command is assigned a four-bit informational combination and a 16-bit Walsh code, which is added modulo two to the informational sequence. In this way, the spectrum spreading and the informational signal marking are achieved. In this case, the informational sequence of a 15 bits/s rate is converted into a wide-band signal with a chip rate of 240 symb/s, which modulates the harmonic carrier and forms a PSK signal. The DPSK, which provides high interference immunity of the communication channel, is used in the system. The obtained wide-band PSK signal is filtered, amplified and transmitted to the rail line through the protection and matching devices. Let us consider the operation of the CDMA-ACS signal receiver (see the functional diagram in Fig. 2).

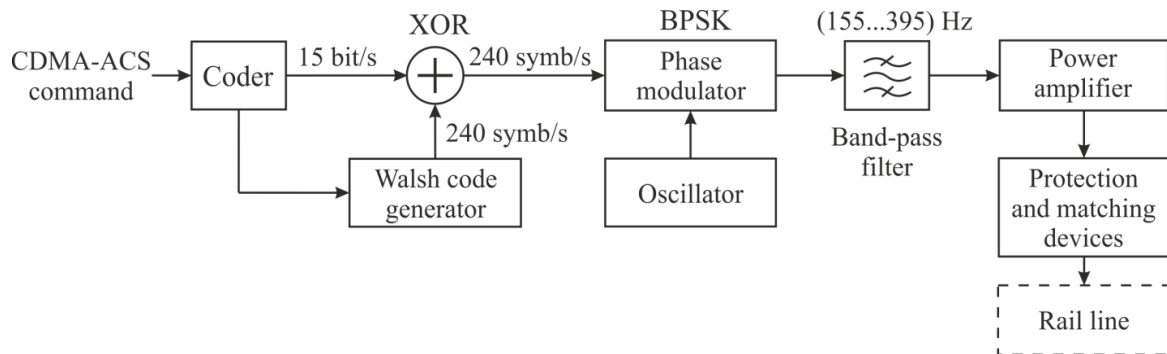


Fig. 1. Functional diagram of CDMA–ACS generator

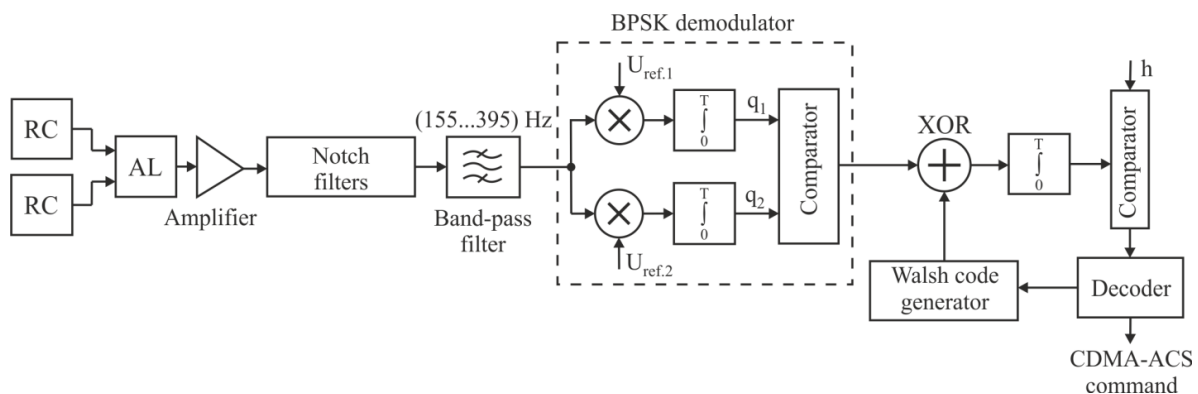


Fig. 2. Functional diagram of CDMA–ACS receiver

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

The locomotive receiving coils (RC) receive the ACS signal from the rail line, and then it is transmitted to the amplitude limiter (AL), which protects the receiver from powerful interference. The signal received is amplified, filtered and applied to the phase demodulator input. To reduce the influence of traction current harmonics, the narrow-band notch filters, which are tuned for the frequencies of 200, 250, 300 and 350 Hz, are used. Such filtering does not significantly affect the received ACS signal because, according to CDMA technology, the signal has a wide spectrum, i.e. useful information is not concentrated at one point, but distributed over the entire frequency band (155...395) Hz.

Phase demodulator is constructed according to the correlation principle. It determines the cross-correlation of the received signal and two reference signals with a frequency of 275 Hz and opposite phases, corresponding to logical zero and logical one. The value of each symbol is determined by comparing the obtained cross-correlations.

In the proposed system, each ACS command has two selective features: a 16-bit Walsh code and a 4-bit informational sequence. To decode the command different Walsh codes are added modulo two to the signal received after demodulation. Then the signal integration is performed for each message element. The value of each informational element (logical zero or logical one) is determined by comparing the integrator output signal and the h limit level. After this, the decoder analyses the received 4-bit combination and determines, which ACS command is transmitted over the rail line.

Findings

To investigate the proposed CDMA-ACS system, the simulation modelling has been accomplished in MATLAB. In the first stage, the CDMA-ACS system was considered interference-free. The results are presented in Fig. 3. A 4-bit combination 1010 was chosen as the information message (Fig. 3, *a*). The duration of one element of the message is 66.7 ms, which corresponds to the information rate of 15 bits/s. A 16-bit Walsh code is added modulo two to such a signal to mark and broaden the spectrum. As a result, a pulse sequence with a chip rate of 240 symb/s is formed (Fig. 3, *b*).

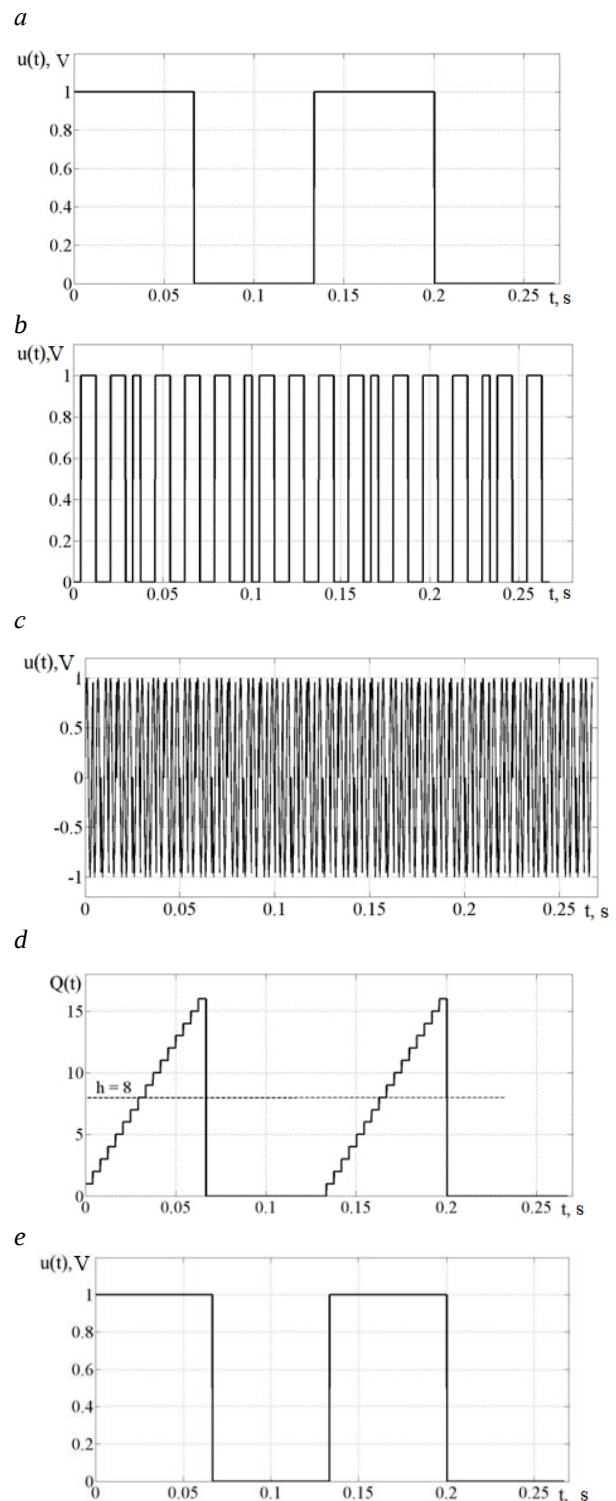


Fig. 3. Results of simulating the signal transformations in the CDMA-ACS system without interference:
a – initial message; *b* – signal after spectrum broadening;
c – modulated signal; *d* – signal at the output of integrator;
e – received message

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

After the DPSK, a harmonic signal with a carrier frequency of 275 Hz is generated, the phase of which changes according to the value of symbols transmitted. Thus, a wide-band signal is formed (Fig. 3, c), the spectrum of which occupies the frequency band of 155... 395 Hz. This signal, being amplified and matched, is transmitted to the rail line.

CDMA-ACS receiver amplifies, filters, demodulates and decodes the received signal. After demodulation, the reference Walsh code is added modulo two to the pulse sequence, and the result is integrated. Herewith, the integrator output signal is linearly increasing. (Fig. 3, d). At the end of each timing interval, this signal is compared with the h limit level, and the value of each information element is determined.

The limit level is exceeded for the first and third unit interval, whereas for the second and fourth is not (see Fig. 3, d). Thus, after decoding, the information sequence 1010 (Fig. 3, e) is obtained, which corresponds to the signal at the output of the generator.

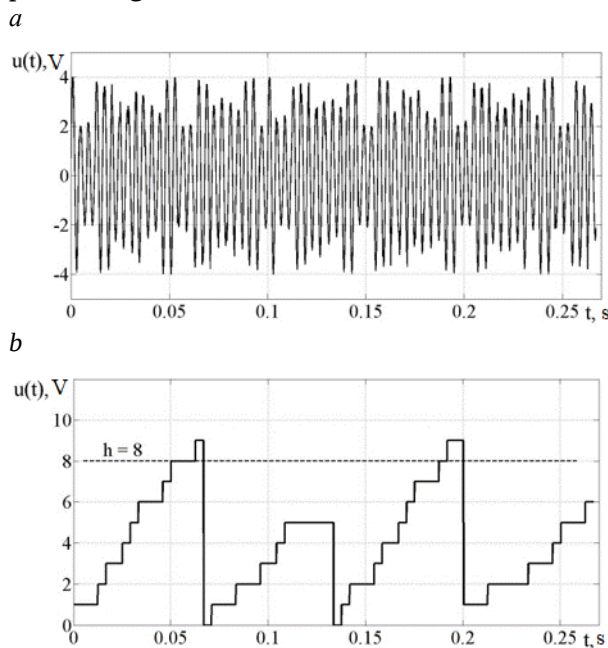


Fig. 4. Results of simulating the signal transformations in the CDMA-ACS system under the influence of interference 250 Hz:

a – signal at the input of receiver;
 b – signal at the output of integrator

At the second stage, CDMA-ACS system was simulated under the influence of powerful narrow-band interferences (traction current harmonics) excluding distortions in the rail line, filters, amplifiers and other protection and matching devices. Interferences with frequencies of 250 and 300 Hz were chosen because they are the closest to the signal carrier frequency of 275 Hz and are the most significant. In Fig. 4, a , CDMA-ACS signal under the harmonic interference of 250 Hz and signal-to-noise ratio of 1/3 is shown, i.e. the interference amplitude is three times higher than the signal amplitude (1 V). After its demodulation and processing at the integrator output, the signal in Fig. 4, b is being formed. The limit level is exceeded for the first and third unit intervals but is not for the second and fourth. Thus, after decoding, the informational sequence 1010 is obtained, i.e. the receiver decoded the signal without errors. Errors occurred with a higher interference amplitude of 250 Hz.

Fig. 5 shows the results of simulation under the influence of harmonic interference with a frequency of 300 Hz and the signal-to-noise ratio 1/2. As we can see, in this case, the information message is also decrypted without errors. Errors occurred with a further increase in the interference amplitude.

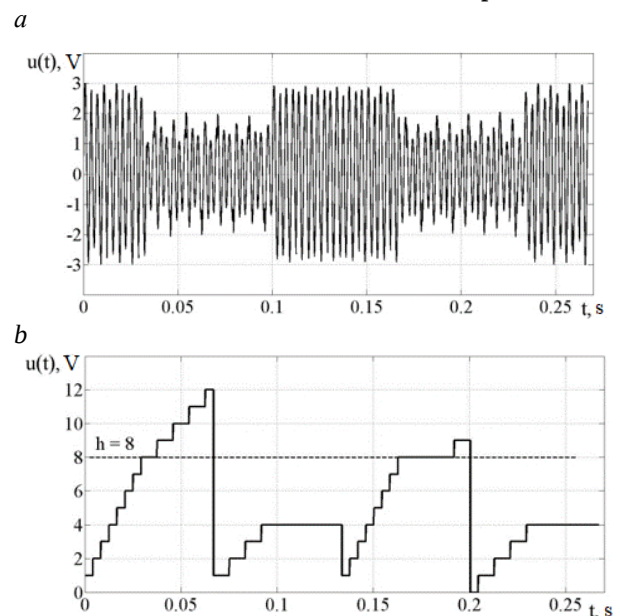


Fig. 5. Results of simulating the signal transformations in the CDMA-ACS system under the influence of interference 300 Hz:

a – signal at the input of receiver;
 b – signal at the output of integrator

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

As a result of simulating the system operation, the dependency of the error ratio of CDMA-ACS command decoding on the signal-to-noise ratio with a harmonic interference of 300 Hz was obtained (Fig. 6). During the simulation, a random 4-bit message and interference of a random phase, uniformly distributed in the $[0, 2\pi]$ interval, were formed. The 10,000 tests were performed for each signal-to-noise ratio. It was found that in the case of a signal-to-noise ratio greater than -8 dB (interference level 2.51 times higher than the signal level), decoding errors of CDMA-ACS commands do not occur. At this stage, the simulation did not consider the amplitude limiter and notch filters. In the case of applying such elements, the interference amplitude may not significantly exceed the amplitude of the useful signal.

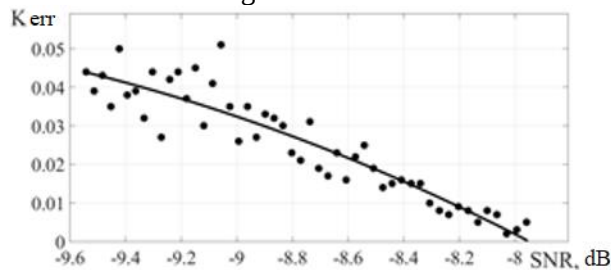


Fig. 6. Dependency of the error rate on signal-to-noise ratio:
points – simulation results; line – approximation

Thus, the simulation results show a sufficiently high interference immunity of the CDMA-ACS system to narrow-band harmonic interference. This is caused by the following factors: 1) the usage of interference-immune PSK; 2) the application of the correlation method in the receiver; 3) the wide-band signal is resistant to narrow-band interference.

Originality and practical value

The authors of this work studied a multi-valued automatic cab signalling system using wide-band pseudo-random Walsh codes for the first time.

Implementation of the proposed solutions will increase the informativeness and interference immunity of the automatic cab signalling system, reduce the command transmission time from the track to locomotive.

Conclusions

1. The main disadvantage of the system of automatic cab signalling with numerical encoding (ALSN) is low informativeness. In Ukraine, the implementation of a high-speed rail system is virtually impossible without modernizing the locomotive safety devices by using the multi-valued automatic cab signalling.

2. This work proposes a multi-valued ACS system, which allows the transmission of at least 16 commands to the locomotive, including information on speed limits at the stations, as well as information on the current train situation on the line, taking into account the possible speed increase to 250 km/h.

3. The wide-band pseudo-noise signals were proposed to transmit ACS commands. This allowed a significant improvement in the informativeness and data transfer rate. Functional diagrams of the generator and receiver of signals of multi-valued ACS were developed, and the system parameters were proposed.

4. To study the proposed system, a simulation model in the MATLAB environment was developed. The simulation results showed high interference immunity of the system to narrow-band harmonic interference.

5. This work involves further research in the following areas: simulation of signal transformations in the CDMA-ACS system, taking into account distortions in the rail line, filters, amplifiers and other protection and matching devices; use efficiency comparison of other wide-band pseudorandom codes.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Батраев В. В. Методы приема и синхронизации сигналов автоматической локомотивной сигнализации. *Автоматика на транспорте*. 2021. Т. 7, № 2. С. 175–188.
DOI: <https://doi.org/10.20295/2412-9186-2021-7-2-175-188>

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

2. Гончаров К. В. Синтез цифрового локомотивного приемника автоматической локомотивной сигнализации. *Наука та прогрес транспорту*. 2013. Вып. 1 (43). С. 30–38.
3. Засов В. А. Компенсация помех в приемниках сигналов автоматической локомотивной сигнализации. *Автоматика на транспорте*. 2019. Т. 5, № 1. С. 32–44.
4. Присухина И. В., Борисенко Д. В. Машинная классификация сигналов числового кода в электротехнических системах локомотивной сигнализации. *Омский научный вестник*. 2019. № 4 (166). С. 39–47. DOI: <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2019-166-39-47>
5. Присухина И. В., Борисенко Д. В. Совершенствование алгоритмов машинной классификации состояний рельсовых электротехнических систем в составе автоматической локомотивной сигнализации. *Омский научный вестник*. 2019. № 6 (168). С. 63–69. DOI: <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2019-168-63-69>
6. Пулятков А. В., Скоробагатов М. Э. Системный анализ устойчивости работы систем автоматической локомотивной сигнализации. *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2018. № 1 (57). С. 79–89.
7. Сотник В. О., Бабаєв М. М., Чепцов М. М. Нейромережева модель розпізнавання тривалості імпульсів та інтервалів кодів АЛСН. *Збірник наукових праць ДніЗТ*. 2013. № 36. С. 67–79.
8. Студеникин А. В., Жук А. П. Моделирование дискретных ортогональных кодовых последовательностей для систем передачи информации. *Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли*. 2021. Т. 13, № 1. С. 36–43.
9. Hololobova O. O., Havryliuk V. I. Application of Fourier transform and Wavelet decomposition for decoding the continuous automatic locomotive signaling code. *Science and Transport Progress*. 2017. № 1 (67). P. 7–17. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/92771>
10. Hossain A., Islam S., Ali S. Performance analysis of Barker code based on their correlation property in multi-user environment. *International Journal of Information Sciences and Techniques (IJIST)*. 2012. Vol. 2. Iss. 1. P. 27–39. DOI: <https://doi.org/10.5121/ijist.2012.2103>
11. Ilcev D. S. Analyses of Code Division Multiple Access (CDMA) Schemes for Global Mobile Satellite Communications (GMSC). *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2020. Vol. 14. Iss. 4. P. 805–810. DOI: <https://doi.org/10.12716/1001.14.04.03>
12. Sony D., Keerthi P., Aditya O., Sravya N. Simulation and Performance Analysis of Interleave Division Multiple Access (IDMA) in Comparison with Code Division Multiple Access (CDMA). *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST)*. 2021. Vol. 5. Iss. 2. P. 90–94. DOI: <https://doi.org/10.38177/ajast.2021.5212>
13. Theeg G., Vlasenko S. *Railway Signalling and Interlocking. International Compendium*. Hamburg : Eurailpress, 2009. 448 p.
14. Wei H., Xu L., Tao J. Research on anti-jamming and anti-interception performance of MC-CDMA system based on Code-Hopping. *Journal of Physics : Conference Series*. 2021. Vol. 1920. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1920/1/012046>

К. В. ГОНЧАРОВ^{1*}, Р. В. РИБАЛКА^{2*}

^{1*}Каф. «Автоматика та телекомунікації», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта goncharovkonv@gmail.com, ORCID 0000-0002-0432-1077

^{2*}Науково-дослідна частина, Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 51 09, ел. пошта r.v.rybalka@gmail.com, ORCID 0000-0001-7444-0517

Багатозначна система автоматичної локомотивної сигналізації на базі технології CDMA

Мета. Ця робота спрямована на розробку принципів побудови багатозначної системи автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) із застосуванням широкопasmових псевдовипадкових сигналів. **Методика.** Для досягнення поставленої мети проведено аналіз наявних систем АЛС та сучасних телекомунікаційних технологій. Запропоновано багатозначну систему автоматичної локомотивної сигналізації CDMA–АЛС, у якій для передачі команд використано широкопasmові шумоподібні сигнали. Параметри сис-

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

теми: частотна смуга – 155...395 Гц, псевдовипадкові коди – 16-бітні коди Уолша, коефіцієнт розширення спектру – 16, ширина спектру вихідного сигналу – 15 Гц, модуляція несучої – DBPSK (диференційна двопозиційна фазова маніпуляція), інформаційна швидкість – 15 біт/с, довжина кодової комбінації – 4 біти, максимальна кількість команд – 256, час передачі однієї команди – 0,27 с. Розроблено функціональні схеми генератора та приймача сигналів багатозначної автоматичної локомотивної сигналізації. Запропоновано використовувати кореляційний метод прийому сигналів АЛС. **Результати.** Для випробування запропонованої системи CDMA–АЛС проведено імітаційне моделювання в середовищі MATLAB у два етапи: на першому етапі було досліджено систему CDMA–АЛС за відсутності завад; на другому – за умови впливу потужних зосереджених за спектром завад (гармонік тягового струму). Установлено, що система має високу завадостійкість до вузькосмугових гармонічних завад. Найбільш суттєвими для системи є гармоніки тягового струму 250 та 300 Гц, оскільки вони найближчі до несучої частоти сигналу 275 Гц. Визначено, що помилки декодування команд АЛС виникають, якщо відношення сигнал / шум стає нижчим ніж –8 дБ. Для зменшення впливу гармонік 250 та 300 Гц запропоновано використовувати додаткові режекторні фільтри. **Наукова новизна.** Автори цієї роботи вперше виконали дослідження багатозначної системи автоматичної локомотивної сигналізації із застосуванням широкосмугових псевдовипадкових кодів Уолша. **Практична значимість.** Упровадження запропонованих рішень дозволить підвищити інформативність та завадостійкість системи автоматичної локомотивної сигналізації, зменшити час передавання команд із колії на локомотив.

Ключові слова: автоматична локомотивна сигналізація (АЛС); широкосмуговий сигнал; множинний доступ із кодовим розділенням; коди Уолша; кореляційний метод; завадостійкість

REFERENCES

1. Batraev, V. V. (2021). Metody Methods of reception and synchronization of signals of automatic cab signalling. *Automation on Transport*, 7(2), 175-188. DOI: <https://doi.org/10.20295/2412-9186-2021-7-2-175-188> (in Russian)
2. Goncharov, K. V. (2013). Synthesis of digital locomotive receiver of automatic locomotive signaling. *Science and Transport Progress*, 1(43), 30-38. (in Russian)
3. Zasov, V. A. (2019). Compensation of noise in signal receivers automatic locomotive signaling. *Automation on transport*, 5(10), 32-44. (in Russian)
4. Prisukhina, I. V., & Borisenko, D. V. (2019). Machine classification of code signals in electric train signalling systems. *Omsk Scientific Bulletin*, 4(166), 39-47. DOI: <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2019-166-39-47> (in Russian)
5. Prisukhina, I. V., & Borisenko, D. V. (2019). Improving the algorithms of machine classification of the state of track electrotechnical systems as a part of the system of automatic cab signalling. *Omsk Scientific Bulletin*, 6(168), 63-69. DOI: <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2019-168-63-69> (in Russian)
6. Pul'tyakov, A. V., & Skorobogatov, M. E. (2018). The systematic analysis of the sustainability of automatic cab signalling systems. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 1(57), 79-89. (in Russian)
7. Sotnyk, V. O., Babaiev, M. M., & Cheptsov, M. M. (2013). Neiomerezheva model rozpoznavannia tryvalosti impulsiv ta intervaliv kodiv ALSN. *Zbirnyk naukovykh prats DonIZT*, 36, 67-79. (in Ukrainian)
8. Studenikin, A. V., & Zhuk, A. P. (2021). Modelling the discrete orthogonal code sequences for information transfer systems. *H&ES Research*, 13(1), 36-43. (in Russian)
9. Hololobova, O. O., & Havryliuk, V. I. (2017). Application of Fourier transform and Wavelet decomposition for decoding the continuous automatic locomotive signaling code. *Science and Transport Progress*, 1(67), 7-17. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/92771> (in English)
10. Hossain, A., Islam, S., & Ali, S. (2012). Performance analysis of Barker code based on their correlation property in multiuser environment. *International Journal of Information Sciences and Techniques (IJIST)*, 2(1), 27-39. DOI: <https://doi.org/10.5121/ijist.2012.2103> (in English)
11. Ilcev, D. S. (2020). Analyses of Code Division Multiple Access (CDMA) Schemes for Global Mobile Satellite Communications (GMSC). *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 14(4), 805-810. DOI: <https://doi.org/10.12716/1001.14.04.03> (in English)

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

12. Sony, D., Keerthi, P., Aditya, O., & Stravya, N. (2021). Simulation and Performance Analysis of Interleave Division Multiple Access (IDMA) in Comparison with Code Division Multiple Access (CDMA). *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST)*, 5(2), 90-94.
DOI: <https://doi.org/10.38177/ajast.2021.5212> (in English)
13. Theeg, G., & Vlasenko, S. (2009). *Railway Signalling and Interlocking International Compendium*. Hamburg: Eurailpress. (in English)
14. Wei, H., Xu, L., & Tao, J. (2021). Research on anti-jamming and anti-interception performance of MC-CDMA system based on Code-Hopping. *Journal of Physics: Conference Series*, 1920, 1-11.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1920/1/012046> (in English)

Received: August 19, 2021

Accepted: December 17, 2021

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.353.065:[622.684:330.131.5]

К. М. РАЗУМОВА¹, О. А. ТЕМЧЕНКО², С. В. МАКСИМОВ³, О. С. МАКСИМОВА⁴

¹Каф. «Організація авіаційних робіт та послуг», Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, Київ, Україна, 03058, тел. +38 (044) 406 60 45, ел. пошта katernyna.razumova@npp.nau.edu.ua, ORCID 0000-0001-6385-2823

²Каф. «Економіка та підприємництво», Державний університет економіки і технологій, вул. Медична, 16, Кривий Ріг, Україна, 50005, тел. +38 (097) 214 88 69, ел. пошта temchenko_oa50@ukr.net, ORCID 0000-0003-0020-2430

³Каф. «Автомобільний транспорт», Криворізький національний університет, вул. В. Матусевича, 11, Кривий Ріг, Україна, 50027, тел. +38 (098) 559 51 26, ел. пошта max_ser_vlad@ukr.net, ORCID 0000-0002-9932-1511

⁴Каф. «Автомобільний транспорт», Криворізький національний університет, вул. В. Матусевича, 11, Кривий Ріг, Україна, 50027, тел. +38(097) 738 71 23, ел. пошта maxlenser@ukr.net, ORCID 0000-0001-7253-0105

Дослідження впливу тривалості вантажно-розвантажувальних робіт на ефективність використання технологічного автотранспорту на залізничних кар'єрах

Мета. Найпоширенішим видом технологічного транспорту на відкритих гірничих розробках є автомобільний – це автосамоскиди вантажопідйомністю від 45 до 220 т. Об'єм перевезень гірничої маси із застосуванням автотранспорту на підприємствах залізничної промисловості становить понад 350 млн т на рік, або 27 % від загального об'єму відкритих гірничих розробок у галузі. Більшість українських залізничних кар'єрів великої потужності змушені працювати в умовах інтенсифікації гірничих робіт, постійного заглиблення та ускладнення гірничо-геологічних умов. Зі збільшенням глибини кар'єрів спостерігається збільшення в 1,3–1,7 рази об'єму перевезень відносно до об'ємів відвантаженої гірничої маси і, як наслідок, зниження ефективності використання технологічного автотранспорту. Метою цієї роботи є проаналізувати вплив на ефективність використання кар'єрних автосамоскидів БелАЗ часу виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, що дасть можливість розробити управлінські заходи щодо впровадження ефективних транспортних технологій, спрямованих на зниження витрат під час видобутку залізної руди відкритим способом та цілеспрямовано впливати на ці виробничі процеси. **Методика.** Для вирішення поставлених завдань було використано методи техніко-економічного, кореляційно-регресійного, факторного та ситуаційного аналізу (для дослідження процесів експлуатації кар'єрних автосамоскидів на гірничодобувних підприємствах). Для формалізації методів підвищення ефективності використання техніки та транспортних технологій було використано методику оперативного врахування гірничотехнічних умов експлуатації кар'єрних автосамоскидів на гірничодобувних підприємствах. Для проведення оцінки економічної ефективності запропонованої системи управління видобувною діяльністю кар'єрних автосамоскидів було запропоновано метод порівняльного економічного аналізу. **Результати.** Отримані результати практично впроваджено в реальних умовах експлуатації кар'єрних автосамоскидів та визначено економічний ефект від реалізації запропонованих заходів. **Наукова новизна.** У процесі дослідження було обґрунтовано та формалізовано методики, які дозволяють проводити оцінювання ефективності експлуатації кар'єрних автосамоскидів на підставі оперативного моніторингу умов їх експлуатації. **Практична значимість.** Обґрунтовано форми функціонального зв'язку та отримано аналітичні залежності між показниками, що характеризують ефективність використання кар'єрних автосамоскидів у процесі проведення технологічних перевезень залізної руди, та часом виконання вантажно-розвантажувальних робіт. Ця залежність дозволяє визначити резерви підвищення ефективності роботи автосамоскидів та економічний ефект від реалізації запропонованих заходів.

Ключові слова: кар'єрні автосамоскиди; вантажно-розвантажувальні роботи; простой; продуктивність; умови експлуатації; факторний аналіз; економічна ефективність

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Вступ

Сьогодні в Україні основні об'єми видобутку залізних руд здійснюють на п'яти гірничозбагачувальних комбінатах Кривого Рогу. Це – ПРАТ «Північний ГЗК», ПРАТ «Центральний ГЗК», ПРАТ «Південний ГЗК», Гірничий дивізіон ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та ПРАТ «Інгулецький ГЗК». Загальний видобуток ведуть на одинадцять кар'єрах із певними гірничотехнічними умовами.

Результати багаторічних спостережень і досліджень, проведених на гірничорудних підприємствах, показують, що основні витрати на відкритих розробках припадають на навантажувальні й транспортні операції, що особливо збільшилися в останні роки через зростання просторових розмірів кар'єрів [7, 10].

Видобуток залізних руд можна здійснювати із застосуванням різних транспортних технологій: екскаваторно-залізничної, екскаваторно-автомобільної, або комбінованої. У зв'язку з тим, що на більшості кар'єрів сьогодні глибина видобутку становить понад 300 м (глибина кар'єру ПРАТ «ІнгЗК» – 436 м), технологічні перевезення залізної руди здійснюють переважно кар'єрними автосамоскидами великої вантажопідйомності незважаючи на те, що це один із найбільш витратних способів транспортування як з урахуванням капітальних вкладень, так і в плані експлуатаційних витрат. Це пояснюється тим, що основними перевагами автомобільного транспорту є: незалежність його від зовнішніх джерел енергії, спрощення процесу формування технологічних схем перевезення руди, скорочення довжини транспортних комунікацій, можливості подолання крутих підйомів, мобільність. За цієї схеми руду доставляють автомобільним транспортом від вибоїв на концентраційні горизонти, де перевантажують на конвеєри (у рамках циклічно-поточної технології) або залізничний транспорт і вивозять на поверхню для подальшого збагачення. Переважну більшість рухомого складу в технологічних автомобільних перевезеннях становлять кар'єрні самоскиди виробництва «БЕЛАЗ – ХОЛДИНГ» серії 7513 вантажопідйомністю 130–136 т.

Однією з основних проблем, що виникають під час перевезення руди в кар'єрах, є наявність

простоїв транспорту в очікуванні навантаження й розвантаження і, як наслідок, недостатня ефективність використання навантажувальних засобів та автосамоскидів. Як основні шляхи вирішення зазначеної проблеми можна виділити такі: ретельний вибір моделі автосамоскида відповідно до технічних характеристик навантажувального засобу; розвиток систем контролю завантаження великовантажних автосамоскидів; використання нових систем керування процесом експлуатації кар'єрного автотранспорту.

Дослідженнями встановлено, що ефективність використання кар'єрного автомобільного транспорту залежить від багатьох експлуатаційних та організаційних факторів, які практично всі піддаються оцінці й аналізу, а відповідно, і результати такого аналізу можна застосувати для розробки заходів, спрямованих на підвищення ефективності використання технологічного автомобільного транспорту.

Основними показниками, що визначають рівень ефективності технологічних перевезень, більшість авторів визнають продуктивність і собівартість транспортування гірничої маси. Аналіз показує, що фактичні витрати на технологічні перевезення 1 т залізної руди на гірничо-збагачувальних комбінатах Кривого Рогу складають близько 30 грн за собівартості 1 т. км у 8–9 грн.

У науково-технічній літературі питанню підвищення ефективності експлуатації великовантажного кар'єрного автотранспорту останнім часом приділено значну увагу. До досліджень із цієї тематики варто віднести роботи А. А. Адамчука [1], Ю. П. Астаф'єва [2], В. В. Ауліна [3], М. В. Дадонова [4], Г. І. Кириченка [5, 6], А. А. Кулешова [7], О. Н. Ларина [8], С. В. Максимова [9], Ю. А. Монастирського [10, 11].

Аналіз цих робіт дозволяє виділити декілька головних напрямів підвищення ефективності експлуатації великовантажних самоскидів, які використовують на залізничних кар'єрах: удосконалення технології виконання гірничих робіт; обґрунтування раціональних параметрів і схем розкриття родовища й транспортної системи; поліпшення вантажо-розвантажувальних робіт за рахунок скорочення простоїв обладнання; оновлення парку технологічного автотранспорту шляхом заміни застарілих транспор-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

тних засобів новими; удосконалення ремонтної бази та впровадження нових методів і засобів для діагностики, технічного обслуговування й ремонту рухомого складу; поліпшення стану технологічних трас, що дозволяє максимально повно використати тягово-динамічні властивості автосамоскида.

Побудовані під час дослідження теоретичні моделі не повною мірою описують процес перевезень. Шляхи вирішення такої проблеми розглядав у своїх дослідженнях О. В. Осипов. Він відзначив, що для підвищення ефективності й системної стабільності на ринку транспортних послуг під час доставки вантажів повинна бути забезпечена максимальна координація й інтеграція всіх ланок транспортного процесу, що беруть участь у формуванні й управлінні основними й допоміжними матеріальними й пов'язаними з ними потоками. Учений проаналізував процес перевезення руди в цілому і його складових частин, виявив характер взаємозв'язку багатьох параметрів транспортно-технологічної схеми процесу перевезень. На підставі аналізу рівня ефективності перевезень руди великовантажними кар'єрними самоскидами було виявлено неефективність наявої методики планування графіків перевезень і запропоновано шляхи її вдосконалення.

У роботі О. Н. Ларина [8] проаналізовано фактори, що впливають на формування умов експлуатації кар'єрного транспорту. Їх поділено на дві групи:

- 1) фактори, що істотно впливають на транспортний процес;
- 2) фактори, що практично не впливають на процес перевезення вантажів.

До факторів, що істотно впливають на транспортний процес, належать гірничотехнічні, технологічні, дорожньо-транспортні, кліматичні.

До другої групи факторів віднесено режим роботи кар'єру й транспорту та економічні показники – вартість устаткування, транспортних комунікацій, гаражного господарства, вартість їхнього утримування й обслуговування, трудомісткість вантажно-транспортного й допоміжного процесів, зарплата основного й обслуговуючого персоналу, вартість пально-мастильних матеріалів, шин та ін.

Усі перелічені фактори залежно від можливості управління ними з боку гірничо-

збагачувального підприємства можна поділити на дві групи:

1) Які залежать від організації роботи кар'єру: кліматичні й географічні умови, фізико-механічні властивості розроблюваних порід, висота кар'єру над рівнем моря, напрямок руху з вантажем.

2) Такі, що можуть змінюватися шляхом проведення різних організаційних заходів: стан і якість доріг, оснащеність і потужність виробничо-технічної бази кар'єру й автотранспортного підприємства, режим роботи екскаваторів і самоскидів, організація навантаження й розвантаження машин, співвідношення екскаваторів і самоскидів, ступінь спрацювання навантажувальних і транспортних машин.

Вплив таких факторів на ефективність використання технологічного автотранспорту оцінено за допомогою кореляційно-регресійного аналізу.

У своїй роботі [7] А. А. Кулешов для оцінки ефективності використання технологічного автотранспорту запропонував технічні засоби контролю завантаження кар'єрних автосамоскидів та часу виконання окремих технологічних операцій. Як такі засоби розглянуто застосування бортових систем контролю завантаження і витрат палива (СКЗіП), які встановлюють на кар'єрних автосамоскидах БелАЗ.

У роботі С. В. Максимова [9] запропоновано показники оцінки економічної ефективності транспортної системи та динамічні критерії оцінки варіантів її розвитку (питомі витрати палива, продуктивність кар'єру за гірничою масою та обсяги транспортної роботи). Вартісним показником оцінки економічної ефективності кар'єрного автотранспорту обрано зведені витрати на транспортування гірничої маси, що припадають на 1 т або 1 м³ перевезеного вантажу та враховують фактор часу і ринкові умови.

Практична реалізація роботи полягає в розробці модуля оптимізації та автоматичної диспетчеризації системи керування гірничотранспортним комплексом «КАР'ЄР» для забезпечення максимуму ефективності роботи технологічного автотранспорту. Модуль дозволяє перерозподілити маршрути транспортування на основі розв'язання транспортної задачі з врахуванням впливу факторів зовнішнього середовища.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Мета

Основною метою роботи є обґрунтування форми функціонального зв'язку та отримання аналітичних залежностей між показниками, що характеризують ефективність використання кар'єрних автосамоскидів у процесі проведення технологічних перевезень гірничої маси, та часом виконання вантажно-розвантажувальних робіт на залізничних кар'єрах Кривого Рогу, а також дослідження рівня завантаженості кар'єрних автосамоскидів БелАЗ, визначення характеру впливу на ефективність використання часу виконання таких робіт і чисельної оцінки такого впливу.

Методика

Ефективність використання кар'єрних автосамоскидів оцінюють показником годинної продуктивності під час виконання технологічних перевезень. Цей показник розраховують як відношення об'єму перевезеного вантажу або виконаної транспортної роботи за один рейс до часу виконання цього рейсу.

Під час роботи з перевезень гірничої маси в кар'єрі автосамоскид, як правило, витрачає час безпосередньо на навантаження й розвантаження, пересування з вантажем і холостий пробіг у зворотному напрямку під навантаження. За одну поїздку автосамоскид перевозить вантаж, що дорівнює його вантажопідйомності з урахуванням коефіцієнта її використання (що обумовлений характером вантажу або організаційно-технічними умовами його навантаження).

$$W_r = \frac{Q_{\phi}}{t_{\text{об}}} = \frac{q_n \cdot \gamma_c}{t_{\text{рух}} + t_{\text{пр}}} = \frac{q_n \cdot \gamma_c}{\frac{l_{\text{ів}}}{V_m \cdot \beta} + t_{\text{пр}}} = \frac{q_n \cdot \gamma_c \cdot V_m \cdot \beta}{l_{\text{ів}} + V_m \cdot \beta \cdot t_{\text{н-р}}} \text{ т/год, (1)}$$

де W_r – годинна продуктивність за поїздку, т/год; Q_{ϕ} – фактичний обсяг перевезення вантажу за один рейс, т; q_n – номінальна вантажопідйомність автомобіля, т; γ_c – статичний коефіцієнт використання вантажопідйомності; $t_{\text{об}}$ – час обігу (тривалість одного рейсу) на маршруті, год; $t_{\text{рух}}$, $t_{\text{пр}}$ – час руху та простою на маршруті;

$l_{\text{ів}}$ – відстань перевезення вантажу, км; V_m – середньотехнічна швидкість руху автосамоскида, км/год; β – коефіцієнт використання пробігу; $t_{\text{н-р}}$ – час навантаження та розвантаження самоскида, год.

Показник ефективності використання кар'єрного самоскида можна визначити за формулами:

$$W_r = \frac{q_n \cdot \gamma_c \cdot V_m \cdot \beta}{l_{\text{ів}} + V_m \cdot \beta \cdot t_{\text{н-р}}} \text{ т/год; (2)}$$

$$W_r = \frac{q_n \cdot \gamma_c \cdot V_m \cdot \beta \cdot l_{\text{ів}}}{l_{\text{ів}} + V_m \cdot \beta \cdot t_{\text{н-р}}} \text{ т} \cdot \text{км/год. (3)}$$

Таким чином, показник продуктивності кар'єрного самоскида, або ефективності його роботи, залежить від трьох основних факторів: відстань перевезення вантажів, середньотехнічна швидкість руху автосамоскида та час його простоїв під навантаженням і розвантаженням. У разі збільшення часу навантаження та розвантаження автосамоскида показники (2) і (3), що характеризують ефективність його використання (виробіток), однозначно зменшуються. За зростання швидкості руху автосамоскида обидва показники ефективності його використання однозначно збільшуються. У випадку зростання відстані перевезень показник виробітку у тоннах (2) зменшується, а показник виробітку у тонно-кілометрах (3) збільшується. Причому характер зміни цих залежностей – нелінійний.

Вплив тривалості простою автосамоскида під вантажно-розвантажувальними операціями на його продуктивність для різних відстаней перевезення можна виявити аналітичним або графічним методом. Як приклад у табл. 1 наведені розрахункові дані продуктивності автосамоскида БелАЗ – 75131 на відстанях перевезення вантажу 2,5 і 5,0 км за різної тривалості простоїв під вантажно-розвантажувальними операціями (середній нормативний час цих операцій становить 7–8 хвилин), а на рис. 1 – графічна інтерпретація результатів таких розрахунків. Середньотехнічна швидкість руху взята 15 км/год, що обумовлено «Положенням про технічне обслуговування, діагностування і ремонт кар'єрних автосамоскидів БелАЗ» [12, 14].

Таблиця 1

Залежність продуктивності кар'єрного автосамоскида від відстані перевезення і часу простою під вантажно-розвантажувальними операціями

Table 1

Dependence of career dump truck productivity on transportation distance and downtime under loading and unloading operations

Відстань перевезення вантажів, км	Продуктивність кар'єрного автосамоскида БелАЗ–75131 (т.км) під час простоїв під навантаженням – розвантаженням (хв)					
	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
2,5	780,0	750,0	722,2	696,4	672,4	650,0
$\Delta W = W_t - W_{t-1}$	–	–30,0	–27,8	–25,8	–24,0	–22,4
5,0	866,7	847,8	829,8	812,5	795,9	780,0
$\Delta W = W_t - W_{t-1}$	–	–18,8	–18,0	–17,3	–16,6	–15,9

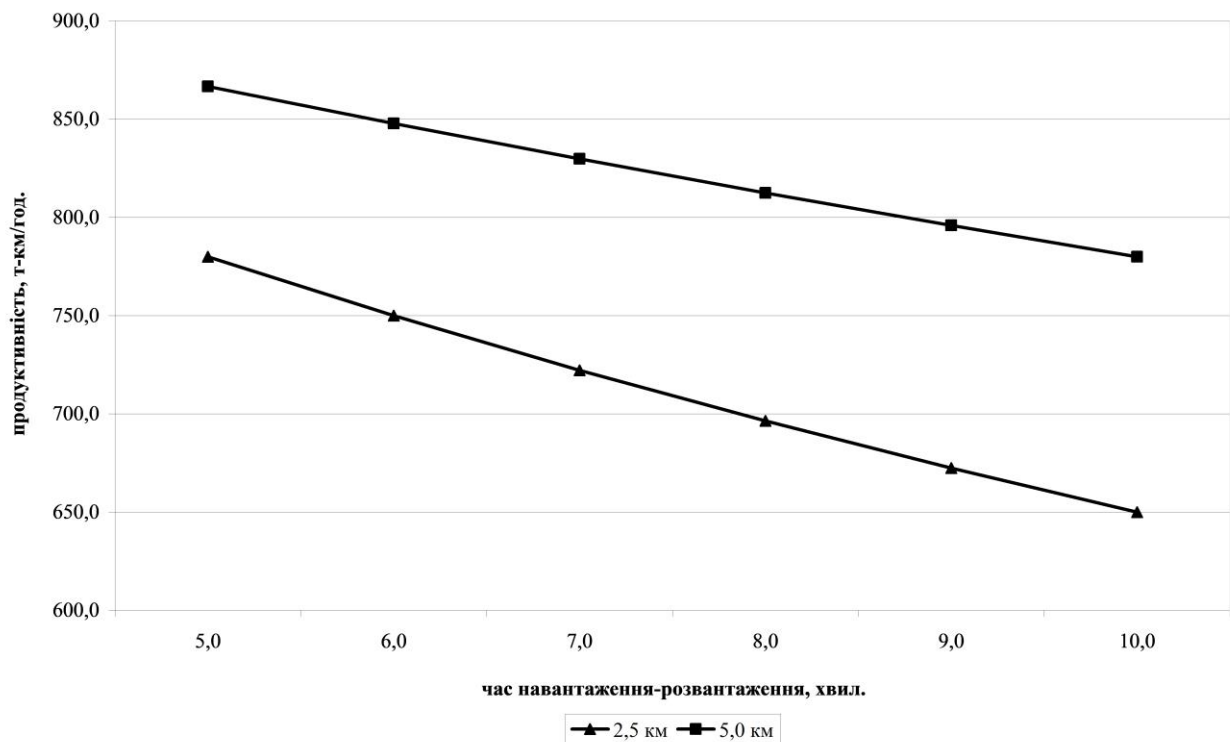


Рис. 1. Графік зміни продуктивності автосамоскидів залежно від часу простою під операціями навантаження – розвантаження та відстані перевезення гірничої маси

Fig. 1. Change schedule of dump trucks productivity depending on downtime under loading and unloading operations and transportation distance of rock mass

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Результати

Розв'язання задачі оптимізації часу навантажувально-розвантажувальних операцій на залізничних кар'єрах під час транспортування залізної руди передбачає аналіз практичного стану цього питання [13, 16–20].

Основним видом технологічного автотранспорту на залізничних кар'єрах Кривого Рогу є автосамоскид БелАЗ 7513 вантажопідйомністю 130 т (на діагональних шинах) та 136 т (на радіальних шинах). Геометричний об'єм платформи 45,45 м³, із «шапкою» 2:1 – 71,17 м³.

Норми часу навантаження – розвантаження включають для навантажувальних операцій середній час навантаження автосамоскида, час встановлення автосамоскида під навантаження залежно від схеми під'їзду (наскрізна, кільцева, комбінована або тупикова) та час очікування навантаження, а для операцій розвантаження – час встановлення автосамоскида під розвантаження, час підйому кузова, спорожнення платформи та її опускання. Середній час заванта-

ження автосамоскида, рекомендований виробником для різних видів навантажувальної техніки, наведено на рис. 2 і рис. 3 [14].

Аналіз динаміки зміни цих нормативів показує, що в разі збільшення ковша фронтального навантажувача на 1 м³ норма часу на вантажно-розвантажувальні операції автосамоскида БелАЗ 7513 зменшується на 2,5 сек., а за такого ж збільшення ковша кар'єрного екскаватора – на 9,6 сек.

Для виявлення фактичного стану справ з ефективності вантажно-розвантажувальних операцій на залізничних кар'єрах Кривого Рогу було проаналізовано роботу 20 автосамоскидів на п'яти кар'єрах ТОВ «МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ» (два кар'єри ПРАТ «ПівніЗК», два кар'єри ПРАТ «ЦГЗК» та кар'єр ПРАТ «ІнГЗК»). Для цього використано данні бортової системи контролю завантаження (СКЗіП), якою оснащено кожен автосамоскид БелАЗ. У цілому проаналізовано 1 648 рейсів.

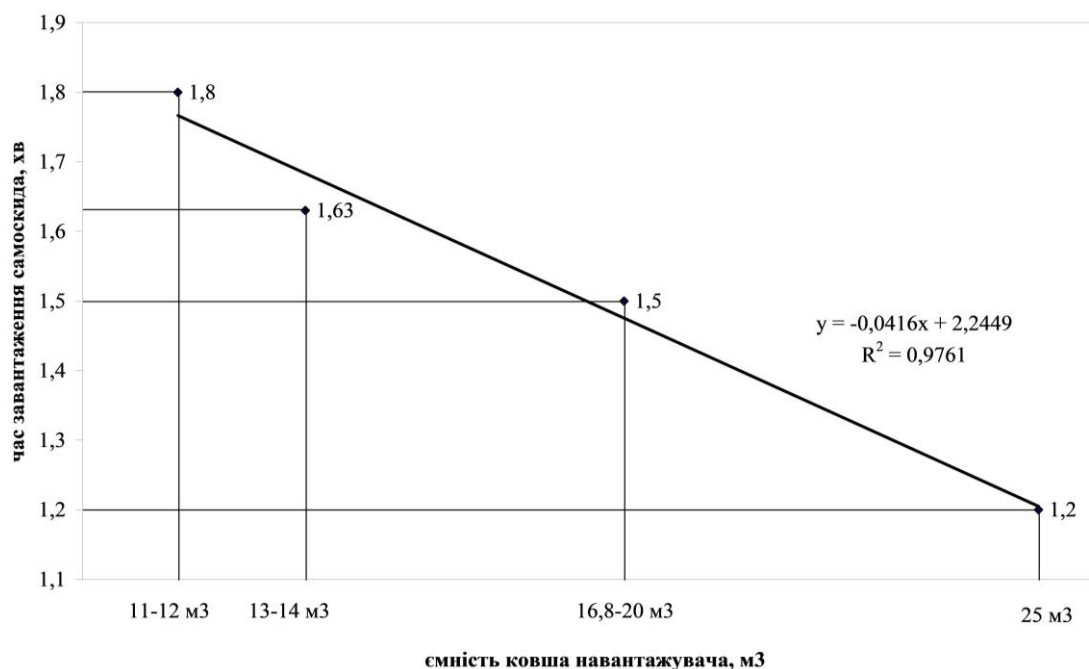


Рис. 2. Норми простою самоскида БелАЗ–7513 під час навантаження його фронтальним навантажувачем з ємністю ковша 11–25 м³

Fig. 2. Standard rates of downtime of BELAZ 7513 dump truck when loading by its front loader with a bucket capacity of 11–25 m³

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

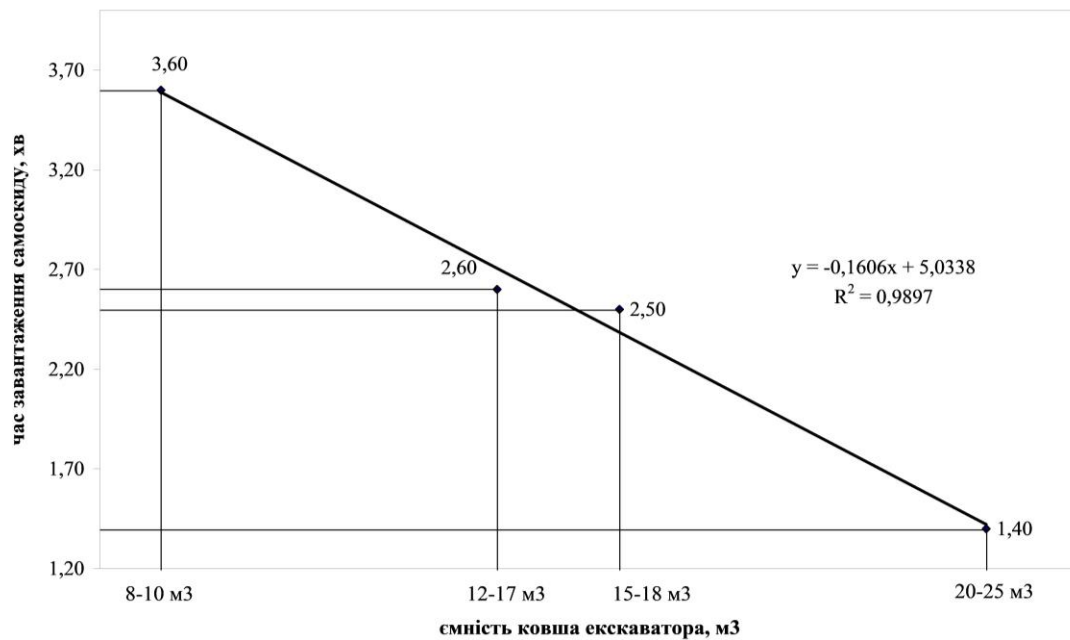


Рис. 3. Норми простою самоскида БелАЗ–7513 під час навантаження його кар'єрним екскаватором з ємністю ковша 8–25 м³

Fig. 3. Standard rates of downtime of BELAZ 7513 dump truck when loading by its mine excavator with a bucket capacity of 8-25 m³

Завантаження автосамоскидів на цих кар'єрах здійснюють переважно кар'єрними екскаваторами з ємністю ковша 8–10 м³. Повна

норма часу на весь комплекс операцій навантаження автосамоскида в цих умовах складає 5,2 хв, а розвантаження – 2,0 хв (рис. 4 та 5).

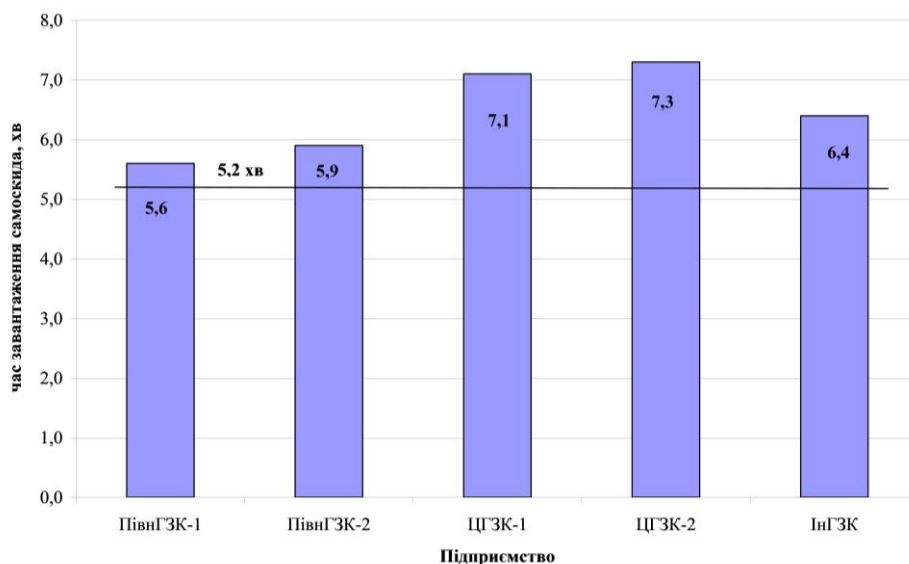


Рис. 4. Затрати часу на завантаження одного середньооблікового самоскида за один рейс, хвилин

Fig. 4. Time spent on loading one average dump truck per one run, minutes

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

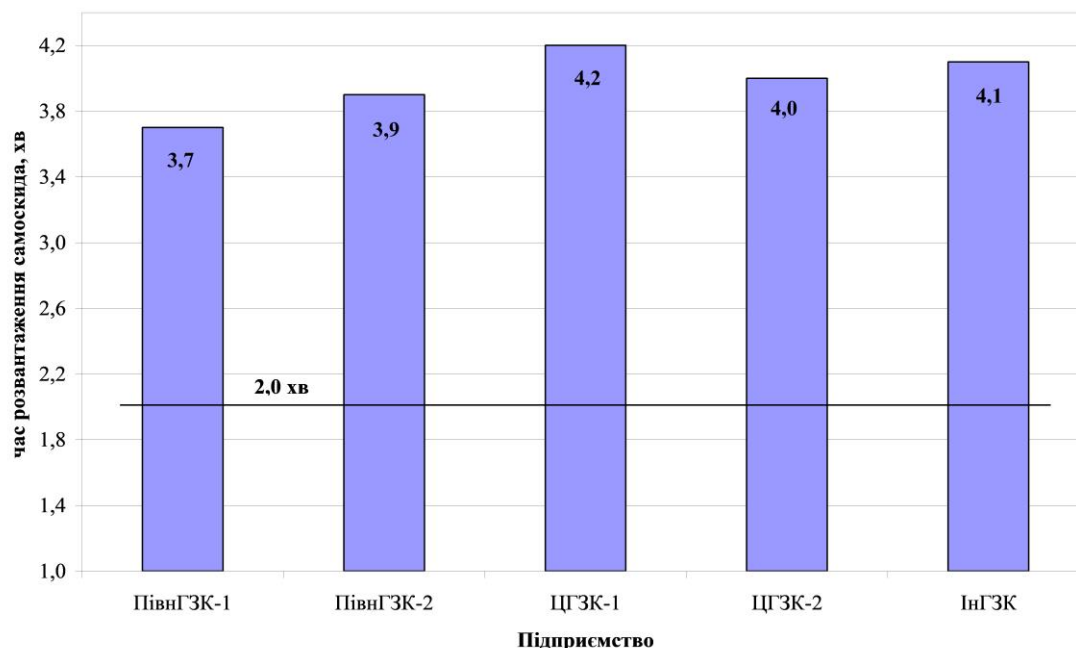


Рис. 5. Затрати часу на розвантаження одного середньооблікового самоскида за один рейс, хвилин

Fig. 5. Time spent on unloading one average dump truck per one run, minutes

Перевищення часу операцій навантаження понад норму склало на ПрАТ «ПівніГЗК» 0,4–0,6 хв. (9,6 %), на ПрАТ «ЦГЗК» – 1,9–2,1 хв. (38,5 %), на ПрАТ «ІнГЗК» – 1,2 хв. (23,1 %). Перевищення часу операцій розвантаження понад норму склало на ПрАТ «ПівніГЗК» 1,7–1,9 хвил. (90,0 %), на ПрАТ «ЦГЗК» – 2,0–2,2 хв. (у два рази), на ПрАТ «ІнГЗК» – 2,1 хв. (теж у два рази). Тобто час операцій розвантаження на всіх кар'єрах майже в два рази перевищує норму.

Дані про використання робочого часу одного середньооблікового самоскида на гірничо-збагачувальних комбінатах за період січень–червень 2021 року представлено в табл. 2. За показниками видно, що основні витрати робочого часу припадають на рух автосамоскида – 92,2 %. 7,8 % робочого часу займають операції навантаження – розвантаження. Причому втрати часу на цих операціях складають 2,6 % робочого часу автосамоскидів (рис. 6).

Вибір типу автотранспорту для технологічних перевезень обумовлений раціональним

співвідношенням об'єму кузова самоскида й місткістю ковша екскаваторів, що працюють у складі єдиного вантажно-транспортного комплексу. Важливим результатом ефективно виконаної операції є завантаження автосамоскида на рівні його номінальної вантажопідйомності – 130–136 т. Чинні норми часу передбачають завантаження автосамоскида за вісім циклів екскавації (ковшів). Для гірських порід категорії міцності V ($\rho = 3,3 \text{ т/м}^3$) коефіцієнт розпушення гірничої маси становить 1,6, коефіцієнт наповнення ковша «пряма лопата» – 0,9, а коефіцієнт екскавації – 0,56 [13]. У цих умовах екскаватор із місткістю ковша 8 м^3 за 8 циклів завантажить 118 т, а з місткістю ковша 10 м^3 – 148 т. Важливим є рівномірне завантаження кар'єрних автосамоскидів без недовантажень і перевантажень, що суттєво підвищує продуктивність робіт, безпеку експлуатації та збільшує термін служби техніки. Для цього використовують бортову систему контролю завантаження автосамоскиду до функцій якої входить: точне вимірювання ваги перевезеного вантажу

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

автосамоскидом (похибка близько 3 %); видача світлових сигналів машиністові екскаватора про досягнення оптимального завантаження на зовнішні світлодіодні панелі, що забезпечують

видимість у будь-яких умовах; відображення параметрів завантаження для водія на інформаційному дисплеї.

Таблиця 2

Аналіз використання робочого часу одного середньооблікового самоскида на гірничо-збагачувальних комбінатах за період січень-червень 2021 року

Table 2

Analysis of the use of working time of one medium-sized dump truck at mining and processing plants for the period January-June 2021

№	Витрати часу	годин	%
1	Корисний час, витрачений на навантаження	29	3,2
2	Корисний час, витрачений на розвантаження	18	2,0
3	Втрати часу під час завантаження	16	1,8
4	Втрати часу під час розвантаження	7	0,8
5	Рух порожнього самоскида	356	39,8
6	Рух навантаженого самоскида	468	52,4
	Усього	894	100,0

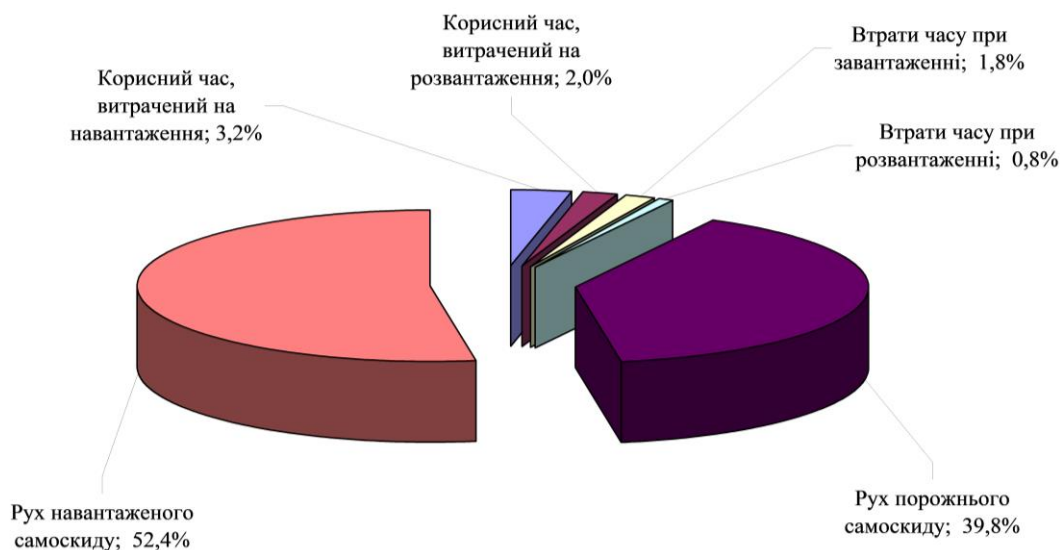


Рис. 6. Витрати робочого часу одного середньооблікового самоскида

Fig. 6. Costs of working time of one average dump truck

Однак нерівномірність заповнення ковша екскаватора призводить до того, що або збільшується час операцій навантаження, або вага завантаженої гірничої маси не відповідає номі-

нальний вантажопідйомності автосамоскида. Дані про рівень середнього завантаження автосамоскидів на кар'єрах за період спостереження наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Середня вантажопідйомність кар'єрного самоскида за гірничо-збагачувальними підприємствами за період спостереження, т

Table 3

Average load capacity of the mining dump truck at the mining and processing enterprises for the period of observation, t

Підприємство	Період спостереження						Стандартне відхилення
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	
«ІнГЗК» ЦТА	129	132	130	128	127	133	2,32
«ПівнГЗК» ГТЦ–1	128	127	130	126	124	128	2,04
«ПівнГЗК» ГТЦ–2	128	127	125	129	130	128	1,72
«ЦГЗК» ГТЦ–1	126	128	125	127	127	129	1,41
«ЦГЗК» ГТЦ–2	124	125	124	126	128	127	1,63

Як бачимо, найбільша нерівномірність завантаження автосамоскидів у кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК» та ГТЦ–1 ПрАТ «ПівнГЗК», де середньоквадратичне відхилення середнього рівня завантаження складає відповідно 2,32 та 2,04. На інших кар'єрах завантаження автосамоскидів більш рівномірне, але значно менше за їх номінальну вантажопідйомність.

Аналіз показує, що вага перевезеного вантажу за одну поїздку на кар'єрах Кривого Рогу коливається в межах від 89 до 168 т. Середній вантаж, який перевозять за один рейс на всіх підприємствах, складає 127,5 т, що значно менше за заявлену вантажопідйомність автосамоскида – 130–136 т.

Завантаження самоскида слід здійснювати відповідно до його номінальної вантажопідйомності, зазначеної в паспорті. Недовантаження (перевезення вантажу менше за 130 т) призводить до збільшення собівартості транспортування гірничої маси. Недопустиме і перевантаження, що призводить до зниження технічного ресурсу автосамоскида. Правила технічної експлуатації (КЕ 75131.0275-17) допускають (як виняток в окремих випадках) перевищення номінальної вантажопідйомності в межах 10 % (до 149 т). Кількість таких випадків не повинна перевищувати 10 % від числа всіх рейсів за розглянутий період. У виняткових випадках при-

пустими разові перевищення номінальної вантажопідйомності в межах від 10 до 20 % (150–163 т). Категорично заборонені навіть одиничні випадки перевищення номінальної вантажопідйомності в 20 % (понад 163 т).

Розподіл рейсів у діапазоні вантажопідйомності за ступенем ефективності її використання представлено в табл. 4.

Найбільш ефективно використовують автосамоскиди на ПРАТ «ІнГЗК», де кількість рейсів з ефективним завантаженням складає 65,0 %. Однак тут допускають і перевантаження автосамоскидів понад установлену норму. Найменш ефективно використовуються автосамоскиди в ГТЦ–1 ПРАТ «ПівнГЗК» – лише 58,0 % виконаних рейсів. Найменший рівень перевантаження автосамоскидів в ГТЦ–2 ПРАТ «ЦГЗК».

Упровадження організаційно-технічних заходів в операції навантаження – розвантаження під час видобутку залізної руди на п'яти кар'єрах ТОВ «МЕТІНВЕСТ ХОЛДИНГ», із метою доведення часу їх виконання до нормативного рівня, дасть можливість за тих же умов перевезти більше вантажу (гірничої маси), а відповідно – знизити собівартість перевезень. Економічний ефект від реалізації таких заходів і буде визначатися розміром економії, розрахованої на основі аналізованих показників.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Обробка результатів спостережень за 6 місяців 2021 року показала, що втрати часу на операціях навантаження – розвантаження на один середньообліковий автосамоскид склали: на ПрАТ «ІнГЗК» – 23 год. на ПрАТ «ПівнГЗК» – 19 год, на ПрАТ «ЦГЗК» 25 год. За даними підприємств, годинна продуктивність кар'єрних самоскидів складає відповідно 256, 230 та 228 т/год. Виходячи з цього, можна визначити втрати об'ємів перевезень одним самоскидом за рік за формулою:

$$Q_{\text{рік}} = \Delta t_{\text{н-р}} \cdot W_m \cdot 2, \text{ т}, \quad (4)$$

де $\Delta t_{\text{н-р}}$ – втрати часу на операціях навантаження – розвантаження на один обліковий самоскид за аналізований період, год; W_m – виробіток кар'єрного самоскида, т/год.

Результати розрахунків наведено в табл. 5.

Річний економічний ефект розраховано за середньою собівартістю перевезення гірничої маси на кар'єрах Кривбасу – 12,2 грн/т.

Таблиця 4

Аналіз використання вантажопідйомності одного середньооблікового самоскида за період січень–червень 2021 року

Table 4

Analysis of the use of carrying capacity of one medium-sized dump truck for the period January-June 2021

Рівень завантаження самоскида, %	Підприємство				
	ПівнГЗК-1	ПівнГЗК-2	ЦГЗК-1	ЦГЗ-2	ІнГЗК
Неефективне завантаження (менше 130 т)	24,0	8,0	25,0	23,0	10,0
Допустиме перевантаження до 10 % (137–139 т)	10,0	13,0	6,0	7,0	11,0
Перевантаження від 10 до 20 % (150-163 т)	6,0	13,0	4,0	8,0	9,0
Недопустиме перевантаження >20 % (> 163 т)	2,0	3,0	3,0	1,0	5,0
Ефективне завантаження самоскида (130–136 т),	58,0	63,0	62,0	61,0	65,0
Усього, %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Таблиця 5

Розрахунок можливих втрат у собівартості перевезень гірничої маси одним середньообліковим самоскидом за рік

Table 5

Calculation of possible losses in the cost of transportation of rock mass by one average dump truck per year

Підприємство	За аналізований період			За рік	
	Втрати часу на навантаження – розвантаження, год	Годинна продуктивність автосамоскида, т/год	Втрати виробництва, т	Втрати виробництва, т	Втрати у собівартості перевезень, тис. грн
ПРАТ «ІнГЗК»	23	256	5 888	11 776	143,7
ПРАТ «ПівнГЗК»	19	230	4 370	8 740	106,6
ПРАТ «ЦГЗК»	25	228	5 700	10 140	123,7

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Наукова новизна та практична значимість

Автори обґрунтували та формалізували методику, яка дозволяє оцінювати ефективність використання кар'єрних самоскидів на підставі оперативного моніторингу умов їх експлуатації, що сприяє підвищенню ефективності роботи гірничорудних підприємств. Обґрунтовано форми функціонального зв'язку та отримано аналітичні залежності між показниками, що характеризують ефективність використання кар'єрних автосамоскидів у процесі технологічних перевезень залізної руди, і часом виконання вантажно-розвантажувальних робіт. Це дозволяє визначити резерви підвищення ефективності їх роботи та економічний ефект під час реалізації розроблених заходів.

Висновки

Таким чином, у роботі встановлено, що внаслідок порушення норм часу на виконання вантажно-розвантажувальних операцій під час технологічних перевезень гірничої маси

в залізничних кар'єрах Кривого Рогу втрати складають від 38 до 50 год на рік у розрахунку на один середньообліковий автосамоскид. Ліквідація таких втрат дозволила б отримати економічний ефект від 106,6 до 143,7 тис. грн на один автосамоскид на рік. Крім того, порушення режиму вантажно-розвантажувальних операцій під час технологічних перевезень, призводить до недовантаження автосамоскидів до номінальної вантажопідйомності, що також супроводжується зниженням ефективності їх використання та втратами об'ємів перевезеної гірничої маси.

Подальші дослідження буде спрямовано на визначення стратегії щодо впровадження ефективних транспортних технологій та вдосконалення операцій навантаження – розвантаження гірничої маси під час технологічних перевезень у залізничних кар'єрах Кривого Рогу з метою доведення часу їх виконання до нормативного рівня та забезпечення завантаження кар'єрного автосамоскида на рівні заявленої вантажопідйомності незалежно від впливу людського фактора (машиніста екскаватора).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук А. А., Шустов О. О. Системний підхід до вибору нових засобів транспорту для роботи на глибоких кар'єрах. *Збірник Наукових Праць НГУ*. 2018. № 54. С. 8–18.
2. Астафьев Ю. П., Полищук Г. К., Горлов Н. И. *Планирование и организация погрузочно-транспортных работ на карьере*. Москва : Недра, 1986. 168 с.
3. Аулін В. В., Голуб Д. В., Біліченко В. В., Замуренко А. С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. Т. 1, № 11. С. 4–10. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2020-11-1-4-10>
4. Дадонов М. В. *Повышение эффективности работы карьерного автомобильного транспорта методами и средствами оперативного управления*. Кемерово, 1999. 189 с.
5. Кириченко Г. І., Стрелко О. Г., Бердниченко Ю. А., Петриковець О. В., Павлюк Є. І. Сучасні тенденції розвитку мультимодальної системи перевезення вантажів. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія : технічні науки*. 2019. Т. 30 (69). Ч. 2, № 3. С. 148–153. DOI : <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/26>
6. Кириченко Г. І., Стрелко О. Г., Бердниченко Ю. А., Петриковець О. В., Кириченко О. А. Моделювання сценаріїв переміщення вантажів у ланцюгах доставки. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2016. № 12. С. 32–37. DOI: <https://doi.org/10.15802/tst2016/85882>
7. Кулешов А. А., Семенов М. А. Эффективность и перспективы применения бортовых систем контроля загрузки и учета работы карьерных автосамосвалов. *Горные машины и автоматика*. 2000. № 3. С. 35–38.
8. Ларин О. Н., Вуейкова О. Н. Факторный анализ производительности карьерного автотранспорта Сарбайского карьера АО «ССГПО». *Транспорт : наука, техника, управление*. 2011. № 1. С. 29–32.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

9. Максимов С. В., Монастирська О. Ю. Застосування динамічного підходу до використання критерію економічної ефективності автотранспортної системи кар'єру. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2012. № 6 (177). С. 26–30.
10. Монастырский Ю. А. Определение причин потерь рабочего времени экскаваторно-автомобильных комплексов на Петровском карьере ОАО «ЦГОК». *Университетские новинки*. 2011. № 94. С. 293–297.
11. Монастырский Ю. А., Веснин А. В., Таран И. А. Статистический анализ показателей работы карьерных автосамосвалов, как ресурс повышения эффективности их эксплуатации. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2010. № 11–12. С. 66–70.
12. *Положення про технічне обслуговування, діагностування і ремонт кар'єрних автосамоскидів «БЕЛАЗ»*. Жодіно : ВАТ «БЕЛАЗ», 2013. 31 с.
13. Полтавець М. А., Омельченко О. Д. Наукові основи комплексної механізації та автоматизації навантажувально-розвантажувальних транспортно-складських робіт при взаємодії з рухомим складом та макророботичні системи поточних ліній і комплексів. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2016. № 3 (31). С. 308–314.
14. *Технические и эксплуатационные характеристики выпускаемой продукции* : справочник. Минск : «Бенлан», 2014. 496 с.
15. Adamchuk A., Shustov O., Panchenko V., Slyvenko M. Substantiation of the method of determination the open-cast mine final contours taking into account the transport parameters. *Collection of Research Papers of the National Mining University*. 2019. Vol. 59. P. 21–32. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/59.021>
16. Malisa M. T., Genc B. Mine planning and optimisation techniques applied in an iron ore mine. *Springer Series in Geomechanics and Geoengineering*. 2020. P. 103–110. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33954-8_11
17. Moldabayev S. K., Adamchuk A. A., Toktarov A. A., Aben Y., Shustov O. Approbation of the technology of efficient application of excavator-automobile complexes in the deep open mines. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. № 4. P. 30–38. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/030>
18. Moldabayev S. K., Aben Y., Kasymbayev E. A., Sarybayev N. O. Complete cyclical-and-continuous technology equipment for intermodal vehicle–conveyor–rail transport. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019. Vol. 7. P. 158–173. DOI: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-07-0-158-173>
19. Shustov O., Dryzhenko A. Organization of dumping stations with combined transport types in iron ore deposits mining. *Mining of Mineral Deposits*. 2016. Vol. 10. Iss. 2. P. 78–84. DOI: <https://doi.org/10.15407/mining10.02.078>
20. Vuyeykova O., Sladkowski A., Stolpovskikh I., Akhmetova M. Rationalization of road transport park for the carriage of mining rocks in the open mines. *Transport Problems*. 2016. Vol. 11. Iss. 1. P. 79–85. DOI: <https://doi.org/10.20858/tp.2016.11.1.8>

K. M. RAZUMOVA¹, O. A. TEMCHENKO², S. V. MAKSYMОВ³, O. S. MAKSYMOMA⁴

¹Dep. «Organization of Aviation Works and Services», National Aviation University, Lubomyra Husara Ave., 1, Kyiv, Ukraine, 03058, tel. +38 (044) 406 60 45, e-mail kateryna.razumova@npp.nau.edu.ua, ORCID 0000-0001-6385-2823

²Dep. «Economics and Entrepreneurship», State University of Economics and Technology, Medychna St., 16, Kryvyi Rih, Ukraine, 50005, tel.+38 (097) 214 88 69, e-mail temchenko_oa50@ukr.net, ORCID 0000-0003-0020-2430

³Dep. «Road Transport», Kryvyi Rih National University, V. Matusevycha St., 11, Kryvyi Rih, Ukraine, 50027, tel. +38 (098) 559 51 26, e-mail max_ser_vlad@ukr.net, ORCID 0000-0002-9932-1511

⁴Dep. «Road Transport», Kryvyi Rih National University, V. Matusevycha St., 11, Kryvyi Rih, Ukraine, 50027, tel. +38 (097) 738 71 23, e-mail maxlenser@ukr.net, ORCID 0000-0001-7253-0105

Research of Duration Influence of Loading and Unloading Operations on the Use Efficiency of Technological Motor Transport on Open Pit Iron Mines

Purpose. The most common type of technological transport in open pit mines is automobile, which uses dump trucks with a capacity of 45 to 220 tons. The rock mass transportation volume with the use of motor transport at the iron ore industry is more than 350 million tons per year, or 27% of the total volume of open pit mines in the indus-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

try. Most of Ukraine's high-capacity iron mines are forced to work in the conditions of intensification of mining operations, constant deepening and complication of mining and geological conditions. With increasing the depth of mines there is an increase of 1.3-1.7 times the transportation volume relative to the volume of the shipped rock mass and, as a consequence, a decrease in the efficiency of technological vehicles. The purpose of this work is to analyze the influence of using BELAZ open-pit dump trucks during loading and unloading operations on the efficiency. This will allow to develop the management measures to implement effective transport technologies aimed at reducing the cost of open pit iron ore mining and purposefully influence these production processes. **Methodology.** In order to solve the set tasks, the methods of technical-economic, correlation-regression, factor and situational analysis were used (to study the operation of open-pit dump trucks at mining enterprises). In order to formalize the methods of improving the efficiency of equipment and transport technologies, the methodology of operational accounting of mining conditions of open-pit dump trucks operation at mining enterprises was used. To assess the economic efficiency of the proposed management system of mining activities of open-pit dump trucks, a method of comparative economic analysis was proposed. **Findings.** The results of the research are practically implemented in the real conditions of operation of open-pit dump trucks and the economic effect of the implementation of the proposed measures is determined. **Originality.** The obtained results are practically implemented in the real conditions of operation of open-pit dump trucks and the economic effect of the implementation of the proposed measures is determined. **Practical value.** The forms of functional connection are substantiated and analytical dependences between the indicators characterizing the use efficiency of open-pit dump trucks during the technological transportations of iron ore and the time needed for loading and unloading operations are received. This dependency allows determining the reserves for improving the operation efficiency of open-pit dump trucks and the economic effect from the implementation of the measures proposed.

Keywords: open-pit dump trucks; loading and unloading operations; downtime; productivity; operating conditions; factor analysis; economic efficiency

REFERENCES

1. Adamchuk, A. A., & Shustov, O. O. (2018). System approach to selection of a new transport means for working in deep mines. *Collection of research papers of the National Mining University*, 54, 8-18. (in Ukrainian)
2. Astafev, U. P., Polishuk, G. K., & Gorlov, N. I. (1986). *Planirovanie i organizatsiya pogruzochno-transportnykh rabot na karerakh*. Moscow: Nedra. (in Russian)
3. Aulin, V. V., Golub, D. V., Bilichenko, V. V., & Zamurenko, A. S. (2020). Formation of indicators for assessing the efficiency of the transport process. *Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*, 1(11), 5-10. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2020-11-1-4-10> (in Ukrainian)
4. Dadonov, M. V. (1999). *Povyshenie effektivnosti raboty karernogo avtomobilnogo transporta metodami i sredstvami operativnogo upravleniya*. Kemerovo. (in Russian)
5. Kyrychenko, H. I., Strelko, O. H., Berdnichenko, Yu. A., Petrykovets, O. V., & Pavliuk, Ye. I. (2019). Modern trends for the development of a multimodal cargo transport system. *Scientific notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, 30(69), 148-153. DOI : <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/26> (in Ukrainian)
6. Kyrychenko, H. I., Strelko, O. H., Berdnichenko, Yu. A., Petrykovets, O. V., & Kyrychenko, O. A. (2016). Scenarios modeling of cargo movement in the supply chains. *Transport systems and transportation technologies*, 12, 32-37. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2016/85882> (in Ukrainian)
7. Kuleshov, A. A., & Semenov, M. A. (2000). Effektivnost i perspektivy primeneniya bortovykh sistem kontrolya za-gruzki i ucheta raboty karernykh avtosamosvalov. *Gornye mashiny i avtomatika*, 3, 35-38. (in Russian)
8. Larin, O. N., & Vuykova, O. N. (2011). Factor analysis of the performance Vehicles of Sarbaysky quarry JSC «SSGPO». *Transport: Science, Technique, Management*, 1, 29-32. (in Russian)
9. Maksymov, S. V., & Monastyrskaya, O. U. (2012). Zastosuvannia dynamichnoho pidkhodu do vykorystannia kryteriiu ekonomichnoi efektyvnosti avtotransportnoi systemy kariery. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 6(177), 26-30. (in Ukrainian)
10. Monastyrskiy, Yu. A. (2011). Opredelenie prichin poter rabochego vremeni ekskavatorno-avtomobilnykh kompleksov na Petrovskom karere OAO «TsGOK». *Universitetskie novinki*, 94, 293-297. (in Russian)

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

11. Monastyrskiy, Yu. A., Vesnin, A. V., & Taran, I. A. (2010). Statistical analysis of quarry dump trucks performance parameters as a resource of their exploitation effectiveness improving. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 11-12, 66-70. (in Russian)
12. Polozhennia pro tekhnichne obsluhovuvannia, diahnostuvannia i remont kariernykh avtosamoskydiv «BELAZ». (2013). Zhodino: VAT «BELAZ». (in Ukrainian)
13. Poltavets, M. A., & Omelchenko, O. D. (2016). Scientific bases of complex mechanization and automation of loading and unloading transport and storage works at interaction with a rolling stock and macrologistic systems of current lines and complexes. *Science-Based Technologies*, 3(31), 308-314. (in Ukrainian)
14. Tekhnicheskie i ekspluatatsionnye kharakteristiki vypuskaemoy produktsii: spravochnik. (2014). Minsk: «Benlstan». (in Russian)
15. Adamchuk, A., Shustov, O., Panchenko, V., & Slyvenko, M. (2019). Substantiation of the method of determination the open-cast mine final contours taking into account the transport parameters. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 59, 21-32. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/59.021> (in English)
16. Malisa, M. T., & Genc, B. (2020). Mine planning and optimisation techniques applied in an iron ore mine. *Springer Series in Geomechanics and Geoengineering*, 103-110. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33954-8_11 (in English)
17. Moldabayev, S. K., Adamchuk, A. A., Toktarov, A. A., Aben, Y., & Shustov, O. (2020). Approbation of the technology of efficient application of excavator-automobile complexes in the deep open mines. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 30-38. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/030> (in English)
18. Moldabayev, S. K., Aben, Y., Kasymbayev, E. A., & Sarybayev, N. O. (2019). Complete cyclical-and-continuous technology equipment for intermodal vehicle–conveyor–rail transport. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 7, 158-173. DOI: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-07-0-158-173> (in English)
19. Shustov, O., & Dryzhenko, A. (2016). Organization of dumping stations with combined transport types in iron ore deposits mining. *Mining of Mineral Deposits*, 10(2), 78-84. DOI: <https://doi.org/10.15407/mining10.02.078> (in English)
20. Vuyeykova, O., Sladkowski, A., Stolpovskikh, I., & Akhmetova, M. (2016). Rationalization of road transport park for the carriage of mining rocks in the open mines. *Transport Problems*, 11(1), 79-85. DOI: <https://doi.org/10.20858/tp.2016.11.1.8> (in English)

Надійшла до редколегії: 10.08.2021

Прийнята до друку: 10.12.2021

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

УДК 621.311:621.355

С. В. ПЛАКСІН^{1*}, А. М. МУХА^{2*}, Д. В. УСТИМЕНКО^{3*}, М. Я. ЖИТНИК^{4*},
Р. Ю. ЛЕВЧЕНКО^{5*}, Є. М. ЧУПРИНА^{6*}, О. О. ГОЛОТА^{7*}

^{1*}Відділ систем керування транспортними засобами, Інститут транспортних систем та технологій Національної академії наук України, вул. Писаржевського, 5, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (056) 370 21 82, ел. пошта svp@westa-inter.com, ORCID 0000-0001-8302-0186

^{2*}Каф. «Електротехніка та електромеханіка», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, ел. пошта mukha.andrii@gmail.com, ORCID 0000-0002-5629-4058

^{3*}Каф. «Електротехніка та електромеханіка», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, ел. пошта ustimenko.1979@gmail.com, ORCID 0000-0003-2984-4381

^{4*}Відділ систем керування транспортними засобами, Інститут транспортних систем та технологій Національної академії наук України, вул. Писаржевського, 5, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (0562) 32 30 54, ел. пошта zhitnik@westa-inter.com, ORCID 0000-0002-1761-678X

^{5*}Відділ систем керування транспортними засобами, Інститут транспортних систем та технологій Національної академії наук України, вул. Писаржевського, 5, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (0562) 32 30 54, ел. пошта levchenko.ruslana@westa-inter.com, ORCID 0000-0003-2327-009X

^{6*}Відділ систем керування транспортними засобами, Інститут транспортних систем та технологій Національної академії наук України, вул. Писаржевського, 5, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (0562) 32 30 54, ел. пошта nesty.lords@gmail.com, ORCID 0000-0002-0986-1283

^{7*}Відділ систем керування транспортними засобами, Інститут транспортних систем та технологій Національної академії наук України, вул. Писаржевського, 5, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (096) 356 23 94, ел. пошта sashagolota3012@gmail.com, ORCID 0000-0002-0282-2767

Метод оперативного контролю та управління електрохімічним накопичувачем енергії у складі систем електрозабезпечення транспортних засобів

Мета. Основною метою нашої статті є розробка методу раціонального управління динамічними режимами роботи електрохімічних накопичувачів енергії для підвищення ефективності їх експлуатації у складі систем енергозабезпечення транспортних засобів. **Методика.** Автори провели огляд світової літератури з теми роботи. Систематизували та класифікували наявні методи управління електрохімічними накопичувачами енергії. Відзначили особливості та можливості їх застосування з урахуванням специфіки експлуатації на транспортних засобах, для яких характерні динамічні режими з непередбачуваними змінами енергетичного балансу, обумовленими неконтрольованими недозарядами та перезарядами. Проведений аналіз наявних методів управління показав, що їх загальним недоліком є використання як інформаційних параметрів для контролю та управління режимами роботи таких параметрів накопичувача, як напруга та робочий струм, значення яких не відповідають поточному енергетичному стану накопичувача у зв'язку зі швидкоплинністю перехідних електрохімічних процесів під час роботи в динамічних режимах. Зроблено висновок про необхідність урахування енергетичних параметрів накопичувачів у процесі управління динамічними режимами, які найбільш повно та об'єктивно відображають його працездатність. Показано перевагу імпульсних методів управління накопичувачами в динамічних режимах роботи перед постійнострумовими методами.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

Результати. Автори обґрунтували та експериментально підтвердили багатофункціональність розробленого гальваностатичного методу, що дозволяє одночасно проводити контроль поточного енергетичного стану накопичувача та оперативне управління динамічними режимами його роботи із застосуванням спільного критерію контролю та управління – коефіцієнта використання активних матеріалів, інформаційним еквівалентом якого є величина площі під кривою деполяризації на сигналі відгуку накопичувача на тестовий імпульс. **Наукова новизна.** Уперше запропоновано поєднати функції контролю поточного енергетичного стану накопичувача та оперативного управління динамічними режимами його роботи із застосуванням коефіцієнта використання активних матеріалів. **Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані для забезпечення оптимального режиму експлуатації накопичувачів енергії у складі систем електропостачання транспортних засобів.

Ключові слова: електрохімічний накопичувач енергії; методи управління режимами роботи; імпульсний гальваностатичний метод; сигнал відгуку; коефіцієнт використання активних матеріалів; поєднання функцій контролю та управління; транспортний засіб

Вступ

У сучасних умовах важливою проблемою на транспорті є підвищення ефективності його використання за рахунок зниження витрат енергоресурсів. Перспективними напрямками підвищення енергетичної ефективності транспортних комплексів є розробка та впровадження нових технологій, зокрема інформаційно-комунікаційних технологій у галузі управління рухомим складом залізничного транспорту [13], зменшення витрат енергоресурсів за рахунок визначення енергоощадних режимів керування локомотивом [6], а також розробка та впровадження нових видів джерел енергії [4]. Одним із напрямів підвищення енергоефективності транспортних засобів, що розвивається в нашій країні та за кордоном, є використання накопичувачів енергії, які здатні надавати неавтономним транспортним засобам нові властивості, такі, наприклад, як автономний пробіг. У ряді випадків накопичувач енергії виконує функції основної електросилової установки, що забезпечує електропривод транспортного засобу. Огляд наукової літератури свідчить, що значні перспективи застосування накопичувачів енергії має тяговий залізничний транспорт із різко змінним навантаженням, до якого належать кар'єрні рудничні електровози, приміські електропоїзди, поїзди метрополітену, високошвидкісний магнітолевітуючий, а також електромобільний транспорт. Досвід експлуатації електрохімічних накопичувачів енергії на транспортних засобах показав, що для підвищення експлуатаційних характеристик та ефективності використання накопичувачів енергії в динамічних режимах роботи необхідно керувати

розрядними процесами накопичувачів з урахуванням їх поточного енергетичного стану та особливостей умов експлуатації [1, 3].

Наявні методи управління електрохімічними накопичувачами в режимі заряджання досить повно відображені в численних роботах, наприклад, [9–12, 15]. За результатами аналізу джерел інформації виконано систематизацію та класифікацію методів управління зарядними процесами електрохімічних накопичувачів енергії, яка наведена на рис. 1, та відзначені особливості їх застосування.

За зазначеними на рис. 1 особливостями застосування наявних методів управління зарядними процесами електрохімічних накопичувачів енергії можна зробити висновки, що ряд методів перебувають на стадії досліджень і розробки або використовуються в лабораторних умовах і з різних причин не отримали практичного застосування. Поряд із цим зазначено, що в наш час практичне застосування знаходять переважно методи управління постійним струмом і постійною напругою та їх комбінації, або постійнострумові та імпульсні методи управління. У постійнострумових методах контролюваними та керованими режимами є зарядний струм і зарядна напруга, а критерієм закінчення зарядного процесу є мінімальне значення зарядного струму, постійне значення напруги накопичувача та постійне значення щільності електроліту в наливних акумуляторах.

Можливості застосування методів управління процесом зарядки накопичувачів у системах електропостачання транспортних засобів необхідно розглядати з урахуванням специфіки їх функціонування в цих системах. Раціональним способом ефективної експлуатації електрохімі-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

чного накопичувача енергії в системі електропостачання є його робота в номінальних режимах. Проте їх дотримання не завжди дозволяє повною мірою реалізовувати робочі режими системи електропостачання в цілому. Наприклад, під час експлуатації накопичувача енергії з невідомим рівнем заряду на транспортному засобі існує небезпека зниження запасу енергії в системі електропостачання транспортного засобу нижче мінімально допустимого значення в момент, коли потрібна передача додаткової енергії тяговому приводу у форсованому режимі його роботи. Така ситуація означає, що транспортний засіб не здатний реалізувати задані динамічні характеристики. Це протиріччя може бути вирішено шляхом виконання раціональних умов експлуатації накопичувача, за яких буде відбуватися збереження його енергії в допустимих межах, чого можна досягти використанням відповідного методу контролю поточного енергетичного стану накопичувача й адекватному цьому стану методу оперативного управління режимами його роботи. Існують різні режими експлуатації хімічних джерел струму, що входять до складу накопичувачів, залежно від їх призначення. Основні з них представлені на рис. 2 [7].

Найбільш інтенсивний режим експлуатації, що полягає в чергуванні циклів «заряд–розряд», характерний для тягових акумуляторних батарей (ТАБ). Під час експлуатації накопичувача в системі електропостачання транспортного засобу переважають інтенсивні цикли, коли протягом денної експлуатації ТАБ піддається декільком повним циклам «заряд–розряд» (рис. 2, з). У зв'язку з тим, що чергування періодичності циклів є випадковим процесом, тобто робота транспортного засобу не регламентована та непередбачувана, накопичувач може перебувати в робочому стані невідомий час без поповнення витраченої енергії. У результаті систематичних недозарядів виникає непоправна втрата ємності, викликана утворенням щільної сульфатної плівки на поверхні активних мас електродів, перетворення якої в активну масу ускладнює процес подаль-

шої зарядки накопичувача, оскільки потребує для цього великої витрати як струму, так і часу. Окрім проблеми недозаряду, постає проблема перезаряду, коли, за досягнення стану повної зарядженості зарядку накопичувача слід припинити, однак у реальних умовах експлуатації накопичувача в динамічних режимах унаслідок відсутності об'єктивних критеріїв зарядженості зарядка триває. Систематичні перезаряди сприяють розпушенню та зсуву активної маси з пластин, що призводить до непоправної втрати ємності накопичувача. Звідси випливає, що під час експлуатації накопичувача в динамічних режимах він завжди перебуває в режимі або недозаряду, або перезаряду, відповідно, порушується його енергетичний баланс. Отже, для ефективної роботи накопичувача в динамічних режимах та продовження терміну служби необхідно підтримувати його енергетичний баланс. До того ж у реальному хімічному джерелі струму, окрім струмоутворювальних реакцій, завжди мають місце деякі побічні небажані процеси (зазвичай незворотні) електрохімічної та хімічної природи, які потребують певної кількості енергії. У результаті під час кожного циклу розрядна ємність виявляється меншою, ніж кількість енергії, поповненої на попередній стадії зарядки, і в міру циклування фактична ємність накопичувача знижується від циклу до циклу. Отже, за будь-якого варіанта експлуатації накопичувача необхідно раціонально використовувати його енергію шляхом контролю поточного енергетичного стану та оперативного управління режимами роботи відповідно до залишкової ємності. Крім того, динамічні режими роботи з короткочасними періодами «розряд–заряд» характеризуються швидкоплинними перехідними процесами в електрохімічній системі накопичувача, тому використання в таких режимах для контролю поточного стану накопичувача величини напруги та струму є недоцільним через непостійність їх значень. Із цієї ж причини їх неможливо використовувати як критерій закінчення зарядного процесу, що може призвести до перезаряду накопичувача або спричинити систематичний недозаряд.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

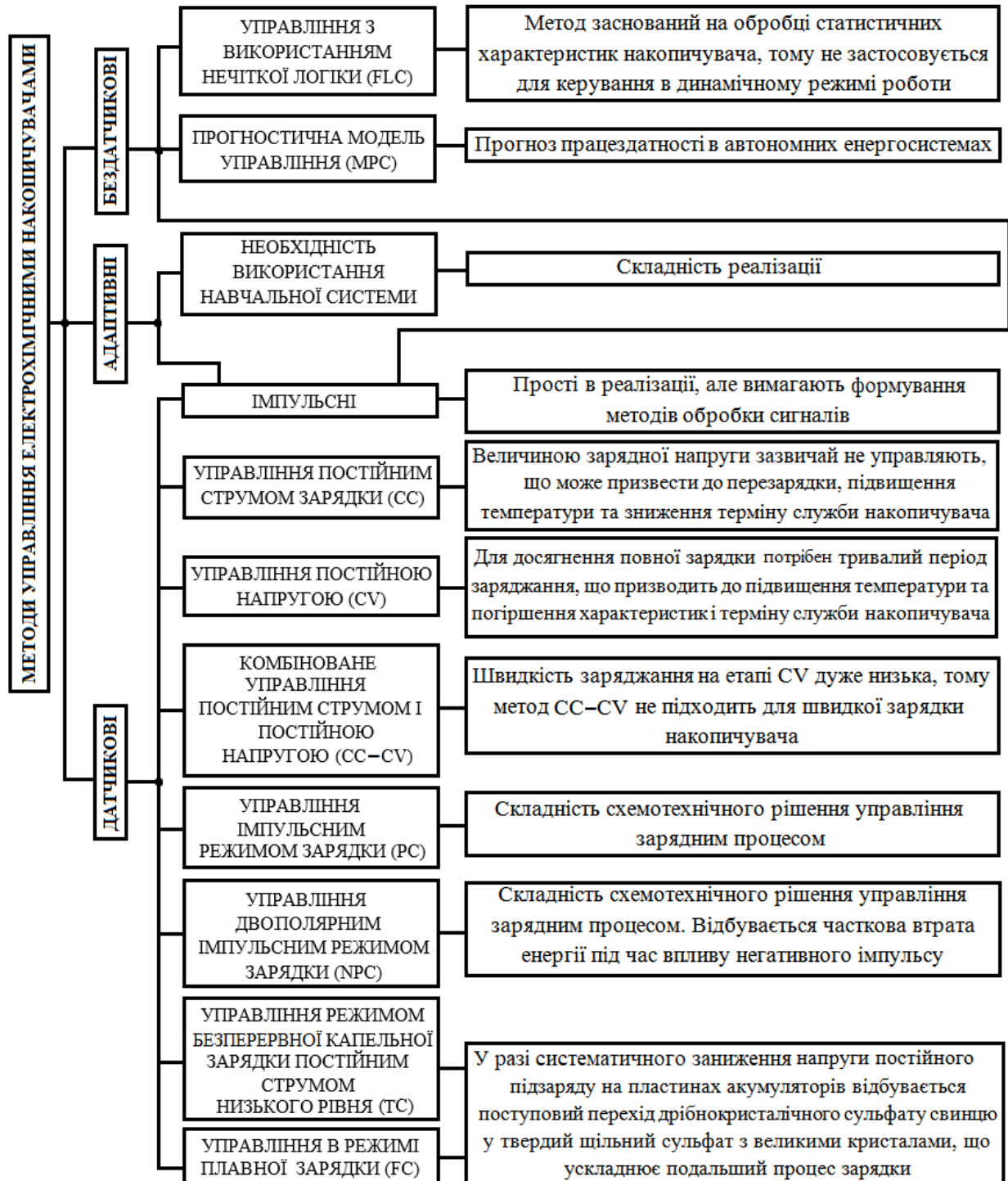


Рис. 1. Методи керування режимом зарядки електрохімічних накопичувачів енергії

Fig. 1. Charging mode control methods of electrochemical energy storage devices

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

Порівняно новим додатком зарядних технологій, який швидко розвивається, є парк електромобілів, у яких динамічний режим роботи накопичувачів як основного джерела електроенергії найбільш виражений. Зазвичай ключовим завданням виробників електромобілів є збільшення дальності пробігу, що висуває нові вимоги як до накопичувачів, так і до методів управління режимами їх роботи. Одним зі шляхів вирішення цієї задачі на цьому етапі є розробка та впровадження технологій швидкої зарядки накопичувачів постійним струмом із використанням потужних силових зарядних пристроїв, обладнаних системою захисту для запобігання виходу їх із ладу в разі перевищення допустимих значень зарядних струмів і напруги. У той же час безпека накопичувача в режимі прискореної зарядки досягається лише надійною ізоляцією по ланцюгах живлення. При цьому основним критерієм закінчення зарядного процесу є розрахований для конкретного типу накопичувача час зарядки, тривалість якого залежить від режиму експлуатації електромобіля і може перебувати в межах від 24 годин до 15 хвилин. Слід зазначити, що вибір як критерію закінчення зарядки розрахункового часу проведення зарядного процесу не дозволяє об'єктивно оцінити поточний енергетичний стан накопичувача та не враховує залишкову ємність. Такий практично неконтрольований процес заряджання може негативно позначитися на терміні експлуатації накопичувача і призвести до передчасного виходу його з ладу.

За результатами аналізу наявних методів управління процесом зарядки накопичувачів та з урахуванням зазначеної специфіки їх функціонування в системах електропостачання транспортних засобів можна зробити висновок, що вдосконалення наявних та розробка нових методів оперативного управління динамічними режимами роботи накопичувача з метою раціонального використання його енергоресурсу є актуальною задачею.

Мета

Основною метою нашої статті є розробка методу раціонального управління режимами роботи електрохімічних накопичувачів енергії

для підвищення ефективності їх експлуатації у складі систем енергозабезпечення транспортних засобів.

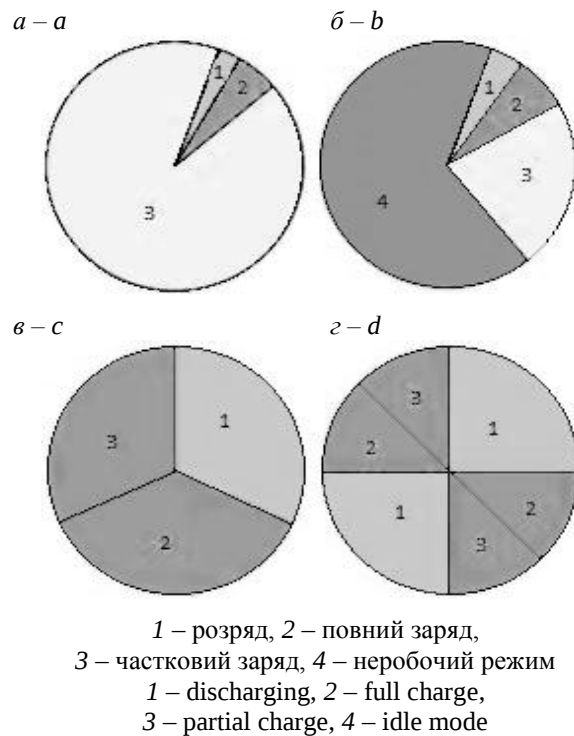


Рис. 2. Режими експлуатації акумуляторних батарей:
a – стаціонарні АБ; *b* – стартерні АБ;
в – тягові АБ (нормальний режим);
г – тягові АБ (інтенсивний режим)

Fig. 2. Modes of operation of rechargeable batteries:
a – stationary batteries; *b* – starter batteries;
c – traction batteries (normal mode);
d – traction batteries (intensive mode)

Досягнення поставленої мети передбачає розв'язання таких задач:

- визначити особливості функціонування накопичувачів у складі систем енергозабезпечення транспортних засобів;
- визначити набір інформаційних параметрів, які характеризують поточний енергетичний стан накопичувачів у динамічних режимах їх роботи;
- розробити методику визначення інформаційного параметра із сигналу відгуку накопичувача на тестовий імпульс, який характеризує поточний енергетичний стан накопичувача та може бути використаний для поєднання функцій контролю поточного стану та оперативного керування режимами роботи накопичувача.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

Методика

Однією з основних вимог ефективності експлуатації електрохімічних накопичувачів енергії є розробка методу оперативного управління режимами роботи накопичувача, який передбачає вибір параметрів контролю й управління та діапазон їх відхилення від заданих значень, у межах якого можна забезпечити збалансований енергетичний режим функціонування накопичувача. Як зазначалося вище, у постійнострумових методах контрольованими та керованими параметрами зарядного процесу є зарядний струм і зарядна напруга, значення яких не завжди відповідають поточному енергетичному стану накопичувача. Як видно із рис. 1, найбільш універсальними методами управління процесом зарядки накопичувачів енергії є імпульсні методи різної модифікації, які можуть бути реалізовані у вигляді датчикових, бездатчикових та адаптивних засрбів. В імпульсних методах як керовані використовують параметри зарядних імпульсів – частоту, тривалість, амплітуду й паузу між імпульсами, що дозволяє здійснювати багатопараметричне управління процесом зарядки. При цьому критерієм закінчення зарядного процесу в імпульсних методах, як і в постійнострумових, є мінімальне значення зарядного струму, усталене значення напруги накопичувача й постійне значення щільності електроліту в наливних акумуляторах, які із зазначених вище причин не можуть бути об'єктивними критеріями в динамічних режимах роботи накопичувача. Водночас відомо, що основним параметром накопичувача енергії, величина якого визначає його енергетичний стан та працездатність, є ємність. Із цього погляду перспективною є розробка методу оперативного управління динамічними режимами роботи накопичувача, заснованого на використанні енергетичного параметра як основного критерію працездатності. Очевидно, що контролювати та змінювати значення фактичної ємності накопичувача в процесі його роботи традиційними методами та приладовими засобами є важкоздійсненним завданням, тому для його вирішення необхідні нові підходи та методи. Одним із варіантів критерію, за допомогою якого можна охарактеризувати поточний енергетичний стан накопичувача, є коефіцієнт ви-

користання активних матеріалів хімічного джерела струму, який, відповідно до закону Фарадея, виражається відомим в електрохімії рівнянням [2]:

$$\theta = (C_p / C_0) \cdot 100 \% = \frac{C_p}{k \cdot m} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де C_p – ємність хімічного джерела струму під час розряду; C_0 – теоретична ємність, розрахована за електрохімічними еквівалентами; k – електрохімічний еквівалент розрядних процесів; m – активна маса, що бере участь у струмоутворювальному процесі.

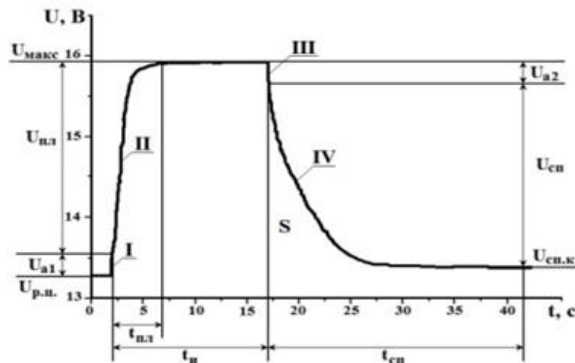
Із виразу (1) випливає, що фактична ємність накопичувача пропорційна величині активної маси електродів, що бере участь у струмоутворювальному процесі в поточний момент часу. У свою чергу величина активної маси пропорційна площі її поверхні, що бере участь в електрохімічному процесі в поточний момент часу. Таким чином, задача визначення поточного енергетичного стану накопичувача полягає у визначенні величини площі поверхні активної маси, що реагує, і тісно пов'язана з особливостями протікання електрохімічного процесу в об'ємі порового простору активних мас електродів у поточний момент часу. Достатньо інформативним методом контролю протікання електрохімічного процесу в хімічних джерелах струму є імпульсний гальваностатичний метод, який широко використовують в електрохімії [8]. Суть методу полягає в подачі на електрохімічну систему зарядного імпульсу струму заданої величини з подальшою реєстрацією сигналу відгуку, який відображає стадії процесу у формі функціональної залежності напруги системи від часу. Можливість застосування імпульсного гальваностатичного методу для управління процесом заряджання електрохімічного накопичувача енергії обґрунтована та експериментально підтверджена авторами роботи [5]. Типова форма сигналу відгуку накопичувача на зарядний імпульс наведена на рис. 3, а, вона відображає закономірну послідовність протікання стадій електрохімічного процесу в об'ємі порового простору активних мас електродів і містить необхідну інформацію про поточні значення параметрів процесу, у тому числі про величину площі S фігури під кривою деполяри-

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

зації після зняття зарядного імпульсу. Послідовність операцій із визначення значень параметрів накопичувача зі значень параметрів сигналу відгуку відображена в загальному вигляді на рис. 4.

На основі попередніх результатів досліджень з вивчення зв'язку параметрів сигналу відгуку, що відображають параметри процесу, із параметрами хімічного джерела струму зроблено висновок, що величина площі S пропорційна величині запасеної в накопичувачі енергії і може бути використана як інформаційний параметр, еквівалентний енергетичному параметру накопичувача.

a – a



b – b

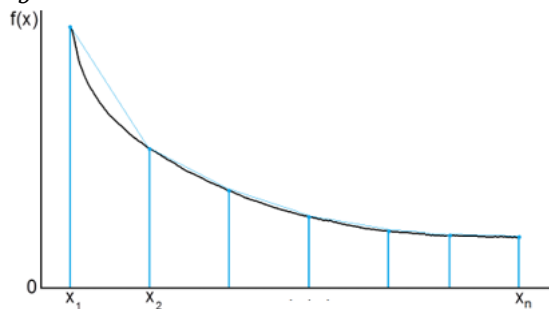


Рис. 3. Сигнал відгуку електрохімічного накопичувача енергії на тестовий імпульс струму:

a – форма сигналу відгуку;

b – приклад поділу кривої деполяризації на відрізки для визначення площі S

Fig. 3. The response signal of the electrochemical energy storage device to the test current pulse:

a – the shape of the response signal;

b – an example of dividing the depolarization curve into segments to determine the area S

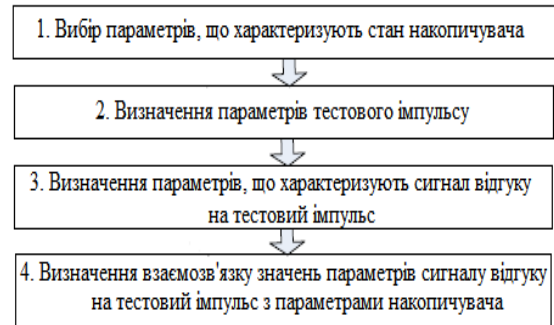


Рис. 4. Послідовність виконання операцій щодо визначення значень параметрів накопичувача за параметрами сигналу відгуку

Fig. 4. Operation sequence to determine the values of the storage device parameters by the response signal parameters

Із метою обґрунтування пропорційної залежності величини запасеної в накопичувачі енергії від значення величини площі S під кривою деполяризації коротко розглянемо стадії протікання електрохімічного процесу, за умови впливу на накопичувач зарядного імпульсу струму, та їх відображення на сигналі відгуку на рис. 3, *a*. У момент подачі на накопичувач зарядного імпульсу відбувається зарядка подвійного електричного шару на межі розділення активних мас та електроліту в об'ємі порового простору електродів та падіння напруги на їхньому активному опорі, що відповідає ділянці *I* на сигналі відгуку. Далі протікає стадія поляризації, що відповідає ділянці *II* на сигналі відгуку, до виходу на плато в разі досягнення величини напруги насичення. У момент зняття імпульсу відбувається падіння напруги на активному опорі (ділянка *III* на сигналі відгуку) з переходом у стадію деполяризації – ділянка *IV* сигналу відгуку. Як впливає з рис. 3, *a*, ділянки *II* і *IV* сигналу відгуку, що відображають відповідно стадії поляризації та деполяризації в разі подачі на накопичувач імпульсу струму і його зняття, мають експоненційну залежність від часу $U(t)$, викликану нерівномірним розподілом концентрації електроліту та зарядів в об'ємі порового простору активних мас. При цьому процес розподілу описують відомим в електрохімії рівнянням макрокінетики в порових середовищах:

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = \rho \cdot S \cdot C_{ef} \cdot \frac{\partial U}{\partial t}, \quad (2)$$

де U – поточна напруга поляризації (деполяризації); ρ – ефективний питомий опір електроліту в порах; S – питома поверхня одиниці об'єму активної маси порового простору, що реагує; C_{ef} – ефективна ємність активної маси, що реагує на одиницю об'єму.

У нашому випадку інтерес представляє аналіз процесу деполяризації, параметри якого безпосередньо визначають значення величини площі S . Автори роботи [14] описують протікання цього процесу за імпульсного впливу на свинцево-кислотну комірку таким чином. Коли зарядний струм переривається під час зняття імпульсу, тобто за нульового значення зовнішнього струму, подвійний електричний шар залишається зарядженим і відбувається розряд подвійного електричного шару на електрохімічну реакцію, який супроводжується протіканням локального струму обміну i_0 в порах електродів. Інерційний процес розряду подвійного шару відповідає стадії деполяризації та супроводжується перерозподілом зарядів в об'ємі порового простору активних мас до моменту досягнення рівноважного стану системи. Швидкість перерозподілу зарядів в об'ємі порового простору активних мас визначають постійною часу системи, величину якої можна оцінити, коли прирівняти зарядний струм подвійного електричного шару до струму фарадєвської реакції. За допомогою лінійної кінетики, цю залежність можна звести до вигляду:

$$\tau_{Rct} = \frac{RTC}{Fi_0}, \quad (3)$$

де R – універсальна газова постійна; T – температура, К; C – питома ємність подвійного електричного шару; F – постійна Фарадея; i_0 – струм обміну (для кінетики реакції діоксиду свинцю $i_0 \sim 10^{-7}$ А/см² [14]).

Із рівняння (3) випливає, що постійна часу процесу змінюється прямо пропорційно величині питомої ємності подвійного електричного шару C та обернено пропорційно щільності струму обміну i_0 . Ураховуючи, що ємність подвійного шару прямо пропорційна величині

його заряду та площі поверхні активної маси, що бере участь в електрохімічній реакції під час розряду подвійного шару, можемо зробити висновок, що тривалість стадії деполяризації дорівнює тривалості процесу розряду подвійного шару та прямо пропорційна величині площі поверхні активної маси, що реагує. Як зазначено вище, величина площі поверхні активної маси, що бере участь у електрохімічному процесі в поточний момент часу, пропорційна величині тієї частини активної маси, яка визначає коефіцієнт її використання відповідно до виразу (1).

Для зручності визначення та більшої наочності зв'язку енергетичного стану накопичувача з параметрами сигналу відгуку представимо постійну часу перехідного процесу τ виразом із використанням параметрів перехідного процесу, узятих із рівняння (2):

$$\tau = R_n \cdot C_n, \quad (4)$$

де $R_n = U_n / i_0$ – поляризаційний опір; C_n – ємність активної маси на одиницю об'єму.

Для випадку розряду об'ємно-пористого конденсатора вираз для постійної часу набуває вигляду:

$$\tau = C_{ef} \cdot \rho_{ef} \cdot S, \quad (5)$$

де $\rho_{ef} = R_n / S$ – ефективний питомий опір електроліту в порах; S – питома поверхня одиниці об'єму порового простору, що реагує; C_{ef} – ефективна ємність активної маси, що реагує, на одиницю об'єму.

Якщо, за загальноприйнятим уявленням, перехідний процес практично закінчується в разі досягнення стану рівноваги, який для накопичувача відповідає величині напруги розімкнутого кола U_{pc} , за час $t = (4-5)\tau$, то постійна часу визначає тривалість перехідного процесу, тобто тривалість стадії деполяризації, та прямо пропорційна величині площі S на сигналі відгуку під кривою деполяризації $U_{сп}$. У свою чергу, тривалість стадії деполяризації дорівнює тривалості процесу розряду подвійного шару й прямо пропорційна величині площі поверхні активної маси, що реагує. Отже, величина площі реагуючої поверхні активної маси, що реагує, за якою визначають коефіцієнт її використання,

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

прямо пропорційна величині площі S на сигналі відгуку під кривою деполяризації $U_{сп}$.

Таким чином, за закономірностями протікання електрохімічного процесу та аналізом взаємозв'язку параметрів перехідного процесу на стадії деполяризації, що впливають із рівнянь (1–5), з параметрами сигналу відгуку встановлено прямо пропорційний зв'язок величини фактичної поточної ємності накопичувача з величиною площі S на сигналі відгуку під кривою деполяризації $U_{сп(t)}$. Установлена залежність підтверджує можливість використання інформаційного параметра сигналу відгуку – поточного значення величини площі S , а як еквівалента енергетичного параметра накопичувача – коефіцієнта використання активних матеріалів.

Використання запропонованого спільного для контролю та управління інформаційного параметра дозволяє одночасно здійснювати об'єктивний контроль поточного стану накопичувача енергії та ефективно керувати його енергетичним станом для забезпечення працездатності в динамічних режимах роботи, суміщаючи таким чином функції контролю та управління.

Методика визначення величини площі S під експонентною кривою спаду напруги $U_{сп(t)}$ заснована на її чисельному інтегруванні за правилом трапеції з використанням програми обробки математичних та статистичних функцій Origin. Програма здійснює інтегрування кривих за таким алгоритмом:

1. Розраховує певний інтеграл апроксимованої функції $\int_a^b f(x)dx$.

2. Криву спаду напруги деполяризації ділиться на відрізки (приклад наведено на рис. 3, б).

3. Для формування трапеції використовує пари сусідніх значень, після чого площі трапецій підсумовує та інтеграл розраховує за такою формулою:

$$\int_{x_1}^{x_n} f(x)dx \approx \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i) \frac{1}{2} [f(x_{i+1}) + f(x_i)],$$

де i – крок зміни часу; x – напруга деполяризації, що відповідає кожному значенню часу.

Критерієм закінчення зарядки, що відповідає досягненню ступеня зарядженості накопичувача у 100 %, є сталість значень величини площі S . Інтегрування проведено на відрізку часу спаду напруги деполяризації $U_{сп}$, максимальна тривалість якого дорівнює тривалості паузи і становить 15 секунд. Дискретність вибірки визначено відношенням часу спаду $U_{сп}$ до часу вибірки, що дорівнює $k \times 0.00035c$, і встановлено зміною коефіцієнта k . У наших експериментах дискретність вибірки становила 0,017 с, що дозволило визначати величину площі з досить високою точністю. У результаті інтегрування функцій $U_{(T)}$ отримано графіки зміни значень площі S , наведених в умовних одиницях, де значення номінальної фактичної ємності накопичувача відповідає значенню 10.0.

Результати

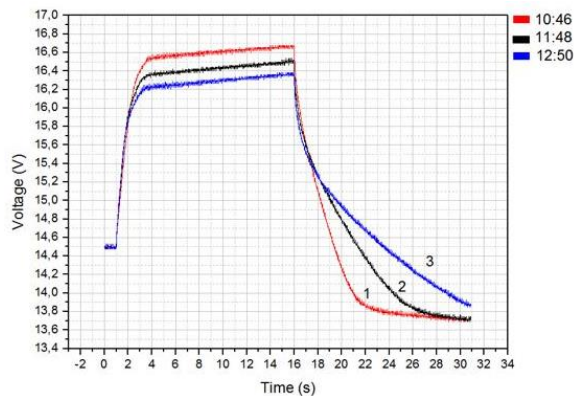
Пропонований метод управління апробовано на серії накопичувачів енергії на основі акумуляторних батарей 6СТ–60А3 із використанням експериментального стенда, описаного авторами роботи [9]. Як приклад на рис. 5 наведено порівняльні експериментальні дані, отримані під час керування процесом зарядки двох різних накопичувачів із використанням загального інформаційного параметра контролю та управління. На рис. 5, а наведено динаміку сигналу відгуку (1 – на початку, 2 – проміжний і 3 – в кінці зарядного процесу) накопичувача № 1, а на рис. 5, б – графік зміни величини площі S в процесі зарядки накопичувача № 1. Накопичувач новий стан. Його фактична ємність C_{Φ} на початку процесу зарядки становила ~ 80 % від номінальної, тобто $C_{\Phi} \sim 0.8C_H \sim 48 \text{ А} \times \text{год}$, а в кінці зарядки стала номінальною – $C_{\Phi} = C_H = 60 \text{ А} \times \text{год}$, тобто 100 %, чому відповідають умовні значення ~ 8.0 та ~ 10.0 на графіку. Зарядний процес протікав плавно в міру збільшення ємності накопичувача до досягнення кінцевого постійного значення, якому відповідало постійне значення величини площі $S = 10$, після чого зарядний процес припинявся. Значення величини площі реєстрували з інтервалами 30 хвилин. Час зарядки становив чотири години.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

Накопичувач № 2 до випробувань перебував в експлуатації та мав приблизно таку саму початкову фактичну ємність, як накопичувач № 1, тобто $C_{\text{ф}} \sim 0.8C_{\text{н}} \sim 48 \text{ А} \times \text{год}$. З урахуванням попередньої експлуатації накопичувача його зарядку проводили у двох режимах для порівняльної оцінки ефективності управління процесом зарядки, із використанням інформаційного енергетичного параметра. На рис. 5, в наведено графік зміни величини площі S у процесі зарядки накопичувача постійним зарядним струмом у стандартному режимі, що рекомендовано заводом-виробником. Час зарядки в цьому режи-

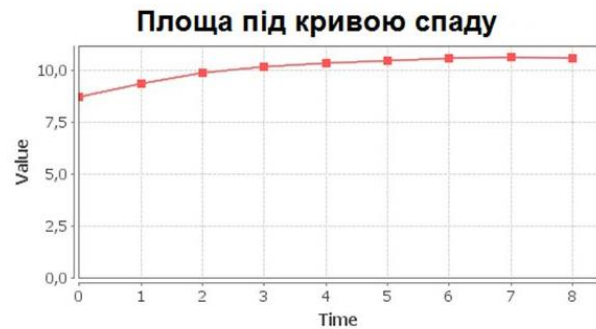
мі становить близько восьми годин. На рис. 5, з наведено графік зміни величини площі S у процесі зарядки накопичувача в прискореному режимі. Час зарядки становив близько чотирьох годин, при цьому перегріву накопичувача в процесі зарядки не спостерігалось. Фактична ємність накопичувача склала $\sim 0.9C_{\text{н}} = 54 \text{ А} \times \text{год}$. Результати експерименту підтвердили доцільність використання спільного інформаційного енергетичного параметра контролю поточного стану та управління режимами роботи накопичувача з метою підвищення ефективності його експлуатації.

а – а



Накопичувач №1

б – б



Накопичувач №1

в – в



Накопичувач №2

з – д



Накопичувач №2

Рис. 5. Результати експерименту:

а – динаміка сигналу відгуку накопичувача в процесі заряджання;
б – відповідний наведеній динаміці графік зміни площі S під кривою деполаризації у процесі зарядки накопичувача; в і з – графіки зміни площі S накопичувача за різних режимів зарядки

Fig. 5. Experimental results:

а – the dynamics of the response signal of the storage device during charging;
б – graph corresponding to the change dynamics in the area S under the depolarization curve during charging the storage device; в and d – graphs of changes in the area S of the storage device during different charging modes

Наукова новизна та практична значимість

1. Установлено, що основним параметром, який визначає поточну працездатність накопичувача в динамічних режимах роботи, є поточна фактична ємність.

2. Запропонований метод дозволяє визначити значення поточної фактичної ємності, використовуючи як узагальнений енергетичний параметр коефіцієнт використання активних матеріалів.

3. Наведене теоретичне обґрунтування пропорційної залежності величини параметра сигналу відгуку – площі S під кривою деполяризації на сигналі відгуку накопичувача на зарядний імпульс, від величини узагальненого енергетичного параметра накопичувача дає можливість використовувати величину площі S як інформаційний параметр, еквівалентний узагальненому енергетичному параметру.

4. Використання величини площі S як спільного інформаційного параметра дозволяє поєднувати функції контролю поточного енергетичного стану та оптимального керування режимами роботи електрохімічних накопичувачів енергії у складі систем енергозабезпечення транспортних засобів та спрощує виконання відповідних операцій.

Висновки

Проведені дослідження наявних методів управління режимами роботи електрохімічних накопичувачів енергії показали необхідність вибору критерію контролю поточного стану та

оперативного управління динамічними режимами роботи накопичувача, який об'єктивно оцінює його працездатність. Обґрунтовано та експериментально підтверджено, що для підвищення ефективності використання електрохімічних накопичувачів енергії в динамічних режимах роботи постає необхідність розробки методів, заснованих на застосуванні інформації про поточний енергетичний стан накопичувача. На базі класичної теорії електрохімічної кінетики запропоновано імпульсний адаптивний метод контролю поточного енергетичного стану накопичувача з використанням як поточного енергетичного параметра накопичувача узагальненого енергетичного параметра – коефіцієнта використання активних матеріалів. Інформаційним еквівалентом коефіцієнта використання активних матеріалів є величина площі S під кривою деполяризації на сигналі відгуку накопичувача на зарядний імпульс. Використання спільного інформаційного параметра дозволяє поєднувати функції контролю та управління зарядним процесом електрохімічних накопичувачів енергії, що спрощує виконання відповідних операцій. Результати експериментальної перевірки підтверджують багатофункціональність імпульсних методів контролю та управління електрохімічними накопичувачами енергії.

Робота має прикладний аспект, оскільки дає можливість удосконалити наявні імпульсні методи контролю та керування режимами роботи електрохімічних накопичувачів енергії у складі систем енергозабезпечення транспортних засобів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Афанасьев А. С., Болдырев М. А., Воронцов П. С., Суслов В. М., Котов Ю. Т., Вороницын В. К., А. А. Камусин. Система контроля и управления высокоомощных литий-ионных аккумуляторных батарей. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2019. № 1. С. 161–170. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.1.161>
2. Гинделис Я. Е. *Химические источники тока*. Саратов : Изд-во Саратовского университета, 1984. 174 с.
3. Дасоян М. А., Курзуков Н. И., Тютрюмов О. С., Ягнятинский В. М. *Стартерные аккумуляторные батареи : Устройство, эксплуатация и ремонт*. Москва : Транспорт, 1991. 255 с.
4. Дзензерский В. А., Гниленко А. Б., Плаксин С. В., Погорелая Л. М., Шкиль Ю. В. Перспективная транспортно-энергетическая система на основе интеграции магнитолевитационной технологии и распределенной фотоэлектрической электростанции. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 1 (73). С. 77–86. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/123116>

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

5. Дзензерський В. А., Житник Н. Е., Плаксин С. В., Лисунова В. В. Управление процессом зарядки электрохимического накопителя энергии. *Електротехніка та електроенергетика*. 2018. № 1. С. 42–53.
DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2018-1-5>
6. Кислий Д. М. Визначення енергозощаджуючих режимів ведення поїздів. *Наука та прогрес транспорту*. 2016. № 1 (61). С. 71–84. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/60983>
7. Оспанбеков Б. К. *Оптимизация ресурсопределяющих эксплуатационных режимов тяговых аккумуляторных батарей электромобилей* : дисс. ... канд. техн. наук. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет. Москва, 2017. 160 с.
8. Феттер К. *Электрохимическая кинетика*. Москва : Химия, 1967. 857 с.
9. Banguero E., Correcher A., Perez-Navarro A., Morant F., Aristizabal A. A review on battery charging and discharging control strategies: Application to renewable energy systems. *Energies*. 2018. Vol. 11. Iss. 1021. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/en11041021>
10. Bayati M., Abedi M., Farahmandrad M., Gharehpetian G. B., Tehrani K. Important Technical Considerations in Design of Battery Chargers of Electric Vehicles. *Energies*. 2021. Vol. 14. Iss. 18. P. 1–20.
DOI: <https://doi.org/10.3390/en14185878>
11. Chen G.-J., Liu Y.-H., Cheng Y.-S., Pai H.-Y. A Novel Optimal Charging Algorithm for Lithium-Ion Batteries Based on Model Predictive Control. *Energies*. 2021. Vol. 14. Iss. 8. P. 1–18.
DOI: <https://doi.org/10.3390/en14082238>
12. Huang X., Li Y., Acharya A. B., Sui X., Meng J., Teodorescu R., Stroe D.-I. A Review of Pulsed Current Technique for Lithium-ion Batteries. *Energies*. 2020. Vol. 13. Iss. 10. P. 1–18.
DOI: <https://doi.org/10.3390/en13102458>
13. Pakhomova V. M., Skaballanovich T. I., Bondareva V. S. Intelligent routing in the network of information and telecommunication system of railway transport. *Science and Transport Progress*. 2019. № 2 (80). P. 77–90.
DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2019/166092>
14. Srinivasan V., Wang G. Q., Wang C. Y. Mathematical Modeling of Current-Interrupt and Pulse Operation of Valve-Regulated Lead Acid Cells. *Journal of The Electrochemical Society*. 2003. Vol. 150. Iss. 3. P. A316–A325. DOI: <https://doi.org/10.1149/1.1541005>
15. Yao L., Xu S., Tang A., Zhou F., Hou J., Xiao Y., Fu Z. A Review of Lithium-Ion Battery State of Health Estimation and Prediction Methods. *World Electric Vehicle Journal*. 2021. Vol. 12. Iss. 113. P. 1–23.
DOI: <https://doi.org/10.3390/wevj12030113>

S. V. PLAKSIN^{1*}, A. M. MUKHA^{2*}, D. V. USTYMENKO^{3*}, M. Y. ZHYTNYK^{4*},
R. Y. LEVCHENKO^{5*}, Y. M. CHUPRYNA^{6*}, O. O. HOLOTA^{7*}

^{1*}Dep. «Control Systems in Vehicles», Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Pysarzhevskoho St., 5, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (056) 370 21 82, e-mail svp@westa-inter.com, ORCID 0000-0001-8302-0186

^{2*}Dep. «Electrical Engineering and Electromechanics», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 47, e-mail mukha.andrii@gmail.com, ORCID 0000-0002-5629-4058

^{3*}Dep. «Electrical Engineering and Electromechanics», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 47, e-mail ustimenko.1979@gmail.com, ORCID 0000-0003-2984-4381

^{4*}Dep. «Control Systems in Vehicles», Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Pysarzhevskoho St., 5, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (0562) 32 30 54, e-mail zhitnik@westa-inter.com, ORCID 0000-0002-1761-678X

^{5*}Dep. «Control Systems in Vehicles», Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Pysarzhevskoho St., 5, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (0562) 32 30 54, e-mail levchenko.ruslana@westa-inter.com, ORCID 0000-0003-2327-009X

^{6*}Dep. «Control Systems in Vehicles», Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Pysarzhevskoho St., 5, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (0562) 32 30 54, e-mail nesty.lords@gmail.com, ORCID 0000-0002-0986-1283

^{7*}Dep. «Control Systems in Vehicles», Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Pysarzhevskoho St., 5, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (096) 356 23 94, e-mail sashagolota3012@gmail.com, ORCID 0000-0002-0282-2767

Method of Operational Control and Management of Electrochemical Energy Storage Device in the Systems of Electricity Supply of Vehicles

Purpose. The main purpose of our work is to develop a method of rational control of dynamic operation modes of electrochemical energy storage devices to increase the efficiency of their operation as part of the energy supply systems of vehicles. **Methodology.** The authors reviewed the world literature on the topic of the work. The existing control methods of electrochemical energy storage devices were systematized and classified. Peculiarities and possibilities of their application taking into account the specifics of operation on vehicles, which are characterized by dynamic modes with unpredictable changes in the energy balance due to uncontrolled undercharges and overcharges were taken into account. The analysis of existing control methods showed that their common disadvantage is the use as information parameters to control and manage the operation modes of storage device, such as voltage and operating current, the values of which do not correspond to the current energy state of the device due to the fleeting nature of transient electrochemical processes in the device during operation in dynamic modes. The conclusion is made about the need to take into account the energy parameters of storage devices in the process of managing dynamic modes, which most fully and objectively reflect their performance. The advantage of pulse control methods of storage devices in dynamic modes of operation over DC methods is shown. **Findings.** The authors substantiated and experimentally confirmed the versatility of the developed galvanostatic method, which allows simultaneous control of the current energy state of the storage device and operational management of dynamic modes of its operation using a common criterion of control and management – the utilization factor of active materials, the information equivalent of which is the value of the area under the depolarization curve on the response signal of the device to the test pulse. **Originality.** For the first time it is proposed to combine the functions of control of the current energy state of the storage device and operational management of the dynamic modes of its operation with the use of the utilization factor of active materials. **Practical value.** The obtained results can be used to ensure the optimal operation mode of energy storage in the power supply systems of vehicles.

Keywords: electrochemical energy storage device; operating mode control methods; pulsed galvanostatic method; response signal; active material utilization factor; combination of control and management functions; vehicle

REFERENCES

1. Afanasev, A. S., Boldyrev, M. A., Vorontsov, P. S., Suslov, V. M., Kotov, Yu. T., Voronitsyn, V. K., & Kamusin, A. A. (2019). The Control and Management System of High-Power Lithium-Ion Batteries. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 1, 161-170. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.1.161> (in Russian)
2. Gindelis, Ya. Ye. (1984). *Khimicheskie istochniki toka*. Saratov: Publisher Saratov University. (in Russian)
3. Dasoyan, M. A., Kurzakov, N. I., Tyutryumov, O. S., & Yagnyatinskiy, V. M. (1991). *Starternye akkumulyatornye batarei: Ustroystvo, ekspluatatsiya i remont*. Moscow: Transport. (in Russian)
4. Dzenzerskiy, V. A., Gnilenko, A. B., Plaksin, S. V., Pogorelaya, L. M., & Shkil, Yu. V. (2018). Perspective transport-power system based on the integration of maglev-technology and distributed photo-electric station. *Science and Transport Progress*, 1(73), 77-86. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/123116> (in Russian)
5. Dzenzerskiy, V. A., Zhitnik, N. Ye., Plaksin, S. V., & Lisunova, V. V. (2018). Controlling the electrochemical energy storage charging process. *Electrical engineering and Power engineering*, 1, 42-53. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2018-1-5> (in Russian)
6. Kyslyi, D. M. (2016). Energy saving modes definition of trains handling. *Science and Transport Progress*, 1(61), 71-84. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/60983> (in Ukrainian)
7. Ospanbekov, B. K. (2017). *Optimizatsiya resursoopredelyayushchikh ekspluatatsionnykh rezhimov tyagovykh akkumulyatornykh batarey elektromobiley*. (PhD dissertation). Moskovskiy avtomobilno-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, Moscow, Russia. (in Russian)
8. Fetter, K. (1967). *Elektrokhimicheskaya kinetika*. Moscow: Chemistry. (in Russian)
9. Banguero, E., Correcher, A., Perez-Navarro, A., Morant, F., & Aristizabal, A. (2018). A review on battery charging and discharging control strategies: Application to renewable energy systems. *Energies*, 11(1021), 1-15. DOI: <https://doi.org/10.3390/en110410211> (in English)

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

10. Bayati, M., Abedi, M., Farahmandrad, M., Gharehpetian, G. B., & Tehrani, K. (2021). Important Technical Considerations in Design of Battery Chargers of Electric Vehicles. *Energies*, 14(18), 1-20.
DOI: <https://doi.org/10.3390/en14185878> (in English)
11. Chen, G.-J., Liu, Y.-H., Cheng, Y.-S., & Pai, H.-Y. (2021). A Novel Optimal Charging Algorithm for Lithium-Ion Batteries Based on Model Predictive Control. *Energies*, 14(8), 1-18.
DOI: <https://doi.org/10.3390/en14082238> (in English)
12. Huang, X., Li, Y., Acharya, A. B., Sui, X., Meng, J., Teodorescu, R., & Stroe, D.-I. (2020). A Review of Pulsed Current Technique for Lithium-ion Batteries. *Energies*, 13(10), 1-18.
DOI: <https://doi.org/10.3390/en13102458> (in English)
13. Pakhomova, V. M., Skaballanovich, T. I., & Bondareva, V. S. (2019). Intelligent routing in the network of information and telecommunication system of railway transport. *Science and Transport Progress*, 2(80), 77-90. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2019/166092> (in English)
14. Srinivasan, V., Wang, G. Q., & Wang, C. Y. (2003). Mathematical Modeling of Current-Interrupt and Pulse Operation of Valve-Regulated Lead Acid Cells. *Journal of The Electrochemical Society*, 150(3), A316-A325. DOI: <https://doi.org/10.1149/1.1541005> (in English)
15. Yao, L., Xu, S., Tang, A., Zhou, F., Hou, J., Xiao, Y., & Fu, Z. (2021). A Review of Lithium-Ion Battery State of Health Estimation and Prediction Methods. *World Electric Vehicle Journal*, 12(113), 1-23.
DOI: <https://doi.org/10.3390/wevj12030113> (in English)

Надійшла до редколегії: 09.08.2021

Прийнята до друку: 10.12.2021

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

УДК 625.113:656.22

М. Б. КУРГАН^{1*}, Д. М. КУРГАН², С. Ю. БАЙДАК³, Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА⁴, Р. Б. НОВІК⁵

^{1*}Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта kunibor@gmail.com, ORCID 0000-0002-8182-7709

²Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта kurhan.d@gmail.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта baydak86@ukr.net, ORCID 0000-0002-7909-8527

⁴Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта hmelevnela@gmail.com, ORCID 0000-0002-2360-8671

⁵Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта rus.novik.1980@gmail.com, ORCID 0000-0002-2571-6641

Зниження інтенсивності розладів залізничної колії за рахунок удосконалення параметрів плану лінії під час паспортизації кривих

Мета. У роботі передбачено за рахунок удосконалення параметрів плану лінії досягти зниження інтенсивності розладів залізничної колії і, в остаточному підсумку, забезпечити безпеку, плавність і комфортабельність їзди на напрямках швидкісного руху поїздів. **Методика.** Для отримання вихідних даних щодо параметрів плану наявних залізниць автори провели огляд світової літератури за темою дослідження, а також моніторинг роботи залізничної колії на основі даних технічних паспортів дистанцій колії. У прийнятих математичних моделях наявного плану використано припущення, що три суміжні точки кривої лежать на колі. На такому принципі побудована робота виправлювально-підбивно-рихтувальних машин. У результаті виправлювальних робіт із метою зменшення об'ємів зсувів крива не відповідає вихідним паспортним даним. Методика передбачає аналіз і систематизацію даних побудови відповідних графіків і встановлення аналітичних залежностей. **Результати.** Недостовірне визначення параметрів кривих призводить до необґрунтованого обмеження швидкості руху або до великих обсягів рихтувальних робіт. Тому розроблено пропозиції щодо зниження інтенсивності розладу колії за рахунок приведення параметрів кривих до нормативних вимог, що діють в Україні на напрямках упровадження швидкісного руху поїздів. За розрахунками, які базуються на аналізі способу зйомки кривих, який застосовують у дистанціях колії, з'ясовано вплив точності отриманих даних на встановлення параметрів кривих і допустимої швидкості руху поїздів. Розроблено рекомендації, що сприятимуть ефективності проектних рішень, визначатимуть якість проекту реконструкції залізниці на діючих напрямках. **Наукова новизна.** Набули подальшого розвитку наукові підходи до оцінки стану кривих, визначення їх раціональних параметрів і допустимої швидкості на напрямках упровадження швидкісного руху поїздів в Україні. **Практична значимість.** Отримані результати будуть корисні для проведення заходів щодо поліпшення плавності руху поїздів, підвищення швидкості й рівня комфортабельності їзди в кривих ділянках колії, особливо на напрямках упровадження швидкісного руху поїздів.

Ключові слова: швидкісний рух поїздів; методи зйомки кривих; параметри кривих; похибки вимірювання; допустима швидкість руху поїзда; плавність їзди; комфортабельність їзди

Вступ

Уразі вирішенні завдання підвищення швидкостей руху поїздів однією із суттєвих перешкод до зміни швидкісного режиму є невідповідність

фактичного положення кривої проектній документації. Саме тому щорічно Укрзалізниця видає різні накази та розпорядження, що встановлюють основні параметри кривих у плані та за рівнем, а також обсяги робіт із реконструкції

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

кривих із метою приведення їх до проєктної документації. За фактичними параметрами кривій падають певним статус, який установлює порядок її подальшої експлуатації залежно від ступеня відхилень цих параметрів від проєктних. Проведений аналіз параметрів дозволяє узагальнити рівень розладу наявних кривих, виявити розбіжності у якісній та кількісній оцінках одних і тих самих ділянок колії, а також установити необхідність комплексної оцінки фактичних та проєктних параметрів геометрії рейкової колії.

Зниження інтенсивності розладу колії можна досягти за рахунок приведення параметрів кривих до нормативних вимог, своєчасного виконання ремонтних робіт і контролю за їх виконанням із застосуванням сучасних засобів діагностики колії. Для вдосконалення системи ведення колійного господарства потрібно проводити паспортизацію кривих. Якщо фактичні параметри кривої відрізняються від паспортних даних, то розраховують раціональні параметри влаштування кривої для заданого діапазону швидкостей, що забезпечують виконання нормативних документів, оптимізацію силової взаємодії рухомого складу та колії за мінімальних робіт із її рихтування.

Як показали проведені науковцями Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна розрахунки [1, 2, 5], обмеження швидкості, що встановлені за наказом начальника залізниці, можуть не відповідати розрахунковим. Це можна пояснити тим, що розрахунки в дистанціях колії часто виконують за спрощеною схемою, а основну увагу приділяють двом критеріям – непогашеному прискоренню та крутизні відводу підвищення зовнішньої рейки. Отже, не враховують у повній мірі критерії, що впливають на плавність і комфортабельність руху. Такий підхід не допустимий у разі впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів, оскільки збільшення швидкості ставить підвищені вимоги до якості проєктування, виправлення та утримання кривих [1].

Мета

Основною метою нашої роботи є розробка пропозицій щодо зниження інтенсивності розладу колії за рахунок приведення параметрів кривих до нормативних вимог, що діють в Україні на напрямках упровадження швидкісного руху поїздів.

Методика

Дослідження базується на результатах моніторингу технічного стану залізничної колії за підвищення швидкості руху поїздів у кривих, враховує зміни або корегування допущень за швидкостей 160 км/год і вищих.

Поки максимальні швидкості пасажирських і вантажних поїздів відрізнялися на невелику величину, комфортабельність їзди взагалі не аналізували. Сьогодні, коли, з одного боку, ми йдемо шляхом підвищення швидкості руху пасажирських поїздів, а з іншого, орієнтуємось на мінімальні витрати, що пов'язані з рухом поїздів, такий підхід до плану залізничної колії стає досить витратним і навіть небезпечним. Справа в тому, що допустимі швидкості руху визначають для проєктного положення колії, якого насправді немає. Установлюючи допустимі швидкості, виходять із того, що ряд параметрів руху, таких як непогашене прискорення, швидкість наростання прискорень і швидкість опускання колеса, не перевищують допустимих значень [1].

Для безпечності, ефективності, надійності та доступності залізничних перевезень потрібно, щоб залізничні колії перебували в належному стані [1, 12, 21]. У роботі [20] описано підхід з урахуванням ризиків, який можна використовувати для економічного обґрунтування стану залізничних колій шляхом порівняння витрат на обслуговування інфраструктури на основі життєвого циклу, експлуатаційних витрат поїздів, витрат часу в дорозі, безпеки, соціальних та екологічних впливів. Цей підхід проілюстровано даними за трьома маршрутами магістральної залізничної мережі Великобританії.

Технічну систему, яка дозволяє вирішувати завдання щодо оптимальної реконструкції кривих залізниць із метою збільшення швидкості руху поїздів за мінімальних інвестицій, запропонували автори роботи [18]. Ураховано комфортне перевезення пасажирів у разі збільшення швидкості в кривих ділянках колії. Роботу [14] присвячено визначенню горизонтальної кривизни залізничної колії, зазначено, що це найчастіше роблять опосередковано. Цей метод заснований на зміні кутів нахилу рухомої хорди в декартовій системі координат. Розглянуто вплив довжини хорди на отримані значення кривизни. Установлено, що довжина хорди не відіграє суттєвої ролі у визначенні кривизни й не обмежує

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

застосування цього методу. Водночас акцентовано на точності визначення кривизни та її відповідності на ділянках перехідних кривих. У роботі [13] розглянуто застосування сучасних геодезичних технологій для визначення геометрії колії в аспекті допустимих швидкостей поїздів. У роботі [15] визначено горизонтальну кривизну осі залізничної колії для отримання невідомих геометричних характеристик траси: розташування прямих і кривих ділянок. Автор вважає, що ця проблема остаточно не вирішена, бо геометричні характеристики було визначено за допомогою наближених методів. Запропоновано нову концепцію визначення кривизни колії за допомогою зміни кута нахилу рухомої хорди. Щоб скористатися цим методом, необхідно знати координати точок у декартовій системі для заданої ділянки. Багато наукових праць присвячено обґрунтуванню виду перехідних кривих для впровадження швидкісного руху поїздів. Так, у роботі [16] представлено новий вид перехідної кривої, адаптованої до експлуатаційних вимог, що діють на залізниці.

У чинних правилах проектування залізниць Угорщини немає проектних параметрів, пов'язаних зі швидкістю понад 160 км/год. У відповідному міжнародному стандарті (ENV 13803) аналогічне обмеження швидкості становить 300 км/год. У статті [11] визначено параметри двох перехідних кривих, які використовують в Угорщині та Австрії. Показано, що зручність використання перехідних кривих у вигляді кло-тоїди необґрунтовано обмежена в угорських правилах для швидкостей до 120 км/год.

Результати

Першим кроком удосконалення системи ведення колійного господарства може стати паспортизація кривих ділянок колії.

Паспорт кривої – це зареєстровані в технічному паспорті дистанції колії (форма АГУ–4) параметри кривої, що містять такі характеристики кривої ділянки колії, як пікетажне положення і кількість (однорадіусна або складова) кривих, величина радіусів, довжина перехідних кривих, підвищення зовнішньої рейки.

Обов'язковими умовами паспортних характеристик кривої є:

умова 1 – дотримання вимог чинних нормативних документів: ЦП–0236 «Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії» [10] та ЦП–0269 «Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України» [3];

умова 2 – положення в плані максимально наближене до фактичних обрисів кривої. Може відрізнятися від наявного не більше ніж гранично можливі зсуви колії, обмежені габаритними, технічними, технологічними та іншими вимогами;

умова 3 – паспортні характеристики влаштування кривої (за кривизною, підвищенням зовнішньої рейки, довжиною перехідних кривих) забезпечують у разі встановлених та фактичних швидкостей руху поїздів раціональні величини непогашеного прискорення (a_{np} , м/с²), швидкості його зміни (ϕ , м/с³) і відводу підвищення зовнішньої рейки (i_v , ‰).

Таким чином, методика дослідження передбачає перевірку паспортних характеристик кривих. Якщо наявні параметри кривої відрізняються від вимог (1–3), то розраховують її раціональні параметри для заданого діапазону швидкостей, що забезпечують виконання чинних нормативних документів, оптимізацію силової взаємодії рухомого складу та колії за мінімальних зсувів і підвищення зовнішньої рейки.

Розраховані проектні паспортні характеристики кривої після затвердження службою колії повинні бути реалізовані під час планових ремонтних робіт або реконструкції колії.

Перевірка дотримання умови 1

Перед введенням швидкісного руху поїздів залізнична колія, рухомий склад та інші пристрої обслуговування залізниць повинні бути приведені до стану, який забезпечує рух поїздів зі встановленими швидкостями. Отже, постає задача оцінки стану кожної кривої щодо забезпечення плавності й комфортабельності їзди. Криву вважають динамічно плавною, якщо відхилення в стрілах вигину не перевищують номінальних значень, тобто $\Delta f_{\text{круг}} \leq [\Delta f_{\text{круг}}]$

і $\Delta f_{\text{пк}} \leq [\Delta f_{\text{пк}}]$, де $\Delta f_{\text{кр}}$ – різниця стріл вигину в суміжних точках через 10 м за довжини хорди $a = 20$ м;

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

$$\Delta f_{\text{пк}} = \frac{125 \cdot [\psi] \cdot a^3 \cdot 3,6^3}{2 \cdot V^3}, \quad (1)$$

де $\Delta f_{\text{пк}}$ – номінальні відхилення, які допускають від рівномірного наростання стріл на перехідних кривих у точках, розташованих через 10 м за довжини хорди 20 м; $C_{\text{max}} = R \cdot l$ – найбільше значення параметра (мінімально допустимий радіус R_{min} і максимальні перехідні криві l_{max}), що забезпечує максимальну швидкість;

$$\Delta f_{\text{пк}} = \frac{125a^3}{4C_{\text{max}}}. \quad (2)$$

За формулами (1) і (2) визначено нормативні дані щодо влаштування кривих: $\Delta f_{\text{кр}}$ – різниця суміжних стріл вигину зовнішньої рейки в круговій кривій; $\Delta f_{\text{пк}}$ – найбільші відхилення від рівномірного зростання стріл на перехідних кривих (табл. 1).

Таблиця 1

Нормативні дані щодо влаштування кривих

Table 1

Regulatory data on the arrangement of curves

Показники	Значення номінальних відхилень (допусків) за максимальної швидкості руху, км/год				
	120	140	160	180	200
$\Delta f_{\text{кр}}$, мм	8	7	5	4	3
$\Delta f_{\text{пк}}$, мм	5	4	3	2	2

Згідно з рейко-шпало-баластовою картою, максимальна швидкість на ділянці км 1058...1063 для пасажирських поїздів становить 120 км/год, для вантажних – 80 км/год.

На залізницях форма перехідної кривої зберігається у вигляді радіоїдальної спіралі з лінійним відводом підвищення й кривизни [6]. Допустиму швидкість руху встановлюють за ЦП–0236 [10] залежно від крутизни відводу.

Для прикладу розглянуто криву, що знаходиться на непарній колії ділянки Славгород – Новогупалівка регіональної філії «Придніпровська залізниця», км 1058...1059. Вихідні дані

кривої отримано зйомкою стріл вигину від 20-метрової хорди та підвищення зовнішньої рейки в тих же точках кривої (рис. 1).

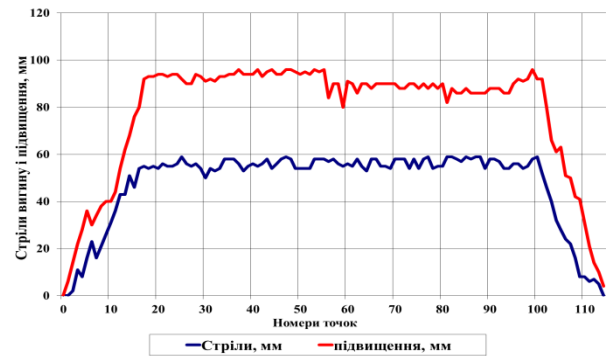


Рис. 1. Стріли вигину й підвищення зовнішньої рейки

Fig. 1. Versines and superelevations

Таблиця 2

Допустимі швидкості руху залежно від крутизни відводу підвищення зовнішньої рейки в кривій

Table 2

Permissible movement speeds depending on the steepness of superelevation tapping in a curve

Крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки, мм/м	Максимально допустима швидкість руху, км/год
до 0,67 включно	160
понад 0,67 до 0,7 включно	140
понад 0,7 до 1,0 включно	120
понад 1,0 до 1,2 включно	110
понад 1,2 до 1,4 включно	100

Відповідно до паспорту кривої, радіус наявної кривої складає 867 м, довжини перехідних кривих – 150 і 140 м, підвищення зовнішньої рейки – 95 мм. З урахуванням паспортних даних за табл. 1, різниця суміжних стріл вигину зовнішньої рейки в круговій кривій ($\Delta f_{\text{кр}}$) складає 8 мм, а найбільші відхилення від рівномірного зростання стріл на перехідних кривих ($\Delta f_{\text{пк}}$) – 5 мм.

Відповідно до вимог ЦП–0269 наведено аналіз стану дослідної кривої. Так, із рис. 2 випливає, що в межах перехідних кривих $\Delta f_{\text{пк}} >$

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

$[\Delta f_{\text{ПК}}]$, тобто відхилення від рівномірного зростання стріл на перехідній кривій досягають 8–9 мм за допустимих 5 мм.



Рис. 2. Різниця суміжних стріл вигину: фактична й допустима

Fig. 2. The difference between adjacent versines: actual and permissible

Відповідно до ЦП–0236 [10], для швидкості руху 120 км/год максимально допустима крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки в кривій становить 1,0 мм/м (табл. 2). З аналізу рис. 3 випливає, що на перехідних і в круговій кривій мають місце перевищення ухилу 1,0 мм/м, що визначає стан кривої, який не забезпечує плавність і комфортабельність їзди.

Для визначення максимально допустимої швидкості руху по кривій необхідно мати достовірні вихідні дані. Під час підготовки наказу про допустимі швидкості використовують характе-

ристики кривих ділянок колії. Параметри кривих оновлюють щорічно вимірюванням величин стріл вигину та підвищення зовнішньої рейки.

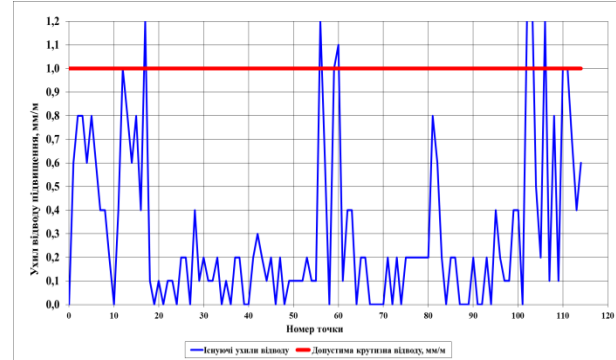


Рис. 3. Ухил відводу підвищення зовнішньої рейки в точках зйомки кривої

Fig. 3. The slope of the superelevation tapping at the points of the curve shooting

За виміряними стрілами вигину визначають кут повороту, радіус і всі елементи кривої. Кут повороту можна розрахувати за формулою:

$$\alpha = \frac{114,6 \cdot \sum f}{1000 \cdot a}. \quad (3)$$

Величина кута повороту не залежить від радіуса кривої і ступеня її розладу та є постійною для цієї кривої. Контроль знімальних робіт кривої на перегоні Славгород – Новогупалівка, яка взята для прикладу, слід визнати незадовільним за результатами розрахунків, що наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Значення параметрів кривої і відповідна допустима швидкість руху

Table 3

The values of the curve parameters and the corresponding permissible speed

Параметри кривої і допустима швидкість	Значення параметрів кривої, отримані в різні роки				
	2017	2018	2019	2020	2021
Кут повороту	56°23'	64°09'	63°55'	58°53'	62°17'
Радіус, м	998	858	857	948	889
Довжина перехідної кривої, м	40	110	140	130	190
Кругова крива, м	892,04	825,62	821,07	839,36	816,35
Довжина перехідної кривої, м	140	160	130	140	110

Продовження табл. 3

Continuation of Table 3

Параметри кривої і допустима швидкість	Значення параметрів кривої, отримані в різні роки				
	2017	2018	2019	2020	2021
Підвищення зовнішньої рейки, мм	35	85	85	75	85
Сума зсувів	4 920	5 598	5 578	5 139	5 435

Примітка: параметри встановлені для умови, що крива однорадіусна за зсувів у межах основної площадки земляного полотна до 200 мм.

Перевірка дотримання умови 2

Відповідно до вимог ЦП–0287 [9], під час реконструкції колії виконують виправлення кривих у плані з відновленням проєктних радіусів та доведення довжин перехідних кривих до встановлених норм.

Оскільки наявні параметри кривої відрізняються від вищенаведених вимог (1–3), то розраховують раціональні параметри кривої для забезпечення встановленої максимальної швидкості пасажирських поїздів 120 км/год.

Для оптимізації проєктного рішення із застосуванням програми RWPlan [4] використано критерій вартості робіт із перевлаштування плану лінії. При цьому враховувано витрати на рихтування, перекладання колії, додатковий баласт, перенесення контактної мережі і пристроїв СЦБ, додаткові об'єми відсіпання земляного полотна. Необхідність виконання тих чи інших додаткових робіт визначено програмно залежно від величини зсуву в цій точці кривої.

Урахування відповідних робіт із перебудови кривої виконано за формулою [7]:

$$K = \sum_{i=1}^{i=4} a_i l_i + \sum_{i=5}^{i=7} a_i l_i + \sum_{i=8}^{i=10} a_i Q_i, \quad (4)$$

де $a_1, \dots, a_4$ – витрати на зміщення осі наявної колії відповідно до 60, 61–120, 121–220 і більше 250 мм; $l_1, \dots, l_4$ – довжина ділянок з відповідним діапазоном зсувів; $a_5, \dots, a_7$ – витрати відповідно на перекладання верхньої будови колії, перенесення контактної мережі, пристроїв СЦБ; $l_5, \dots, l_7$ – довжина ділянок перекладання колії, перенесення контактної мережі, кабелів СЦБ;

$a_8, \dots, a_{10}$ – вартість 1 м³ баласту, ґрунту для розширення наявного земляного полотна та ґрунту для відсіпання земляного полотна на новій трасі; $Q_8, \dots, Q_{10}$ – об'єм баласту, ґрунту для розширення наявного земляного полотна та ґрунту для відсіпання нового земляного полотна.

Під час рихтування колії на відстань більшу за 60 мм будуть виникати додаткові обсяги робіт, пов'язані з перенесенням контактної мережі та досипанням баласту. А якщо зсув перевищує задане значення (наприклад, a_4), то замість витрат на рихтування підраховують витрати на перекладання колії, перенесення контактної мережі і пристроїв СЦБ.

Об'ємно-вартісні показники за варіантами перебудови плану лінії наведено в табл. 4 і на рис. 4.

З аналізу даних табл. 4 і рис. 5 випливає, що раціональними параметрами кривої, яка забезпечує встановлену максимальну швидкість пасажирських поїздів 120 км/год, за мінімальної вартості перебудови (виправлення) наявної кривої є трирадiусна крива.

Під час перевлаштування кривих наявної колії слід брати постійні значення радіусів по всій довжині кругової кривої. У важких умовах, коли виконання цієї вимоги викликає необхідність перебудови наявного земляного полотна або штучних споруд, допустимо зберігати радіуси різних значень з урахуванням динаміки, тобто різниці у кривизні. Різниця у кривизні між першою і другою та другою і третьою кривими становить відповідно 1/61 683 і 1/64 971, що значно перевищує норматив 1/80 000 на лініях I–II категорій, 1/5 000 на лініях III–IV категорій, за яким не влаштовують перехідну криву між суміжними кривими.

Таблиця 4

Об'ємно-вартісні показники за варіантами

Table 4

Volume-cost indicators by variants

Радіус кривої, м	Перехідні криві, м	Підвищення рейки, мм	Максимальний зсув, мм	Сума зсувів, мм	Витрати, у. о.
R1 – 889	L1 – 190, L2 – 110	h1 – 85	$\Delta_{\max} \pm 277/178$	$\Sigma\Delta=1\ 1972$	3 679
R1 – 899, R2 – 879	L1 – 160, L2 – 80, L3 – 140	h1 – 80, h2 – 85	$\Delta_{\max} \pm 83/77$	$\Sigma\Delta=3\ 852$	731
R1 – 902, R2 – 889, R3 – 877	L1 – 160, L2 – 30, L3 – 40, L4 – 140	h1 – 80, h2 – 85, h3 – 85	$\Delta_{\max} \pm 47/61$	$\Sigma\Delta=1\ 876$	309

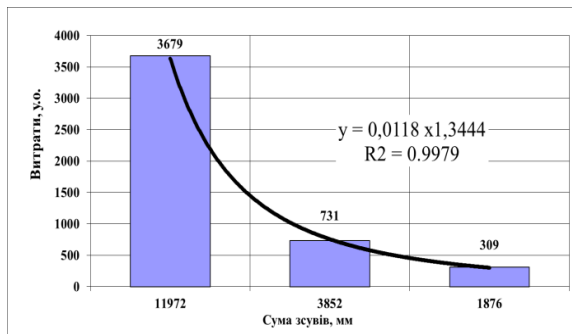


Рис. 4. Залежність витрат на встановлення кривої в проєктне положення від суми зсувів

Fig. 4. Cost dependence for setting the curve in the design position on the amount of shifts

Для наочності на рис. 5 наведено графіки зсувів, що відповідають одно-, дво- і трирадіусній кривій.

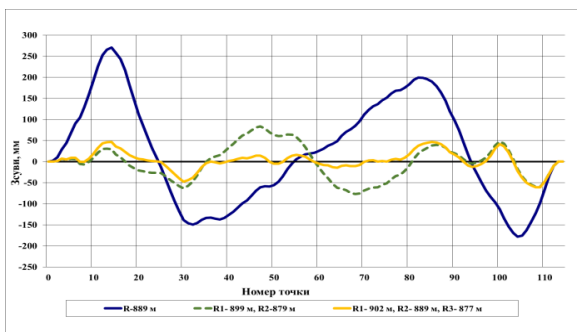


Рис. 5. Графіки зсувів для одно-, дво і трирадіусної кривої

Fig. 5. Graphs of shifts for one-, two- and three-radius curves

Перевірка дотримання умови 3

Контрольованими величинами, за якими проводять оцінку фактичних параметрів кривої, є:

- величина горизонтального прискорення ($\alpha_{\text{гп}}$, м/с^2), розрахована по всій кривій за фактичними величинами кривизни та підвищенням зовнішньої рейки згідно з їх локальними відступами довжиною не менше 30 м;
- швидкість зміни непогашеного прискорення на ділянках змінної кривизни ($\psi^{\text{доп}}$, м/с^3);
- крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки (i_v , %) в перехідних кривих.

На рис. 6 наведені графіки непогашених прискорень і швидкість їх зміни вздовж кривої.

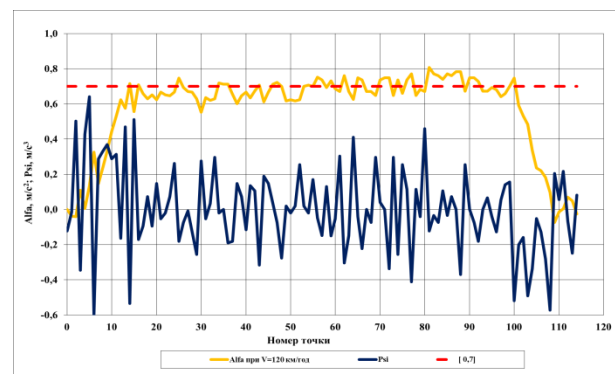


Рис. 6. Непогашені прискорення та швидкість їх зміни вздовж кривої

Fig. 6. Unbalanced accelerations and their rate of change along the curve

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Із графіків випливає, що за максимальної швидкості 120 км/год після виправлення кривої будуть забезпечені умови неперевикнення непогашених прискорень $\alpha_{\text{нп}} \leq 0,7 \text{ м/с}^2$ і швидкості зміни непогашеного прискорення на ділянках змінної кривизни $\psi^{\text{доп}} \leq 0,6 \text{ м/с}^3$.

Організація швидкісного й високошвидкісного руху поїздів потребує системного підходу [19].

Серед завдань колійного господарства, які можуть бути вирішені за допомогою колієвимірювальних засобів, – паспортизація залізничної колії, забезпечення автоматизованих систем управління (АСУ) фактичною інформацією про стан об'єктів колії.

Колієвимірювальні засоби повинні контролювати, реєструвати й оцінювати основні параметри геометрії рейкової колії, до яких належать:

- ширина колії (звуження й розширення);
- положення рейкових ниток за рівнем (перекоси і плавні відхилення рівня);
- положення рейкових ниток у плані (горизонтальні стріли вигину від хорди довжиною 21,5 м у точці, розташованій на відстані 4,1 м від її кінця) – рихтування;
- просадки рейкових ниток у вертикальній площині (стріли вигину рейкових ниток від хорди довжиною 17 м у точці, розташованій на відстані 2,7 м від її кінця).

Довгохвильові нерівності в профілі й плані на ділянках обертання пасажирських поїздів зі швидкостями 140...200 км/год є додатковими факторами, що визначають необхідність проведення вимірювань параметрів фактичного стану залізничної колії – геометричних розмірів відступів від норм утримання рейкової колії в плані й поздовжньому профілі.

Вважають, що для оцінки стану колії найбільш доступною залишається стрічка колієвимірювального вагона. Але цей спосіб не застосовують для визначення точного геометричного положення кривих, оскільки він має низку обмежень [8]. Точність вимірів стріли в кривих ділянках колії колієвимірювальним вагоном типу КВЛ складає 1 мм в місці вимірювання, а точність оцінки пройденого шляху складає не більше 1:500. Асиметрична схема вимірювання

(17:4,1) не дозволяє правильно оцінювати складні ділянки плану, що вносить істотну невизначеність під час розрахунків кривизни в точках колії. На графіку кривизни положення перехідних кривих зміщується щодо істинного, а прямі вставки довжиною до 50 м можуть узагалі зникати. Це призводить до необхідності виправлення кривих методом «згладжування», який не гарантує постановки кривих у правильне проектне положення.

Якщо після оцінки стану колії колієвимірювальним вагоном установлено, що потрібне виправлення чи перебудова кривих, то пропонують таку послідовність виконання робіт [17]:

1. Проведення натурного обстеження та зйомка фактичних параметрів кривих, наприклад, методом стріл.
2. Розрахунок оптимальних параметрів кривих.
3. Визначення обсягів перебудови плану лінії і підготовка завдання на виконання виправлювальних робіт.
4. Виправлення (перебудова) кривих у разі машинізованого поточного утримання колії й ремонтних робіт на основі затвердженого проекту.
5. Зйомка фактичних характеристик плану лінії після виправлення кривих.
6. Оцінка відповідності фактичних характеристик план паспортним значенням.
7. Затвердження паспорта кривої, якщо відповідність характеристик (п. 6) установлена, якщо ні – перехід до п. 4.

Наукова новизна та практична значимість

У роботі набули подальшого розвитку наукові підходи до оцінки стану кривих, визначенню їх раціональних параметрів і допустимої швидкості руху на напрямках упровадження швидкісного руху поїздів в Україні.

Отримані результати будуть корисні для проведення заходів щодо поліпшення плавності руху поїздів, підвищення швидкості й рівня комфортабельності їзди в кривих ділянках колії, особливо на напрямках упровадження швидкісного руху поїздів.

Висновки

Проведений аналіз складних ділянок плану залізниці показав, що після виконання розрахунків відповідно до викладеної методики та оптимізації параметрів кривих (з урахуванням вартості їх перебудови) можна підвищити швидкість у кривих і скоротити час руху поїздів.

Аналогічний аналіз слід провести по всіх кривих на напрямках швидкісного руху за методикою ЦП–0236 в повному обсязі, що дозволить отримати додаткове скорочення часу руху й уникнути неточностей, які виникають під час спрощених розрахунків.

Для всіх кривих, що обмежують швидкість руху, а також тих, які утримують із відступами відповідно до вимог інструкції ЦП–0269, необхідно провести натурне обстеження з виконанням повного циклу розрахунків для їх паспортизації.

Паспортизація кривих, розташованих на головних напрямках залізниць України, дозволить встановити такі характеристики:

- кількість ділянок різного радіуса й величини раціональних радіусів у плані, максимально наближені до фактичних обрисів кривої;
- довжину перехідних кривих, що забезпечує необхідні для встановленої швидкості руху відводи по кривизні й підвищення зовнішньої рейки;
- раціональне підвищення зовнішньої рейки, величина якого відповідає встановленим критеріям за непогашеним прискоренням для пасажирських і вантажних поїздів.

Паспортизація кривих буде сприяти зниженню інтенсивності розладів залізничної колії, зменшенню трудовитрат на утримання колії в плані, підвищенню плавності й комфортабельності їзди.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабенко А. І., Курган Д. М., Черняков М. М. Встановлення допустимої швидкості на складних ділянках плану залізниці з урахуванням комфортабельності їзди. *Транспортні системи і технології*. 2012. Вип. 21. С. 9–15.
2. Байдак С. Ю. *Раціональні параметри кривих для впровадження швидкісного руху* : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Дніпро, 2020. 23 с.
3. Даниленко Е. І., Орловський А. М., Курган М. Б., Яковлев В. О. *Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України: ЦП-0269*. Київ : ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. 456 с.
4. Корженевич І. П. Нові можливості проектування перебудови плану та виправлення кривих при використанні програми RWPlan 1.2. *Залізничний транспорт України*. 2007. № 5. С. 79–82.
5. Курган М. Б., Курган Д. М., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П. Дослідження впливу стану залізничної колії в плані на плавність і безпеку руху поїздів. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2017. № 14. С. 94–101. DOI: <https://doi.org/10.15802/ecsrt2017/137797>
6. Курган М. Б., Курган Д. М. *Теоретичні основи впровадження високошвидкісного руху поїздів в Україні* : монографія. Дніпро : Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2016. 283 с.
7. Курган М. Б., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П. Методика визначення допустимих швидкостей руху поїздів на ділянках складного плану залізниці. *Наука та прогрес транспорту*. 2014. № 2 (50). С. 83–94. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2014/23760>
8. Курган М. Б., Курган Д. М., Байдак С. Ю., Хмелевська Н. П. Дослідження параметрів залізничної колії у плані за різними методами зйомки. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 2 (74). С. 77–86. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/129585>
9. *Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України : ЦП-0287* [Чинний від 2014-11-03]. Київ, 2015. 45 с.
10. *Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії : ЦП-0236* [Чинний від 2010-12-14]. Київ, 2010. 52 с.
11. Fischer S. Comparison of railway track transition curves. *Pollack Periodica*. 2009. Vol. 4. Iss. 3. P. 99–110. DOI: <https://doi.org/10.1556/pollack.4.2009.3.9>
12. Fischer S. Investigation of the Horizontal Track Geometry regarding Geogrid Reinforcement under Ballast. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2022. Vol. 19. Iss. 3. P. 89–101. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.19.3.2022.3.8>

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

13. Jamka M., Lisowski S., Strach M. Zastosowanie współczesnych technologii geodezyjnych w określaniu geometrii toru w aspekcie dopuszczalnych prędkości pociągów. *Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria : Materiały Konferencyjne* (Zakopane, 02-04.12.2009). Kraków, 2009. Nr 91, z. 149. s. 567–581.
14. Koc W. Analysis of the Effectiveness of Determining the Horizontal Curvature of a Track Axis Using a Moving Chord. *Problemy Kolejnictwa – Railway Reports*. 2021. Vol. 65. Iss. 190. P. 77–86.
15. Koc W. The method of determining horizontal curvature in geometrical layouts of railway track with the use of moving chord. *Archives of Civil Engineering*. 2020. Vol. 66. Iss. 4. P. 579–591.
16. Koc W. New transition curve adapted to railway operational requirements. *Journal of Surveying Engineering*. 2019. Vol. 145. Iss. 3. P. 04019009-1–04019009-11.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)su.1943-5428.0000284](https://doi.org/10.1061/(asce)su.1943-5428.0000284)
17. Kurhan D., Havrylov M. Mathematical Support of Machine Surfacing for the Railway Track. *Acta Technica Jaurinensis*. 2020. Vol. 13, № 3. P. 246–267. DOI: <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.v13.n3.556>
18. Lebid I., Kravchenya I., Dubrovskaya T., Luzhanska N., Berezovyi M., Demchenko Y. Identification of the railway reconstruction parameters at imposition of high speed traffic on the existing lines. *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 294. P. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929405003>
19. Pshinko O., Kurhan M., Patlasov O. Основные направления развития транспортной инфраструктуры при внедрении скоростного движения на железных дорогах Украины. *Proceedings of the V Georgian-Polish International Scientific-Technical Conference «Transport Bridge Europe-Asia»*. (Kutaisi, oct. 15–17 2019). Kutaisi, 2019. С. 85–90.
20. Sasidharan M., Burrow M., Ghataora G., Marathu R. A risk-informed decision support tool for the strategic asset management of railway track infrastructure. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F : Journal of Rail and Rapid Transit*. 2022. Vol. 236. Iss. 2. P. 183–187.
DOI: <https://doi.org/10.1177/09544097211038373>
21. Shvets A. O., Bolotov O. V., Percevoj A. K., Ghlukhov V. V., Bolotov O. O., Saparova L. S. Research of dynamic indicators and influence of different types of rolling stock on railway track. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 985. P. 1–10.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/985/1/012010>

M. B. KURHAN^{1*}, D. M. KURHAN², S. Y. BAIDAK³, N. P. KHMELEVSKA⁴, R. B. NOVIK⁵

^{1*}Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail kunibor@gmail.com, ORCID 0000-0002-8182-7709

²Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail kurhan.d@gmail.com, ORCID 0000-0002-9448-5269

³Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail baydak86@ukr.net, ORCID 0000-0002-7909-8527

⁴Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail hmelevnela@gmail.com, ORCID 0000-0002-2360-8671

⁵Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail rus.novik.1980@gmail.com, ORCID 0000-0002-2571-6641

Reduction of Railway Disorders Intensity Due to Improvement of Line Plan Parameters During Passportization of Curves

Purpose. The work is aimed to reduce the intensity of the track disorder by improving the line plan parameters, ultimately ensuring the safety, smoothness and comfort of driving in the directions of high-speed train traffic. **Methodology.** To obtain initial data on the parameters of the plan of existing railways, the authors reviewed the world literature on the topic of the study, as well as monitored the railway track operation on the basis of technical passports of track distances. It is known that the accepted mathematical models of the existing plan use the assumption that three adjacent points of the curve lie on a circle. On this principle, the work of flattener machine for switches is based. As a result of corrective works to reduce the amount of shifts, the curve does not correspond to the initial passport data. The methodology involves the analysis and systematization of data to establish appropriate dependencies and build graphs. **Findings.** Inaccurate determination of the curve parameters results in unjustified speed restrictions on or large volumes of flattening works. Therefore, the proposals have been developed to reduce the intensity of track disorders

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

by bringing the curve parameters to the regulatory requirements in force in Ukraine in the areas of high-speed train traffic. They follow from the analysis of the method of shooting curves used in track distances. The influence of accuracy of the obtained data on the establishment of the curve parameters and the permissible train speeds is identified. The recommendations received in the work will contribute to the effectiveness of design decisions, will determine the quality of the railway reconstruction project. **Originality.** Scientific approaches to estimating the state of curves, determining their rational parameters and permissible speed in the areas of high-speed train traffic in Ukraine have been further developed. **Practical value.** The obtained results will be useful for measures to improve the smoothness of train movement, increasing the speed and comfort of driving in the curved track sections, especially in the areas of high-speed train traffic.

Keywords: high-speed train traffic; methods of shooting curves; curve parameters; measurement errors; permissible train speed; driving smoothness; ride comfort

REFERENCES

1. Babenko, A. I., Kurhan, D. M., & Cherniakov, M. M. (2012). Vstanovlennia dopustymoi shvydkosti na skladnykh diliankakh planu zaliznytsi z urakhuvanniam komfortabelnosti yizdy. *Transport Systems and Technologies*, 21, 9-15. (in Ukrainian)
2. Baidak, S. Yu. (2020). *Rational Curves Parameters for the Introduction of High-Speed Train Traffic* (Extended abstract of PhD dissertation). Dnipro. (in Ukrainian)
3. Danylenko, E. I., Orlovskiy, A. M., Kurhan, M. B., & Yakovliev, V. O. (2012). *Instruktsiia z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznytsi Ukrainy: CP-0269*. Kyiv: TOV «NVP Polihrafservis». (in Ukrainian)
4. Korzhenevych, I. P. (2007). New possibilities for designing plan redevelopment and correction of curves when using the program RWPlan 1.2. *Railway transport of Ukraine*, 5, 79-82. (in Ukrainian)
5. Kurhan, M. B., Kurhan, D. M., Baidak, S. Yu., & Khmelevska, N. P. (2017). Investigation of the influence of the state of the railway track in terms of softness and safety of trains. *Electromagnetic Compatibility and Safety on Railway Transport*, 14, 94-101. DOI: <https://doi.org/10.15802/ecsrt2017/137797> (in Ukrainian)
6. Kurhan, M. B., & Kurhan, D. M. (2016). *Teoretychni osnovy vprovadzhennia vysokoshvydkisnoho rukhu poizdiv v Ukraini: monohrafiia*. Dnipro. (in Ukrainian)
7. Kurhan, M. B., Baidak, S. Yu., & Khmelevska, N. P. (2014). Methodology of determination of admissible speeds of train movement on difficult sections of railroad plan. *Science and Transport Progress*, 2(50), 83-94. (in Ukrainian)
8. Kurhan, M. B., Kurhan, D. M., Baidak, S. Yu., & Khmelevska, N. P. (2018). Research of railway track parameters in the plan based on the different methods of survey. *Science and Transport Progress*, 2(74), 77-86. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/129585>. (in Ukrainian)
9. *Polozhennia pro provedennia planovo-zapobizhnykh remontno-koliinykh robit na zaliznytsiakh Ukrainy*, 45 TsP-0287 (2015). (in Ukrainian)
10. *Pravyla vyznachennja pidvyshchennja zovnishnoji rejky i vstanovlennja dopustymykh shvydkostej v kryv-ykhdiljankakh koliji*, 52 TsP-0236 (2011). (in Ukrainian)
11. Fischer, S. (2009). Comparison of railway track transition curves. *Pollack Periodica*, 4(3), 99-110. (in English)
12. Fischer, S. (2022). Investigation of the Horizontal Track Geometry regarding Geogrid Reinforcement under Ballast. *Acta Polytechnica Hungarica*, 19(3), 89-101. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.19.3.2022.3.8> (in English)
13. Jamka, M., Lisowski, S., & Strach, M. (2009). Application of modern geodesic technologies in determining the track geometry in the aspect of permissible train speeds. In *Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inzynierow i Technikow Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddzial w Krakowie, seria: Materiały Konferencyjne* (Nr 91, z. 149. s. 567-581). Zakopane, Poland. (in Polish)
14. Koc, W. (2021). Analysis of the Effectiveness of Determining the Horizontal Curvature of a Track Axis Using a Moving Chord. *Problemy Kolejnictwa – Railway Reports*, 65(190), 77-86. (in English)
15. Koc, W. (2020). The method of determining horizontal curvature in geometrical layouts of railway track with the use of moving chord. *Archives of Civil Engineering*, 66(4), 579-591. (in English)
16. Koc, W. (2019). New transition curve adapted to railway operational requirements. *Journal of Surveying Engineering*, 145(3), 04019009-1-04019009-11. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)su.1943-5428.0000284](https://doi.org/10.1061/(asce)su.1943-5428.0000284) (in English)
17. Kurhan, D., & Havrylov, M. (2020). Mathematical Support of Machine Surfacing for the Railway Track. *Acta Technica Jaurinensis*, 13(30), 246-267. DOI: <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.v13.n3.556> (in English)

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

18. Lebid, I., Kravchenya, I., Dubrovskaya, T., Luzhanska, N., Berezovyi, M., & Demchenko, Y. (2019). Identification of the railway reconstruction parameters at imposition of high speed traffic on the existing lines. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 294, pp. 1-7). DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929405003> (in English)
19. Pshinko, O., Kurhan, M., & Patlasov, O. (2019). Osnovnyie napravleniya razvitiya transportnoy infrastrukturyi pri vnedrenii skorostnogo dvizheniya na zheleznyih dorogah Ukrainyi. In *Proceedings of the V Georgian-Polish International Scientific-Technical Conference «Transport Bridge Europe-Asia»* (pp. 85-90). Kutaisi, Georgia. (in Russian)
20. Sasidharan, M., Burrow, M., Ghataora, G., & Marathu, R. (2022). A risk-informed decision support tool for the strategic asset management of railway track infrastructure. In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit* (Vol. 236, Iss. 2, pp. 183-187). DOI: <https://doi.org/10.1177/09544097211038373> (in English)
21. Shvets, A. O., Bolotov, O. V., Percevoj, A. K., Ghlukhov, V. V., Bolotov, O. O., & Saparova, L. S. (2020). Research of dynamic indicators and influence of different types of rolling stock on railway track. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 985, Iss. 1, pp. 1-10). DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/985/1/012010> (in English)

Надійшла до редколегії: 11.08.2021

Прийнята до друку: 10.12.2021

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

УДК 004.42:004.92

О. В. ГОРБОВА^{1*}, О. А. СИРОТА^{2*}

^{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 alexandra.gorbova@gmail.com, ORCID 0000-0002-5612-2715

^{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 sirotaalexandr30@gmail.com, ORCID 0000-0001-7391-2471

Дослідження наслідків використання патернів і загальноприйнятих підходів у побудові архітектури кросплатформних додатків

Мета. У наш час, коли важко уявити людину, яка не користувалась би смартфоном, основним напрямком при створенні багатьох додатків є саме такі операційні системи як iOS та Android. Одним із невід'ємних етапів життєвого циклу кросплатформних додатків для iOS та Android є побудова архітектури. Важливо не тільки вміти будувати архітектуру, використовуючи відомі «інструменти», але й розуміти, у якій мірі це повинно бути реалізовано і який вплив це матиме на програмний продукт у подальшому. Основна мета роботи полягає в аналізі підходів до розробки з надмірним або недостатнім використанням принципів і шаблонів проектування, а також аналіз результатів кінцевого продукту, кросплатформного програмного забезпечення для операційних систем iOS та Android. **Методика.** Для поліпшення наявних програмних засобів спроектовано та реалізовано статичний аналізатор, який орієнтовано на опрацювання архітектури в програмних засобах різного розміру та типу. Для створення програмного продукту було використано лише такі шаблони й підходи проектування, які дозволили реалізувати необхідний функціонал, не ускладнюючи систему, та гарантувати легку підтримку, тестування й розширення функціоналу в разі необхідності. **Результати.** Під час проведення експериментів було виявлено, що в ході проектування кросплатформного програмного забезпечення для операційних систем iOS та Android спостерігається не лише нехтування патернами та загальноприйнятими підходами проектування, але й надмірне їх використання. Це ускладнює розробку, розширення, підтримку та тестування програмних засобів. **Наукова новизна.** Визначено необхідну міру та наслідки використання шаблонів проектування, з'ясовано їхню користь та наведено приклади використання патернів і підходів у проектуванні кросплатформних додатків. Уперше було проведено аналіз необхідної міри використання шаблонів проектування у різних за розміром та призначенням мобільних додатках. **Практична значимість.** Результати роботи дозволять програмісту краще розуміти, як проектувати додатки для операційних систем iOS та Android, за яких умов застосувати відомі шаблони проектування. Отримана інформація може бути використана викладачами закладів вищої освіти для наведення практичних прикладів та демонстрації здобувачам під час виконання практичних робіт, а також програмістами в реальних комерційних проєктах.

Ключові слова: патерн; кросплатформний додаток; операційні системи iOS та Android; проектування програмного забезпечення; аналіз програмного коду

Вступ

Загальноприйнятими підходами в побудові програмних додатків слід вважати принципи та рекомендації побудови архітектури, які багаторазово перевірені на практиці та зарекоменду-

вали себе як спосіб поліпшення програмного забезпечення на різних етапах життєвого циклу. У галузі розробки мобільних додатків або інших продуктів патерном, або шаблоном проектування (Design Pattern), називають уже

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

знайдений розв'язок задачі, що досить часто зустрічається на практиці. У програмній інженерії шаблон проектування є загальним повторюваним рішенням поширеної проблеми в розробці програмного забезпечення. Шаблон дизайну – це не готовий дизайн, який можна перетворити безпосередньо в код, а опис, або шаблон, для вирішення проблеми, який можна використовувати в різних ситуаціях [8].

Основна ідея використання патернів полягає у створенні ієрархії класів певного виду під час розв'язання певної задачі. Також потрібно сказати, що застосування патернів або загальноприйнятих підходів не «прив'язується» до конкретної мови програмування, яку використовують, а і підтримується всіма об'єктно-орієнтованими мовами. Основними причинами широкого використання різних шаблонів є такі:

- з'являється можливість для повторного використання коду (code reuse) у цьому ж або іншому програмному додатку;

- є змога легко супроводжувати продукт і додавати, змінювати або видаляти різні частини незалежно одна від одної з мінімальними витратами в часі, кількості розробників та з мінімальною складністю;

- полегшення комунікації розробників завдяки абстракціям, які вносять патерни [8];

- підтримання можливості легко та швидко редагувати всю систему в цілому.

Фабричний метод (Factory Method) – шаблон, який надає можливість дочірнім класам створювати екземпляри певного класу за допомогою абстрактного інтерфейсу, що дозволяє використовувати абстракцію замість конкретної реалізації деяких сутностей.

Принцип SOLID – це список шаблонів або принципів дизайну програмного забезпечення в об'єктно-орієнтованому програмуванні:

- S – принцип єдиної відповідальності (англ. single responsibility principle) свідчить про те, що кожен модуль повинен мати лише одну відповідальність;

- O – принцип відкритості – закритості (англ. open-closed principle) – програмні сутності повинні бути відкриті для розширення і закриті для модифікації;

- L – принцип підстановки Барбара Лісков (англ. Liskov substitution) – підкласи можуть

виступати заміною для суперкласів без порушень роботи програми;

- I – принцип розподілу інтерфейсів (англ. interface segregation principle) – декілька вузько-направлених інтерфейсів краще, ніж один універсальний;

- D – принцип інверсії залежностей (англ. dependency inversion principle) – залежності між модулями програми повинні будуватися на основі абстракцій та уникати залежностей від конкретної реалізації.

Дотримання цих принципів дозволяє спроектувати таку систему, яку в подальшому буде легко змінювати, розширювати та підтримувати [3, 7].

KISS-принцип (KISS (Keep it short and simple) principle) – принцип проектування, який свідчить про те, що програмна система буде працювати краще, якщо буде залишатися максимально простою, а не ускладнюватись [10].

Medium – це швидка та проста в обігу блог-платформа від творців Blogger і Twitter. Місце, де своїми думками діляться користувачі (як у Twitter) та сам Medium (подібно до BuzzFeed). На тему розробки мобільних додатків під платформи iOS та Android написано безліч статей, бо досить велика частина аудиторії – це розробники програмного забезпечення зі знанням різних технологій та різним рівнем досвіду. Інформація, яку пропонують автори цієї платформи, покриває широкий спектр запитань, із якими інший розробник потрапляє на неї. В основному це новини зі світу розробки мобільних додатків, опис нового функціоналу, який був реалізований у новій версії фреймворку, стислий переказ офіційної документації, приклади використання тієї чи іншої бібліотеки, приклади реалізації різного функціоналу, і звичайно, статті на тему конструювання архітектури, огляд патернів та загальноприйнятих підходів під час конструювання крос-платформних мобільних додатків [2].

Stack Overflow – система запитань і відповідей про програмування, розроблена Джоелем Спольскі та Джеффом Етвудом (англ.) у 2008 році. Перевагою джерела є наявність у базі знань інформації не тільки про специфічні помилки, що призводять до збоїв в роботі на певній платформі, наприклад Android, а й пояс-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

нення патернів, приклади та ситуації необхідності їх використання, наслідки. І навіть якщо щось не вдалося знайти, то можна ввести запитання й отримати на нього відповідь із поясненнями та посиланнями на інші літературні джерела.

Наbr – вебсайт у форматі системи тематичних колективних блогів (іменованих хабами) з елементами новинного сайту, створений для публікації новин, аналітичних статей, думок, пов'язаних з інформаційними технологіями, бізнесом та інтернетом [11]. Більшість статей на тему розробки програмного забезпечення досить об'ємні та містять багато інформації, яка базується на інших літературних джерелах, таких як книги, офіційна документація, інші статті та власний досвід.

Крім цього, існує багато офіційних джерел з офіційною документацією, одним із них є сервіс від компанії Microsoft.

Бібліотека MSDN (англ. MSDN Library) – бібліотека офіційної технічної документації для розробників під ОС Microsoft Windows. Бібліотека також містить інформацію про патерни проектування. Викладення інформації високого рівня доповнено схемами, прикладами коду, детальним поясненням, за що відповідає той чи інший компонент в реалізації, нотатками з порадами та попередженнями про типові помилки. Також надано детальне пояснення, навіщо взагалі використовувати патерн, про який іде мова в документації, та з яких сутностей буде складатися проєкт у разі його реалізації.

Під час ознайомлення з пропонованою інформацією можна дізнатися дуже багато про патерни та загальні підходи щодо побудови кросплатформних мобільних додатків, побачити різні приклади їх реалізації тощо. Майже вся інформація – це переказ якоїсь частини книги з накладанням певного досвіду.

Усі літературні ресурси поєднує те, що більшість інформації припадає на пояснення шаблону, його реалізації та прикладів самої реалізації, і досить мала частка припадає на пояснення ситуацій, коли, в якій мірі необхідно використовувати і чи потрібно взагалі використовувати той чи інший патерн/підхід, у проєкті якого розміру чи типу, із яким функціоналом, бюджетом, замовником.

У результаті оцінки програмних продуктів, орієнтованих на аналіз архітектури, наявності реалізації патернів, якості цієї реалізації та використання загальноприйнятих підходів у певному проєкті стає зрозуміло, що більшість програмних аналогів займаються пошуком програмних помилок, і лише декілька надають функціонал для перевірки архітектурної складової та є платними. Досить часто аналіз архітектури не автоматизовано.

Досить важко з упевненістю сказати, що аналізатор будуть використовувати в невеликих компаніях і в невеликих проєктах, бо з фінансової точки зору це дорогий процес, а безкоштовні версії являють собою недостатній набір функцій та обмежені в часі використання. Крім того, усі виявлені проблеми є можливими, а не точними. Це свідчить про те, що цей інструмент не гарантує точно, чи є ця помилка в коді насправді проблемою, тому часто результат аналізу коду є помилковим.

Перевагами статичного аналізу коду є відсутність потреби в астрономічних прогонах програм за різних умов функціонування та можливість домогтися більшої міри автоматизації перевірок на наявність дефектів програм за їх конструктивними ознаками [1].

Мета

Основною метою цієї статті є створення методики, за допомогою якої можна виконати аналіз підходів до розробки з надмірним або недостатнім використанням принципів і шаблонів проектування, а також проаналізувати результати кінцевого продукту, кросплатформного програмного забезпечення для операційних систем iOS та Android, їх вплив на складність розуміння реалізації, існування, функціонування, підтримку та розширення можливостей програмного продукту з точки зору розробника.

Дослідження проведено в рамках магістерської роботи [5].

Методика

Задачею експериментального методу дослідження є доведення або спростування гіпотези про те, що архітектура кросплатформного до-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

датку, яка розроблена з надмірним застосуванням патернів і загальноприйнятих підходів проєктування, має не менш негативні наслідки щодо підтримки, розширення, повторного використання окремих модулів, вартості мобільного додатку, ніж архітектура, розроблена з нехтуванням необхідних патернів і принципів проєктування.

Під час розробки алгоритму використовують тенденції, методики, методи та підходи в сукупності. Виходячи з того, що для доведення чи спростування гіпотези необхідно розробити алгоритм для аналізу архітектури програмного забезпечення, слід приділити увагу наявним методам і підходам.

Аналіз архітектури додатків – критично важлива задача, оскільки дозволяє скоротити витрати на виправлення помилок, якомога раніше виявити та виправити можливі проблеми. Аналіз архітектури виконують часто після завершення основних етапів проєкту та у відповідь на істотні зміни в архітектурі.

Хоча архітектура програмного забезпечення є досить поширеною темою дослідження в останні роки, недостатньо уваги приділено методам оцінки архітектури. Оцінити архітектуру складно з двох основних причин:

- 1) не існує спільної мови для опису різних архітектур;

- 2) немає чіткого способу розуміння архітектури щодо проблем якості програмного забезпечення, таких як ремонтпридатність, переносимість, модульність, можливість повторного використання тощо.

Основна задача аналізу архітектури – підтвердження відповідності базової архітектури та її можливих варіантів, а також перевірка відповідності запропонованих технічних рішень функціональним вимогам та параметрам якості. Крім того, аналіз допомагає виявити проблеми й області, які потребують виправлень або доопрацювань [1].

Оцінка на основі сценаріїв – це потужний метод аналізу дизайну архітектури. За такого оцінювання основну увагу спрямовано на найважливіші з точки зору бізнесу сценарії, а також на ті, що мають великий вплив на архітектуру. Розглянемо типові методи [1].

Метод аналізу архітектури програмного забезпечення SAAM (Software Architecture Analysis Method) використовують для визначення того, як були досягнуті конкретні атрибути якості програми та як можливі зміни в майбутньому вплинуть на атрибути якості на основі гіпотетичних ситуацій. Загальні атрибути якості, які можна використовувати за допомогою цього методу, включають можливість модифікації, надійність, переносимість і розширюваність [1, 4].

Метод аналізу архітектури програмного забезпечення SAAM можна застосувати для двох різних аналізів: для порівняння двох або більше варіантів дизайну, щоб зрозуміти, який із них відповідає вимогам до якості краще; для оцінки дизайну, щоб виявити місця, де архітектура не відповідає вимогам до якості [4].

Атрибут «Можливість модифікації програми» (англ. Application Modifiability) вказує на те, наскільки легко можна змінити систему в майбутньому. Для того щоб SAAM можна було належним чином застосувати для перевірки цього атрибута, необхідно створити конкретні гіпотетичні приклади. Такими є заміна модуля для оплати продуктів або додавання додаткового виду платежу в мобільному додатку, що надає змогу проводити покупки онлайн. Суть цього атрибута якості має спільні риси з принципами SOLID [4].

Атрибут якості «Надійність застосування» (англ. Application Robustness) стосується до того, як програма справляється з несподіваними процесами.

Атрибут якості «Переносимість програми» (англ. Application Portability) стосується до простоти перенесення програми для запуску в новій операційній системі або на новому пристрої. Наприклад, набагато простіше змінити вебсайт ASP.net, щоб він був доступним для Windows, Mac, iPhone, Android порівняно з настільною програмою, написаною VB.net, тому що знадобилося б провести набагато більше роботи, щоб довести програму до стану, коли її можна буде використовувати на різних платформах. Цей атрибут якості повинен бути оцінений на основі кожного нового середовища, для якого проведено гіпотетичне дослідження.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Особливої уваги потребують:

- питання портативності;
- апаратні залежності;
- залежності операційної системи;
- залежність від джерела даних;
- залежність від доступу до мережі [1].

Атрибут якості «Розширюваність програми» (англ. Application Extensibility) стосується простоти додавання нових функцій до наявної програми без впливу на наявну функціональність. Аспекти, що впливають на цей атрибут якості, – це наявність жорстко закодованих змінних, наявність документації програмного продукту, використання принципів SOLID [1].

Метод аналізу архітектурних компромісів АТАМ (англ. Architecture Tradeoff Analysis) – це доопрацьована та поліпшена версія SAAM, яка дозволяє переглядати архітектурні рішення щодо вимог параметрів якості та того, наскільки добре ці рішення відповідають конкретним цільовим показникам якості. АТАМ є найбільш корисним, коли використовується на ранніх етапах життєвого циклу програмного забезпечення, коли вартість змін в архітектурі є мінімальною. Схематичне зображення цього методу показано на рис. 1 [1, 15].

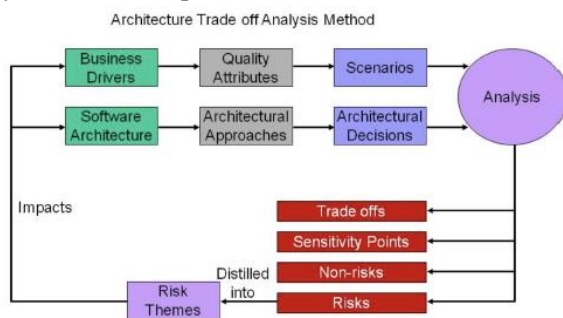


Рис. 1. Схема методу аналізу архітектурних компромісів

Fig. 1. Scheme of the method of architectural compromise analysis

Переваги використання методу аналізу архітектурних компромісів:

- виявлення ризиків на початку життєвого циклу;
- наявність конкретних вимог до атрибутів якості;
- поліпшена архітектурна документація;
- документована основа архітектурних рішень.

Процес АТАМ складається зі збору зацікавлених сторін для аналізу бізнес-драйверів (функціональність системи, цілей, обмежень, бажаних нефункціональних властивостей) і вилучення з цих драйверів атрибутів якості, які використовують для створення сценаріїв. Ці сценарії потім використовують у поєднанні з архітектурними підходами та архітектурними рішеннями для створення аналізу компромісів, точок чутливості та ризиків (або не-ризиків). Цей аналіз можна перетворити на теми ризику та їх вплив, після чого процес можна повторити. Із кожним циклом процес аналізу переходить від більш загального до більш конкретного, вивчаючи питання, які були виявлені в попередньому циклі, до тих пір, поки архітектура не буде точно налаштована і не будуть розглянуті теми ризику [12].

Метод аналізу рентабельності СВМ (англ. Cost Benefit Analysis Method) основну увагу приділяє аналізу витрат, вигод та планування наслідків архітектурних рішень.

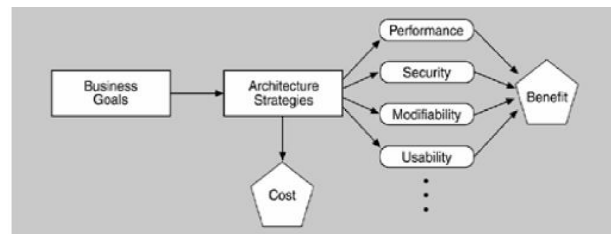


Рис. 2. Складові методу аналізу рентабельності

Fig. 2. Components of the method of profitability analysis

Метод оцінки сімейства архітектур FAAM (англ. Family Architecture Assessment Method) оцінює архітектури сімейства інформаційних систем щодо можливості взаємодії та розширюваності [1].

Аналіз модифікованості лише на рівні архітектури ALMA (англ. Architecture Level Modifiability Analysis) оцінює модифікованість архітектури для систем бізнес-аналітики (англ. business information systems, BIS) [1].

Для формалізації задачі була розроблена діаграма варіантів використання, на якій відображено можливі варіанти використання системи актором, що представляє користувача. Варіанти використання системи показані на рис. 3.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

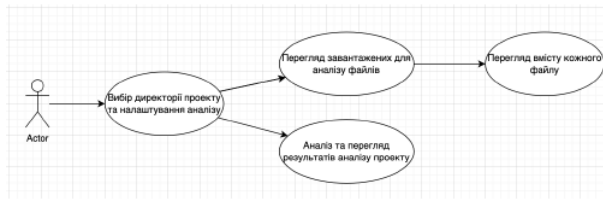


Рис. 3. Схема варіантів використання

Fig. 3. Scheme of variants of use

Під час проєктування інструментального забезпечення було використано шаблон MVVM – «Модель – вигляд – стосується Модель вигляду» (англ. Model-View-ViewModel), які використовують для розподілу архітектури програмного забезпечення «Static architecture analyzer» на три рівні. Схему розподілу зображено на рис. 4.

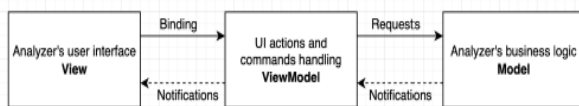


Рис. 4. Схема архітектури «Static architecture analyzer» за патерном MVVM

Fig. 4. Static architecture analyzer scheme according to the MVVM pattern

Розподіл архітектури на три рівні дозволяє визначити обов'язки кожного модуля, надає можливість паралельної розробки модулів незалежно один від одного, а також полегшує процес тестування, бо кожен із модулів може бути протестовано окремо один від одного. У свою чергу модулі патерну MVVM містять функціональність за типом «Модель» (Model) Модулі за таким типом представляють бізнес-логіку проєкту та моделі даних, які використовує бізнес-логіка проєкту. Ці моделі даних можуть бути збережені в базі даних, використовуватися для обміну даними між сервісами або можуть бути надані рівню ViewModel як результат якоїсь операції. Бізнес логіка на рівні – «Модель» поділяється на сервіси, які є підмодулями з реалізацією певного функціоналу. Прикладом може бути сервіс із реалізації CRUD (Create-Read-Update-Delete) – операцій із

замітками користувача, результатом виконання яких буде модель «Нотатка». У шаблоні MVVM залежність рівнів між собою однонаправлена, тобто влаштована так, що «Модель вигляду» має залежність від «Моделі», а «Модель», у свою чергу, немає залежності від жодного з рівнів. На рівні «Модель» недопустимо описувати логіку інтерфейсу користувача або логіку взаємодії з ним [11].

«Вигляд» (View) описує реалізацію інтерфейсу користувача (англ. User Interface). Це може бути сторінка мобільного, десктопного або вебдодатку.

Рівень інтерфейсу користувача часто поділяється на підмодулі, залежить від рівня «Модель вигляду», але не повинен реалізовувати бізнес-логіку чи логіку щодо роботи з даними [12].

«Модель вигляду» (англ. ViewModel) займається обробкою команд від інтерфейсу користувача та запитами до рівня «Модель», щоб потім отримані дані були відображені на рівні «Вигляд». Цей компонент є мостом між рівнем представлення даних та роботою з ними. Передача інформації до інтерфейсу користувача реалізується завдяки механізму зв'язування (англ. Binding). Цей рівень не повинен містити реалізації роботи з даними [10].

Під час розробки статичного аналізатора було застосовано об'єктно-орієнтовану мову програмування C# та мову розмітки для додатків XAML. XAML дозволяє розробникам визначати інтерфейси користувача в програмах Xamarin.Forms, використовуючи розмітку, а не код. Додатки Xamarin.Forms можуть бути розроблені і без застосування XAML, але вона часто є більш стислою і візуально узгодженою, ніж еквівалентний код. Ця мова добре підходить для використання з популярним архітектурним патерном MVVM (Model-View-ViewModel): за допомогою XAML реалізується View-рівень, який пов'язаний із кодом рівня ViewModel через прив'язки даних.

Проектування системи відбувалось за допомогою створення діаграми класів. Взаємодія різних рівнів показана на рис. 5.

[illegible]

Fig. 5. Interaction between the levels ViewModel and View

дозволяють під час опису залежностей між модулями абстрагуватися завдяки використанню базової моделі – суперкласу, замість використання конкретної [9].

На базі розглянутих методів було спроектовано та реалізовано статичний аналізатор, який орієнтовано на опрацювання архітектури в програмних засобах різного розміру та типу. Для створення програмного продукту було використано лише необхідні шаблони та підходи проєктування, що дозволило реалізувати необхідний функціонал, не ускладнити систему та гарантувати легку підтримку, тестування й розширення функціоналу за необхідності.

Невід'ємною частиною будь-якого експерименту є етап підготовки даних, які використовують відповідно до предметної галузі дослідження. У нашій роботі вхідними даними є набір проєктів реалізації деяких кросплатформних програмних продуктів для операційних систем Android та iOS. Приклад структури одного з проєктів наведено на рис. 6. Фактичний розмір S кожного проєкту на етапі аналізу оцінено згідно з моделлю COCOMO в рядках коду KLOC.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Розмір проєктів, що будуть використані як вхідні дані для експериментів:

- 1) KLOC першого проєкту дорівнює 4 270 рядків;
- 2) KLOC другого становить 3 710 рядків;
- 3) KLOC третього – 3 674 рядки;
- 4) KLOC четвертого складає 2 425;
- 5) KLOC четвертого – 4 303.

Усі вони реалізовані об'єктно-орієнтованою мовою програмування C# та з використанням фреймворку Xamarin.Forms, що має необхідність реалізувати патерн MVVM.

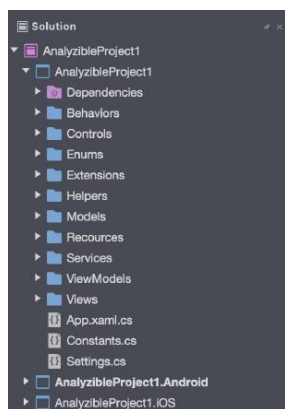


Рис. 6. Типова структура проєкту, що використовується як вхідні дані

Fig. 6. Typical project structure used as input data

Суть проведення експерименту полягає в аналізі архітектури різних кросплатформних проєктів за допомогою статичного аналізатора коду з використанням підготовлених вхідних даних та подальшим аналізом результатів цього експерименту. Проведення експерименту складається з таких дій:

- 1) запуск статичного аналізатора (рис. 7);
- 2) вказання директорії проєкту, що потрібно проаналізувати;
- 3) проведення додаткового налаштування аналізатора;
- 4) перегляд результатів аналізу архітектури проєкту (рис. 8).

Оскільки результатами аналізу є файли з основними й додатковими даними, а також візуальне їх представлення, то результати першого та всіх наступних експериментів буде представлено на рисунках та у вигляді двох таблиць з основними результатами аналізу й додатковими.

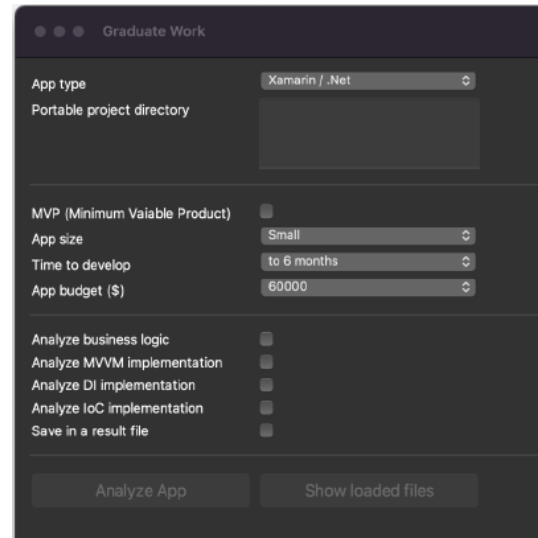


Рис. 7. Екранна форма статичного аналізатора

Fig. 7. Screen form of the static analyzer

View	Has References	Has Binded Props	ViewModel	Has references	Is bindable
MapPageView.xaml	True	True	MapPageViewModel.cs	True	True
ScanQRPageView.xaml	True	True	ScanQRPageViewModel.cs	True	True
RegistrationPageView.xaml	True	True	RegistrationPageViewModel.cs	True	True
LoginPageView.xaml	True	True	LoginPageViewModel.cs	True	True
MainTabPageView.xaml	True	True	MainTabPageViewModel.cs	False	True
PinListPageView.xaml	True	True	PinListPageViewModel.cs	True	True
AddPinModelView.xaml	True	True	AddPinModelViewModel.cs	True	True
PinModelView.xaml	True	True	PinModelViewModel.cs	True	True
QRCodeModelView.xaml	True	True	QRCodeModelViewModel.cs	True	True
SetPinModificationModelView.xaml	True	True	SetPinModificationModelViewModel.cs	True	True
Not Found	False	False	PinViewModel.cs	True	True
Not Found	False	False	BaseViewModel.cs	True	True

Total Views Count:	10	Views With Refs:	10	Views Matched With ViewModels:	10
Total ViewModels Count:	10	ViewModels Matched With Views:	10	ViewModels With Refs:	12
				Bindable ViewModels:	13

Рис. 8. Перегляд результатів аналізу архітектури

Fig. 8. Review of the architecture analysis results

У представлений проєктах, із застосуванням розробленого додатку, отримано результати дослідження наслідків використання патернів і загальноприйнятих підходів у побудові архітектури кросплатформних додатків для Android і iOS. Ураховуючи той факт, що патернів проєктування існує велика кількість, аналіз результатів ми провели, базуючись на результатах реалізації патерна MVVM, який є одним із найпоширеніших патернів під час побудови мобільних додатків. У ході аналізу ми знехтували файлами з базовою реалізацією логіки інтерфейсу користувача або базовою реалізацією цього інтерфейсу, бо ці файли в цілому не можуть залежати один від одного.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Із результатів експерименту, де як вхідні дані виступав найменший проєкт із KLOCK, що дорівнює 2 425 рядків коду, можна зробити висновки, що за наявності трьох файлів інтерфейсу користувача та трьох файлів логіки інтерфейсу користувача проєкт реалізує патерн MVVM на 100 %, а файлів, що не використовуються, узагалі немає. Відзначимо що складність підтримки або розширення цього проєкту низька, а отже, і вартість процесу теж не перевищує розумні показники. Проте реалізація патерна займає t год, що залежать від кваліфікації розробника, а у разі нехтування його реалізації час на розробку проєкту зменшується на ті ж самі t год, що певною мірою знижує його вартість. Та насправді ціна проєкту лише зростає через те, що процес підтримки стане набагато складнішим із плином часу, якщо програмний продукт планують розвивати в майбутньому. Станеться це тому, що зі зростанням кількості сутностей програмний код буде ускладнюватися, у результаті модулі буде майже неможливо протестувати або розширити незалежно один від одного. Зростання кількості помилок заважатиме реалізації нового функціоналу, а вартість збільшуватиметься з кожною новою задачею.

За результатами експериментів, для яких були використані проєкти середнього розміру з KLOCK, що дорівнює рівним 3 710 та 3 674 рядки видно що в другому проєкті патерн реалізовано приблизно на 80–90 %, бо деякі з файлів інтерфейсу та логіки інтерфейсу користувача не зв'язані між собою за механізмом прив'язки. Третій проєкт реалізує шаблон MVVM на 100 %. Як і в попередньому випадку, такий відсоток дає гарантію того, що складність підтримки продукту та його вартість буде невеликою навіть у разі росту проєкту.

З аналізу результатів першого та п'ятого експериментів, де вхідними даними були проєкти найбільшого розміру з показниками KLOCK 4 720 та 4 303 рядки вихідного коду, видно, що для першого проєкту патерн MVVM реалізовано приблизно на 0 %, тобто не реалізовано взагалі. Із результатів попередніх експериментів відразу стає зрозуміло, що складність розширення та підтримки цього програмного продукту буде досить швидко зростати, збільшуючи вартість розробки. Якщо не провести

рефакторинг, то це може завдати великих збитків або навіть спричинити провал ідеї та роботи компанії. У випадку з п'ятим проєктом патерн реалізовано на 100 %, що на перший погляд спрощує етапи тестування, підтримки та розширення функціоналу програмного додатку. Але з розмірів проєкту та можливого його росту в майбутньому неважко зрозуміти, що і кількість сутностей зростатиме. Цей факт буде ускладнювати процес розробки, адже сутності в проєкті утворюють граф залежностей одна від одної, і чим він більший, тим складніше розробнику тримати його в пам'яті під час роботи над проєктом. Щонайменше це призведе до більших часових витрат. Також це може стати основою для майбутніх помилок на етапі розробки програмного засобу.

На практиці великі проєкти реалізують не один патерн або архітектурний підхід, що збільшує складність на всіх етапах розробки. З отриманих результатів випливають такі тенденції:

- зменшення вартості продукту шляхом зменшення необхідного часу на його розробку за рахунок нехтування патернами проєктування – насправді лише ілюзія. У майбутньому складність розробки буде збільшуватися в геометричній прогресії, що, без сумніву вплине на його вартість в гіршу сторону;

- зменшення вартості проєкту за рахунок зменшення необхідного часу на розробку за умови нехтування реалізацією певного патерна можна допускати лише в тому разі, коли проєкт на планують підтримувати та супроводжувати в майбутньому. Прикладом такої ситуації може бути розробка MVP–додатку. Найчастіше це трапляється на проєктах невеликого розміру;

- реалізація шаблонів проєктування може спрощувати процес підтримки програмного засобу та утримувати вартість цього процесу на адекватному рівні в майбутньому;

- збільшення кількості реалізованих патернів та архітектурних підходів у проєкті з часом ускладнює його розуміння, сповільнює розробку та слугує основою для подальших помилок у функціоналі, що також призводить до збільшення його вартості. Бажання покращити архітектуру завдяки імплементації додаткового шаблону може призвести до його погіршення.

**Наукова новизна та практична
значимість**

У роботі вперше створено метод та інструменту для визначення наслідків використання шаблонів, з'ясовано їхню користь, наведено приклади використання патернів та підходів у побудові кросплатформних застосунків під час реалізації проєктів різного масштабу та з різною функціональністю. Уперше проведено аналіз необхідної міри використання шаблонів проєктування у різних за розміром та призначенням мобільних додатках.

Висновки

У результаті досліджень було виявлено, що не лише нехтування патернами та загальноприйнятими підходами проєктування, але й надмірне їх використання ускладнює розробку, розширення, підтримку та тестування програмних засобів. Також це накладає додаткове навантаження на розробників, що призводить до помилок у коді, а в сукупності – до погіршення архітектури проєкту та збільшення його вартості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кудрявцев В. В. *Автоматизована система аналізу програмного коду для оцінки ризиків та забезпечення якості програмного забезпечення* : дипломна робота магістра. Хмельниц. нац. ун-т. Хмельницький, 2021. 122 с.
2. Мнушка О. В., Котенко Б. О., Савченко В. М. Аналіз вимог та розроблення прототипу навчального програмного забезпечення для мобільних платформ. *Вісник ХНАДУ*. 2021. Вип. 92, Т. 1. С. 51–59. DOI: <https://doi.org/10.30977/bul.2219-5548.2021.92.1.51>
3. Мнушка О. В., Савченко В. М., Маций О. Б. *Об'єктно-орієнтоване програмування мовою Python*. Харків : ХНАДУ, 2021. 228 с.
4. *Руководство Microsoft по проектированию архитектуры приложений*. 2009. URL: https://dut.edu.ua/uploads/l_1507_99407341.pdf
5. Сирота О. А. *Дослідження наслідків використання патернів і загальноприйнятих підходів в побудові архітектури крос-платформних додатків під Android і IOS* : дипломна робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра. Укр. держ. ун-т науки і технологій. Дніпро, 2021. 204 с.
6. Alaoui L., Penta A. Cost-Benefit Analysis in Reasoning. *Journal of Political Economy*. 2022. Vol. 130, № 4. P. 881–925. DOI: <https://doi.org/10.1086/718378>
7. Architecture tradeoff analysis method (ATAM). *Concise Software*. URL: <https://concisesoftware.com/architecture-tradeoff-analysis-method-atam>
8. *Architecture tradeoff analysis method*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Architecture_tradeoff_analysis_method
9. Davami F., Adabi S., Rezaee A., Rahmani A. M. Fog-based architecture for scheduling multiple workflows with high availability requirement. *Computing*. 2022. Vol. 104. Iss. 1. P. 169–208. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00607-021-00905-1>
10. Kadri S., Aouag S., Hedjazi D. MS-QuAAF : A generic evaluation framework for monitoring software architecture quality. *Information and Software Technology*. 2021. Vol. 140. P. 106713. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2021.106713>
11. Kumar A., Anand E., Natarajan S., Dandekar A. Architecture Analysis Methods. *Inclose International Symposium*. 2021. Vol. 31. Iss. 1. P. 1377–1392. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2021.00907.x>
12. Kumar A. G. *SOLID Principles Succinctly*. 2016. URI: <https://lib.hpu.edu.vn/handle/123456789/24913>
13. Shahbazi Z., Rasoolzadegan A., Purfallah Z., Jafari Horestani S. A new method for detecting various variants of GoF design patterns using conceptual signatures. *Software Qual J*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11219-021-09576-9>
14. Software Architecture Analysis Method (SAAM). *Dzone*. URL: <https://dzone.com/articles/software-architecture-analysis>
15. Wijerathna L., Aleti A., Bi T., Tang A. Mining and relating design contexts and design patterns from Stack Overflow. *Empirical Software Engineering*. 2022. Vol. 27, № 8. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10664-021-10034-0>

O. V. HORBOVA^{1*}, O. A. SYROTA^{2*}^{1*}Dep. «Computer Information Technologies», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail alexandra.gorbova@gmail.com, ORCID 0000-0002-5612-2715^{2*}Dep. «Computer Information Technologies», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail sirotaalexandr30@gmail.com, ORCID 0000-0001-7391-2471

Research of the Use Consequences of Patterns and Common Approaches in the Architecture Development of Cross-Platform Applications

Purpose. Nowadays, it is difficult to imagine a person who would not use a smartphone. The main direction in creating many applications are such operating systems as iOS and Android. One of the essential stages of the life cycle of cross-platform applications for iOS and Android is building architecture. It is important not only to be able to build an architecture using well-known «tools», but also to understand to which extent this should be implemented and what impact it will have on the software product in the future. The aim of the work is to analyze approaches to development with excessive or insufficient use of design principles and templates, as well as analysis of the results of the final product, cross-platform software for iOS and Android operating systems. **Methodology.** To improve the existing software, a static analyzer has been designed and implemented, which is focused on the development of architecture in software of different sizes and types. Only the necessary templates and design approaches which allowed implementing the necessary functionality without complicating the system and guarantee easy support, testing and extension of functionality if it is needed, were used to create the software product. **Findings.** During the experiments, it was found that when designing cross-platform software for iOS and Android operating systems, not only neglect of patterns and common design approaches, but also their excessive use complicates the development, expansion, maintenance and testing of software. **Originality.** The extent and consequences of using the design templates, the benefits and examples of using the patterns and approaches in the design of cross-platform applications were determined. For the first time, the necessary degree of use of design templates for mobile applications of different sizes and purposes was analyzed. **Practical value.** The results of the work will allow the programmer to better understand the principles of designing the applications for iOS and Android operating systems, as well as the conditions of use of the known design templates. The information obtained can be used by teachers of higher education institutions as a means of providing practical examples and demonstrations for higher education students in performing practical work and programmers on real commercial projects.

Keywords: pattern; cross-platform application; iOS and Android operating systems; software design; program code analysis

REFERENCES

1. Kudryavtsev, V. V. (2021). *An automated system for analyzing the software code for assessing the risks and security of software security*: master degree work. Khmelnytskyi National University. Khmelnytsky, Ukraine. (in Ukrainian)
2. Mnushka, O. V., Kotenko, B. O., & Savchenko, V. M. (2021). Analyzing requirements and developing prototype of training software for mobile. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, 92(1), 51-59. DOI: <https://doi.org/10.30977/bul.2219-5548.2021.92.1.51> (in Ukrainian)
3. Mnushka, O. V., Savchenko, V. M., & Matsyy, O. B. (2021). *Obiektno-orientovane prohramuvannia movoiu Python*. Kharkiv: KhNADU. (in Ukrainian)
4. *Rukovodstvo Microsoft po proektirovaniyu arkhitektury prilozheniy*. (2009). Retrieved from https://dut.edu.ua/uploads/l_1507_99407341.pdf (in Russian)
5. Sirota, O. A. (2021). *Research of the Consequences of using Patterns and Common Approaches in Building the Architecture of Cross-Platform Applications for Android and IOS*: diploma work for obtaining the qualification degree of master. Ukrainian State University of Science and Technologies. Dnipro, Ukraine. (in Ukrainian)
6. Alaoui, L., & Penta A. (2022). Cost-Benefit Analysis in Reasoning. *Journal of Political Economy*, 130(4). DOI: <https://doi.org/10.1086/718378> (in English)
7. Architecture tradeoff analysis method (ATAM). *Concise Software*. Retrieved from <https://concisesoftware.com/architecture-tradeoff-analysis-method-atam> (in English)

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

8. *Architecture tradeoff analysis method*. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Architecture_tradeoff_analysis_method (in English)
9. Davami, F., Adabi, S., Rezaee, A., & Rahmani, A. M. (2021). Fog-based architecture for scheduling multiple workflows with high availability requirement. *Computing*, 104(1), 169-208. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00607-021-00905-1> (in English)
10. Kadri, S., Aouag, S., & Hedjazi, D. (2021). MS-QuAAF: A generic evaluation framework for monitoring software architecture quality. *Information and Software Technology*, 140, 106713. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2021.106713> (in English)
11. Kumar, A., Anand, E., Natarajan, S., & Dandekar, A. (2021). Architecture Analysis Methods. *Inclose International Symposium*, 31(1), 1377-1392. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2021.00907.x> (in English)
12. Kumar, A. G. (2016). *SOLID Principles Succinctly*. Retrieved from <https://lib.hpu.edu.vn/handle/123456789/24913> (in English)
13. Shahbazi, Z., Rasoolzadegan, A., Purfallah, Z., & Jafari Horestani, S. (2021). A new method for detecting various variants of GoF design patterns using conceptual signatures. *Software Qual J.* DOI: <https://doi.org/10.1007/s11219-021-09576-9> (in English)
14. Software Architecture Analysis Method (SAAM). *Dzone*. Retrieved from <https://dzone.com/articles/software-architecture-analysis> (in English)
15. Wijerathna, L., Aleti, A., Bi, T., & Tang, A. (2022). Mining and relating design contexts and design patterns from Stack Overflow. *Empirical Software Engineering*, 27(8). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10664-021-10034-0> (in English)

Надійшла до редколегії: 13.08.2021

Прийнята до друку: 13.12.2021

UDC 519.6:517.972.55

T. F. MYKCHAILOVA¹, Y. A. MAKSYMENKOVA^{2*}¹Dep. «Applied Mathematics», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail michaylovatf@ukr.net, ORCID 0000-0003-4609-7744^{2*}Dep. «Applied Mathematics», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail mcsimenkoffa@gmail.com, ORCID 0000-0002-3949-9553

The Problem of Minimax Estimation of Functionals for Non-Stationary Diffusion Processes

Purpose. To model the technological process of analysis of energy sources that use random interference, it is necessary to apply special methods from the theory of minimax estimation and optimal control. The article proposes a method for solving the problem of minimax estimation of functionalities for the systems with distributed parameters with incomplete data for the process of neutron diffusion in a nuclear reactor. **Methodology.** In practice, in the study of non-stationary controlled processes of functioning of different energy sources there are measurement errors. As a rule, the exact values of errors are unknown, and therefore the desired solution of the equations in partial derivatives describing these processes is determined ambiguously. Therefore, it is advisable to set the task of calculating such an optimal estimate, which would best approximate the unknown value, taking into account the known information about the measurement errors. The best estimate can be achieved by applying a minimax approach to estimating functionals from the solutions of the partial differential equations of parabolic type. **Findings.** For a mathematical model of the neutron diffusion process in a nuclear reactor, the proposed method allows solving the problem of minimax estimation of the functional determined during the solution of the system describing this process. Since in real conditions of reactor operation there are always random obstacles (both in the equation describing the process and the function observed), the method allows finding a minimax estimate of the functional. The problem is reduced to the problem of optimal control with a given quality functionality, which is successfully solved. **Originality.** Using the methods of minimax estimation and optimal control of systems with distributed parameters, the best a priori estimation of the quality functional of the minimax estimation problem for the mathematical model of neutron diffusion in a nuclear reactor is obtained. **Practical value.** The method of minimax estimation of functionalities for differential equations of parabolic type proposed in the article allows reducing the problem to the problem of optimal control of the systems with distributed parameters, which can be implemented in Maple package using known algorithms.

Keywords: minimax functionals estimation; neutron diffusion; optimal control theory; parabolic type problems

Introduction

Nowadays, the role of the theory of optimal control in solving various applied problems is constantly growing. Continuous complication of the energy systems, increasing their capacity, makes it important to apply the control theory to optimize such systems and their components. The systems powered by the nuclear power plants are of interest in this regard [2, 4, 9].

The theory of optimal control of systems with distributed parameters [3, 4] considers the processes of thermal conductivity and diffusion, which are used during the analysis of various energy sources [2, 7]. Improvements of various chemical reactors, as well as the chemical plants based on the use of atomic and thermal energy, make the problem of optimizing the thermal and diffusion processes, which are described

by differential and integro-differential equations in partial derivatives [6, 8]. One of the stages of research and optimal control of nonstationary neutron diffusion process in nuclear reactors is the problem of describing a mathematical model and estimating the functional determined during the solution of the system describing the process [2, 8]. Note that the solution of the control problem of the system with distributed parameters is complicated by the fact that in real conditions of the reactor operation random external interference, noise, occur naturally. In this case, the method of minimax functional estimation for parabolic equations is used. In [5, 6, 9], the algorithm of minimax estimation of functionals for the parabolic type equations is applied, which reduces the problem to the problem of optimal control with a given quality functional on the basis of the works.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Purpose

The main purpose of our study is to apply the method of minimax estimation of functionals for the parabolic type problem, which describes the process of the neutron diffusion in a nuclear reactor and construction of the best a priori estimation of the quality functional.

Methodology

In practice, measurement errors take place during the study of non-stationary controlled processes of functioning of different energy sources. As a rule, the exact values of errors are unknown, and therefore the desired solution of the equations in partial derivatives describing these processes is determined ambiguously. Therefore, it is advisable to set the task of calculating such an optimal estimate, which would best approximate the unknown value, taking into account the known information about the measurement errors. The best estimate can be achieved by applying a minimax approach to estimating the functionals from the solutions of the partial differential equations of parabolic type.

Findings

The nonstationary process of neutron diffusion in a nuclear reactor (taking into account the delayed neutrons of the first group) can be described by equation [1, 3]

$$\frac{\partial N}{\partial t} = D_0 \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{k_0 - 1}{T_0} N + \frac{k_1 \lambda_1}{T_0} \int_0^\infty N(x, t - \tau) e^{-\lambda_1 \tau} d\tau + f(x, t) \quad (1)$$

with boundary conditions:

$$N|_{-a}^a = 0; N(x, t) \in L_2[(-a, a), (0, \infty)] \quad (2)$$

and initial conditions:

$$N(x, 0) = N_0(x) + f_0(x), \quad (3)$$

where N – thermal neutrons density; k_0 – fast neutron multiplication factor; T_0 – thermal neutron lifetime; k_1 – multiplication factor of the delayed neutrons of the first group; $1/\lambda_1$ – lifetime of the delayed neutrons of the first group; D_0 – diffusion coefficient.

Let us observe the value

$$y(t_j) = y_j = \int_{-a}^a c(x) N(x, t_j) dx + \eta_j, \quad j = \overline{1, m} \quad (4)$$

where $c(x) \in L_2^m(-a, a)$ – is a known function.

As for the functions $f(x, t)$, $f_0(x)$ and $\eta(t)$, which are random interference, we assume that they belong to some area:

$$G = \{f, \eta: \left| \int_{-a}^a f_0^2(x) dx + \int_0^T \int_{-a}^a f^2(x, t) dx dt + \sum_{j=1}^m \eta_j^2 \right| \leq 1\}. \quad (5)$$

We should estimate the functional

$$I(N) = \int_{-a}^a l(x) N(x, T) dx, \quad (6)$$

where $l(x)$ – is a given piecewise continuous function.

We search for the estimation of the functional (6) in the form

$$\hat{I}(N) = - \sum_{j=1}^m U_j y_j. \quad (7)$$

We obtain the problem of finding the minimax estimate [4, 5]:

$$\min_{U_j} \sup_G |I(N) - \hat{I}(N)|^2. \quad (8)$$

Let us reduce the initial-boundary value problem for the integro-differential equation (1) to the initial-boundary value problem for the system of two differential equations. To do this, let us introduce the function

$$r_1(x, t) = \frac{k_1}{T} \int_0^\infty N(x, t - \tau) e^{-\lambda_1 \tau} d\tau, \quad (9)$$

that satisfies the equation

$$\frac{\partial r_1}{\partial t} = \frac{k_1}{T_0} N(x, t) - \lambda_1 r_1(x, t). \quad (10)$$

Then equation (1) becomes a system of differential equations

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

$$\begin{cases} \frac{\partial N}{\partial t} = D_0 \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{k_0 - 1}{T_0} N + \lambda_1 r_1(x, t) + f(x, t) \\ \frac{\partial r_1}{\partial t} = \frac{k_1}{T_0} N - \lambda_1 r_1(x, t); \end{cases} \quad (11)$$

with initial conditions:

$$\begin{aligned} N(x, 0) &= N_0(x) + f_0(x); \\ r_1(x, 0) &= \frac{k_1}{T_0 \lambda_1} (N_0(x) + f_0(x)). \end{aligned} \quad (12)$$

Let us introduce the designations

$$\begin{aligned} \bar{k}^* &= \left[1, \frac{k_1}{T_0 \lambda_1} \right]; \\ \bar{f}^*(x, t) &= [f(x, t), 0]; \\ \bar{f}_0^*(x) &= \left[f_0(x), \frac{k_1}{T_0 \lambda_1} f_0(x) \right] = f_0(x) \bar{k}^*; \\ \bar{N}_0^*(x) &= \left[N_0(x), \frac{k_1}{T_0 \lambda_1} N_0(x) \right] = N_0(x) \bar{k}^*; \\ \bar{N}^*(x, t) &= [N(x, t), r_1(x, t)]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{D}_0 &= \begin{bmatrix} D_0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \\ B &= \begin{bmatrix} \frac{k_0 - 1}{T_0} & \lambda_1 \\ \frac{k_1}{T_0} & -\lambda_1 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (13)$$

Let us record (11) in vector form:

$$\frac{\partial \bar{N}}{\partial t} = \bar{D}_0 \frac{\partial^2 \bar{N}}{\partial x^2} + B \bar{N} + \bar{f}; \quad (14)$$

$$\bar{N}(x, 0) = \bar{k}^* (N_0(x) + f_0(x)); \quad (15)$$

$$\bar{N}(x, t)|_{-a}^a = 0 \quad (16)$$

We have the following theorem:

The problem of minimax estimate of the functional $\min_{U_j} \sup_G |I(N) - \hat{I}(N)|^2$ is equivalent to the

problem of optimal system management:

$$\frac{\partial \bar{\Psi}}{\partial t} = -\bar{D}_0 \frac{\partial^2 \bar{\Psi}}{\partial x^2} - B^* \bar{\Psi} - c(x) \sum_{j=1}^m U_j \delta(t - t_j); \quad (17)$$

$$\bar{\Psi}(x, t)|_{-a}^a = 0; \quad (18)$$

$$\bar{\Psi}(x, T) = \bar{l}(x), \quad (19)$$

with a quality criterion

$$\begin{aligned} I(U_j) &= \left(\int_{-a}^a \bar{k}^* N_0(x) \bar{\Psi}(x, 0) dx \right)^2 + \\ &\quad \int_{-a}^a \left(\bar{k}^* \bar{\Psi}(x, 0) \right)^2 dx + \\ &\quad \int_0^T \int_{-a}^a \bar{\Psi}^2(x, t) dx dt + \sum_{j=1}^m U_j^2, \end{aligned} \quad (20)$$

where $\bar{l}^* = [l(x), 0]$, $\bar{\Psi}(x, t) = [\psi_1(x, t), \psi_2(x, t)]$.

Let us replace the variables:

$$t' = T - t; \quad t = T - t'; \quad \frac{\partial \bar{\Psi}}{\partial t} = -\frac{\partial \bar{\Psi}}{\partial t'}. \quad (21)$$

If we omit ' in the variable t' , we obtain the following optimal control problem:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{\Psi}}{\partial t} &= -\bar{D}_0 \frac{\partial^2 \bar{\Psi}}{\partial x^2} + B^* \bar{\Psi} + \\ &\quad + c(x) \sum_{j=1}^m U_j \delta(T - t - t_j); \end{aligned} \quad (22)$$

$$\bar{\Psi}(x, t)|_{-a}^a = 0; \quad (23)$$

$$\bar{\Psi}(x, 0) = \bar{l}(x). \quad (24)$$

It is necessary to minimize the function:

$$\begin{aligned} \min_{U_j} I[U_j] &= \\ &= \min_{U_j} \left\{ \left(\int_{-a}^a \bar{k}^* N_0(x) \bar{\Psi}(x, T) dx \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. \int_{-a}^a \left(\bar{k}^* \bar{\Psi}(x, T) \right)^2 dx + \right. \\ &\quad \left. \int_0^T \int_{-a}^a \bar{\Psi}^2(x, t) dx dt + \sum_{j=1}^m U_j^2 \right\}. \end{aligned} \quad (25)$$

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Let us solve the problem of optimal control.

We search the solution of problem (22) – (24) in the form of a Fourier series by eigenfunctions of the corresponding Sturm-Liouville problem:

$$\bar{\psi}(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \bar{\psi}_n(t) X_n(x);$$

$$\bar{\psi}_n = \begin{pmatrix} \psi_n \\ r_n \end{pmatrix}. \quad (25)$$

$$X''(x) + p^2 X(x) = 0;$$

$$X(a) = X(-a) = 0. \quad (26)$$

For Fourier coefficients, problem (22) – (24) is recorded as an infinite number of systems of two ordinary differential equations:

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{\psi}_n}{\partial t} = \left(-D_0 \rho_n^2 + \frac{k_0 - 1}{T_0} \right) \psi_n + \frac{k_1}{T_0} r_n(t) = \\ = C_n \sum_{j=1}^m U_j \delta_j(T - t - t_j); \\ \frac{\partial r_n}{\partial t} = \lambda_1 \psi_n - \lambda_1 r_n. \end{cases} \quad (27)$$

Let us denote the elements of the fundamental matrix of the problem (27) by $F_{kmi}(t)$, $k, m = \overline{1, 2}$. They can be obtained in the closed form. Then the solution of the initial system (22) will have the following form:

$$\bar{\psi}(x, t) = \int_{-a}^a F(x, y, t) \bar{l}(y) dy + \sum_{j=1}^m \left(\int_{-a}^a F(x, y, t - (T - t_j)) \bar{l}(y) dy \right) U_j, \quad (28)$$

$$\text{where } F(x, y, t) = \sum_{i=1}^{\infty} X_i(x) X_i(y) \Phi_i(t).$$

We substitute $\bar{\psi}(x, t)$ into the functional $I[U]$, calculate the variation of this functional, using the necessary optimality conditions and obtain a system of equations

$$U_l + \sum_{j=1}^m A_{lj} U_j = D_l, l = \overline{1, m}, \quad (29)$$

where the matrix $[A_{lj}]$, the column of free terms

D_l , the coefficients $\mu_1^l \mu_2^l(x)$ and $\mu_3^l(x, t)$ are calculated by formulas:

$$\begin{aligned} A_{lj} &= \mu_1^l \int_{-a}^a \bar{k}^* N_0(x) \int_{-a}^a F(x, y, t_j) \bar{c}(y) dy dx + \\ &+ \int_{-a}^a \mu_2^l(x) \bar{k}^* \int_{-a}^a F(x, y, t_j) \bar{c}(y) dy dx + \\ &+ \int_0^T \int_{-a}^a \mu_3^l(x, t) \int_{-a}^a F_{11}(x, y, T - t_j) c(y) dy dx dt; \\ D_l &= -\mu_1^l \int_{-a}^a \int_{-a}^a \bar{k}^* N_0(x) F(x, y, T) \bar{l}(y) dy dx - \\ &- \int_{-a}^a \mu_2^l(x) \bar{k}^* \int_{-a}^a F(x, y, T) \bar{l}(y) dy dx - \\ &- \int_0^T \int_{-a}^a \mu_3^l(x, t) \int_{-a}^a F_{11}(x, y, t) l(y) dy dx dt; \\ \mu_1^l &= \int_{-a}^a \int_{-a}^a \bar{k}^* N_0(x) F(x, y, t_l) \bar{c}(y) dy dx; \\ \mu_2^l(x) &= \int_{-a}^a \bar{k}^* F(x, y, t_l) \bar{c}(y) dy; \\ \mu_3^l(x, t) &= \int_{-a}^a F_{11}(x, y, t - (T - t_l)) \bar{c}(y) dy. \end{aligned}$$

From the system (29) we determine the impulse controls $U_l = \sum_{j=1}^m G_{lj} D_j$, where $G_{lj} = [I + A_{lj}]^{-1}$.

We define functions $\bar{\psi}(x, t)$ from (28). Having substituted the obtained values $\bar{\psi}(x, t)$ and U_l in (25), we find the best a priori estimate of the functional (20).

The proposed method of minimax estimation can be implemented on a PC using the Maple system [1, 3, 10].

The given solution method of the problem of minimax estimation of functionalities for the systems with distributed parameters in case of incomplete data will allow investigating the nonstationary processes in modern energy systems using the theory of optimal control. Since in real conditions of reactor operation there are always random obstacles (both in the equation describing the process and the function observed), the method allows finding a minimum estimate of the functional. The problem

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

is reduced to the problem of optimal control with a given quality functionality, which can be successfully solved.

Originality and practical value

It is shown that using the methods of optimal control theory for parabolic problems it is possible to solve the problem of minimax estimation of functionalities for the systems with distributed parameters in case of incomplete data, which simulates the process of neutron diffusion in a nuclear reactor. The proposed methodology allows implementing the algorithm of direct finding the best a priori estimate of

the quality functional for the diffusion process in a nuclear reactor. For specific numerical data, this can be implemented in the Maple system.

Conclusions

This article describes the method of minimax estimation of functionalities in models of nonstationary diffusion processes in energy systems with incomplete data. In particular, the problem of minimax estimation of the functional can be solved using the methods of the optimal control theory.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Бабич Ю. А., Михайлова Т. Ф. Аппроксимация периодических функций многих переменных функциями меньшего числа переменных в метрических пространствах орлича. *Український математичний журнал*. 2018. Т. 70, № 8. С. 1143–1148.
2. Егоров А. И. *Оптимальное управление тепловыми и диффузионными процессами*. Москва : Наука, 1978. 464 с.
3. Егоров А. И. *Обыкновенные дифференциальные уравнения и система Maple*. Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2016. 392 с.
4. Наконечный А. Г., Акименко В. В., Трофимчук О. Ю. Модель оптимального управления системой интегро-дифференциальных уравнений с вырождающейся параболичностью. *Кибернетика и системный анализ*. 2007. № 6. С. 90–102.
5. Наконечный А. Г. *Минимаксное оценивание функционалов от решений вариационных уравнений в гильбертовых пространствах*. Киев : КГУ, 1985. 92 с.
6. Наконечный О. Г. *Оптимальне керування та оцінювання в рівняннях із частинними похідними: навчальний посібник*. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2004. 103 с.
7. Galaktionov V. A., Svirshchevskii S. R. *Exact solutions and invariant subspaces of nonlinear partial differential equations in mechanics and physics*. Chapman and Hall/CRC Press, 2007. 528 p.
8. Kapustyan V. O., Pyshnograiev I. O. *Approximate Optimal Control for Parabolic–Hyperbolic Equations with Nonlocal Boundary Conditions and General Quadratic Quality Criterion*. Advances in Dynamical Systems and Control, 2016. P. 387–401. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-40673-2_21
9. Kapustyan V. O., Pyshnograiev I. O. *Minimax Estimates for Solutions of parabolic-hyperbolic equations with Nonlocal Boundary Conditions*. Continuous and Distributed Systems II, 2015. pp. 277–296. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-19075-4_17
10. Kogut, P. I., Maksimenkova, Yu. A. On regularity of weak solution to one class of initial-boundary value problem with pseudo-differential operators. *Journal of Optimization, Differential Equations, and Their Applications*. 2017. Vol. 25. Iss. 8. P. 70–108. DOI: <https://doi.org/10.15421/141705>

Т. Ф. МИХАЙЛОВА¹, Ю. А. МАКСИМЕНКОВА^{2*}

¹Каф. «Прикладна математика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта michaylovatf@ukr.net, ORCID 0000-0003-4609-7744

^{2*}Каф. «Прикладна математика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта mcsimenkoffa@gmail.com, ORCID 0000-0002-3949-9553

Задача мінімаксного оцінювання функціоналів для нестационарних процесів дифузії

Мета. Для моделювання технологічного процесу аналізу джерел енергії, що використовує випадкові перешкоди, необхідно застосувати спеціальні методи з теорії мінімаксного оцінювання та оптимального керування. У статті передбачено розробити методику розв'язання задачі мінімаксного оцінювання функціоналів для систем із розподіленими параметрами за неповних даних для процесу дифузії нейтронів у ядерному реакторі. **Методика.** На практиці під час дослідження нестационарних керованих процесів функціонування різних джерел енергії мають місце похибки вимірювань. Як правило, точні значення похибок невідомі, і тому шуканий розв'язок рівнянь у частинних похідних, що описують указані процеси, визначається неоднозначно. У зв'язку з цим доцільно ставити задачу обчислення такої оптимальної оцінки, яка найкращим чином наближала б невідому величину з урахуванням відомої інформації про похибки вимірів. Найкраща оцінка може бути досягнута за умови застосування мінімаксного підходу оцінювання функціоналів від розв'язків рівнянь із частинними похідними параболічного типу. **Результати.** Для математичної моделі процесу дифузії нейтронів у ядерному реакторі запропонована методика дозволяє розв'язати задачу мінімаксного оцінювання функціонала, визначеного під час розв'язку системи, що описує цей процес. Оскільки в реальних умовах функціонування реактора завжди наявні випадкові перешкоди (як у рівнянні, що описує процес, так і в функції, що спостерігається), методика дозволяє знайти мінімаксну оцінку функціонала. При цьому задача зводиться до задачі оптимального керування із заданим функціоналом якості, яку можна успішно розв'язати. **Наукова новизна.** За допомогою методів мінімаксного оцінювання та оптимального керування системами з розподіленими параметрами одержано найкращу апіорну оцінку функціонала якості для математичної моделі дифузії нейтронів у ядерному реакторі. **Практична значимість.** Запропонована в статті методика мінімаксного оцінювання функціоналів для диференціальних рівнянь параболічного типу дозволяє звести задачу до задачі оптимального керування системами з розподіленими параметрами, яка може бути реалізована в пакеті Maple з використанням відомих алгоритмів.

Ключові слова: мінімаксна оцінка функціоналів; дифузія нейтронів; теорія оптимального керування; задачі параболічного типу

REFERENCES

1. Babich, Y. A., & Michaylova, T. F. (2018). Approximation of Periodic Functions of Many Variables by functions of Smaller Number of Variables in Orlicz Metric Spaces. *Ukrains'kyi Matematychnyi Zhurnal*, 70(8), 1143-1148. (in Russian)
2. Yegorov, A. I. (1978). *Optimalnoe upravlenie teplovymi i diffuzionnymi protsessami*. Moscow: Nauka. (in Russian)
3. Yegorov, A. I. (2016). *Obyknoennyye differentsialnye uravneniya i sistema Maple*. Moscow: COLON-PPYeSS. (in Russian)
4. Nakonechniy, A. G., Akimenko, V. V., & Trofimchuk, O. Yu. (2007). Model optimalnogo upravleniya sistemoy integro-differentsialnykh uravneniy s vyrozhdaiushcheysoy parabolichnostyu. *Cybernetics and Systems Analysis*, 6, 90-102. (in Russian)
5. Nakonechnyy, A. G. (1985). *Minimaksnoe otsenivanie funktsionalov ot resheniy variatsionnykh uravneniy v gilbertovykh prostranstvakh*. Kyiv: KGU. (in Russian)
6. Nakonechnyy, O. G. (2004). *Optymaljne keruvannja ta ocinjuvannja v rivnjannjakh iz chastytnnykh pokhidnykh: navchalnyj posibnyk*. Kyiv: Vydavnycho-poligrafichnyj centr «Kyjivskyj universytet». (in Ukrainian)
7. Galaktionov, V. A., & Svirshchevskii, S. R. (2007). *Exact solutions and invariant subspaces of nonlinear partial differential equations in mechanics and physics*. Chapman & Hall/CRC Press. (in English)
8. Kapustyan, V. O., & Pyshnograiev, I. O. (2016). *Approximate Optimal Control for Parabolic-Hyperbolic Equations with Nonlocal Boundary Conditions and General Quadratic Quality Criterion* (pp. 387-401). *Advances in Dynamical Systems and Control*. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-40673-2_21 (in English)
9. Kapustyan, V. O., & Pyshnograiev, I. O. (2015). *Minimax Estimates for Solutions of parabolic-hyperbolic equations with Nonlocal Boundary Conditions* (pp. 277-296). *Continuous and Distributed Systems II*. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-19075-4_17 (in English)

10. Kogut, P. I., & Maksimenkova, Yu. A. (2017). On regularity of weak solution to one class of initial-boundary value problem with pseudo-differential operators. *Journal of Optimization, Differential Equations, and Their Applications*, 25(8), 70-108. DOI: <https://doi.org/10.15421/141705> (in English)

Received: August 13, 2021

Accepted: December 14, 2021

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.423.3:[621.313.2:621.316.73]

А. М. АФАНАСОВ^{1*}, С. В. АРПУЛЬ^{2*}, Д. С. БІЛУХІН^{3*}, А. Я. ШЕМЕТ^{4*},
В. Є. ВАСИЛЬСЬ^{5*}, О. О. ГОЛОЛОВОВА⁶, Р. В. МАРКУЛЬ⁷

^{1*}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

^{2*}Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +380 (056) 373 15 31, ел. пошта arpul@ukr.net, ORCID 0000-0003-3698-2627

^{3*}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

^{4*}Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +380 (056) 373 15 31, ел. пошта shemetandriy2310@gmail.com, ORCID 0000-0001-6914-4182

^{5*}Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +380 (056) 373 15 31, ел. пошта wasiljew@ukr.net, ORCID 0000-0001-7551-2332

⁶Каф. «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

⁷Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, ел. пошта guarangamr@gmail.com, ORCID 0000-0002-7630-8963

Використання глибокого послаблення збудження для тягових двигунів магістральних електровозів

Мета. Ураховуючи необхідність поліпшення експлуатаційних властивостей сучасного магістрального рухомого складу, автори передбачають проаналізувати можливості використання більш глибокого регулювання ослаблення збудження. **Методика.** Виконано аналіз роботи тиристорно-імпульсного перетворювача електропоїзда EP200. Установлено, що в режимі розгону на граничній тяговій характеристиці необхідно розглядати дві зони: зону сталого значення сили тяги й зону сталої потужності. Запропоновано методику визначення мінімального значення коефіцієнта ослаблення збудження для різних типів тягових двигунів постійного й пульсуючого струму. Для аналізу використано методи теоретичного дослідження й аналітичного розрахунку електричних кіл, теоретичних основ електричної тяги, математичного моделювання електричних та енергетичних процесів. **Результати.** Проведений комплекс теоретичних досліджень і розрахунків дозволяє підтвердити технічну можливість використання глибокого ослаблення збудження для регулювання швидкості й отримання додаткових безреостатних позицій для рухомого складу з тяговими двигунами постійного й пульсуючого струму. Визначено величину мінімального коефіцієнта ослаблення збудження для різних типів тягових двигунів. **Наукова новизна.** Удосконалено методику визначення мінімального значення коефіцієнта ослаблення збудження для тягових двигунів магістральних електровозів у частині використання більш глибокого регулювання магнітного потоку, заміни використання даних експериментальних досліджень теоретичними дослідженнями, суть яких полягає у формуванні необхідного виду граничної тягової характеристики за рахунок зменшення мінімально допустимого значення коефіцієнта збудження, що дозволить зменшити витрати електричної енергії. Отримали подальший розвиток дослідження з визначення кількісних показників витрати електричної енергії для аналізу резервів енергозбереження на магістральному транспорті. **Практична значимість.** Результати теоретичних досліджень можуть стати основою для модернізації магістральних електровозів постійного й пульсуючого струму із системами глибокого регулювання ослаблення збудження. Проведені дослідження дозволять розробити рекомендації щодо проектування систем регулювання магнітного потоку тягових двигунів із поліпшеними техніко-економічними характеристиками, які здатні підвищити ефективність перевізного процесу на магістральному транспорті.

Ключові слова: коефіцієнт ослаблення збудження; магнітний потік; тяговий двигун; швидкість; напруга; струм; потужність; тягова характеристика; електровоз; регулятор

Вступ

Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року [8] одним з основних напрямів розвитку залізничного транспорту передбачає оновлення тягового рухомого складу, у тому числі високошвидкісного. Водночас капітальний ремонт із подовженням терміну служби дозволяє модернізувати рухомий склад, збільшуючи термін експлуатації того ЕРС, який відпрацював нормативний ресурс на 10–15 років. Застосування напівпровідникових приладів у силових схемах нового й модернізованого електрорухомого складу дозволить підвищити надійність тягового електропривода, розширити діапазон регулювання швидкості, знизити втрати потужності [3]. До того ж сучасна елементна база силової електроніки дозволяє замінити індуктивні шунти, які використовують для ослаблення збудження тягових двигунів, на «безіндуктивні», що мають поліпшені вагогабаритні показники.

У наш час на вітчизняному електрорухомому складі найбільшого поширення набули тягові двигуни постійного струму послідовного збудження, що мають хороші регульовальні властивості. Під час зрушування, руху електровоза або електропоїзда по перегону й електричного гальмування виникає необхідність змінювати швидкість, силу тяги або гальмування згідно із законом, що відрізняється від характеристик тягового двигуна за номінальної напруги й величини магнітного потоку. Зміна швидкості й сили тяги електрорухомого складу в необхідних межах може бути здійснена регулюванням магнітного потоку й величини напруги на тягових двигунах [5, 6].

Збільшення числа ходових ступенів швидкості на всіх сучасних електровозах і моторних вагонах регулюють збудженням тягових двигунів постійного струму. Для цього застосовують шунтування обмоток збудження опором або імпульсним регулюванням збудження. Вибір числа ступенів ослаблення збудження визначають допустимими коливаннями струму тягового двигуна й тягового зусилля під час переходу з однієї позиції на іншу. Збільшення глибини регулювання й глибини ослаблення збудження підвищує гнучкість управління тягою, поліпшує динаміку розгону, зменшує витрату електроенергії.

Мета

У роботі передбачено розглянути можливість зменшення мінімального значення коефіцієнта ослаблення збудження для поліпшення технічних характеристик електрорухомого складу, збільшення кількості економічних позицій регулювання швидкості. Щоб досягти поставленої мети, потрібно виконати аналіз системи регулювання збудження тягових двигунів електрорухомого складу, запропонувати методику розрахунку значення мінімального коефіцієнта ослаблення збудження для можливості формування тягової характеристики постійної потужності.

Методика

Для аналізу впливу характеристик тягових двигунів електрорухомого складу на можливість формування тягової характеристики постійної потужності, а також визначення мінімально допустимого значення коефіцієнта збудження використано комплексний підхід, який включає попередній аналіз інформації, подальші розрахунки за допомогою відомих методів теорії електричних кіл, теоретичних основ електричної тяги, електричної тяги, аналітичного та чисельного розв'язання систем лінійних і нелінійних інтегро-диференціальних та алгебраїчних рівнянь, наявні методи математичного та імітаційного моделювання, обробки експериментальних даних.

Під час шунтування обмоток збудження тільки активним опором різке підвищення напруги мережі може призвести до істотного зменшення коефіцієнта ослаблення збудження в перехідному режимі. Оскільки наростаючий струм у колі тягових двигунів проходить переважно через шунт, наростання струму в колі обмоток збудження перешкоджає їх великий індуктивний опір. Збільшення струму якоря за відносно малої зміни струму збудження погіршує умови комутації тягових двигунів. Це особливо небезпечно під час відновлення повної напруги після його зняття (наприклад, у результаті відриву струмоприймача від контактної дроту й подальшого відновлення контакту), що вимагає використання в колі тягових двигунів індуктивного шунта.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Розгалуження струму якоря у відношенні β й $1-\beta$ між обмоткою збудження й шунтувальним колом під час перехідних процесів забезпечується певним співвідношенням індуктивностей цих кіл. Для нестационарного режиму рівняння

$$I_3 \cdot R_3 = I_{ш} \cdot R_{ш}$$

набуває вигляду:

$$i_3 \cdot R_3 + L_3 \cdot \frac{di_3}{dt} = i_{ш} \cdot R_{ш} + L_{ш} \cdot \frac{di_{ш}}{dt}$$

де L_3 , $L_{ш}$ – індуктивність обмотки збудження двигуна й індуктивного шунта відповідно, Гн; $R_{ш}$ – сумарний опір шунтувального кола, Ом.

Згідно з поставленою вище умовою потрібно, щоб під час перехідного процесу зберігалася рівність:

$$i_3 = i_{ш};$$

$$i_{ш} = (1-\beta) \cdot i_я,$$

звідки

$$\begin{aligned} \beta \cdot i_я \cdot R_3 + L_3 \cdot \beta \cdot \frac{di_я}{dt} &= \\ &= (1-\beta) \cdot i_я \cdot R_{ш} + L_{ш} \cdot (1-\beta) \frac{di_я}{dt}; \end{aligned}$$

$$\beta \cdot i_я \cdot R_3 = (1-\beta) \cdot i_я \cdot R_{ш},$$

звідки

$$\beta \cdot L_3 = (1-\beta) \cdot L_{ш};$$

$$L_{ш} = \frac{\beta}{1-\beta} \cdot L_3.$$

Для машин із насиченою магнітною системою індуктивність обмотки збудження становить:

$$L_3 = a \cdot \omega \cdot \frac{d\Phi}{dI_3} \cdot 10^{-8},$$

де a – коефіцієнт, менший за одиницю, що враховує розмагнічувальний вплив вихрових струмів, наведених у масивному остві двигуна; ω – число витків обмотки збудження.

Щоб зберегти співвідношення для $L_{ш}$ за будь-якого значення струму збудження I_3 , індуктивність шунта $L_{ш}$ і його потік $\Phi_{ш}$ повинні змінюватися пропорційно потоку двигуна:

$$\Phi_{ш} = \frac{a \cdot \omega}{\omega_{ш}} \cdot \Phi,$$

де $\omega_{ш}$ – число витків обмотки індуктивного шунта.

У цьому випадку під час відновлення напруги велика частина струму якоря пройде через обмотку збудження, двигун перейде в режим повного збудження, і режим ослаблення збудження поступово відновиться. Унаслідок дії вихрових струмів практично неможливо уникнути поштовху струму в якорі за нестационарних режимів.

Імпульсне регулювання струму збудження здійснюють зміною відносної тривалості імпульсів напруги, які прикладають до обмотки збудження. Відносна тривалість імпульсу напруги залежно від схеми під'єднання імпульсного регулятора до обмотки збудження дорівнює коефіцієнту заповнення β за послідовного ввімкнення імпульсного регулятора, або $1-\beta$ у схемі паралельного під'єднання імпульсного регулятора.

Амплітуда імпульсу напруги збудження U_3 , яку прикладають до обмотки, дорівнює падінню напруги на резисторі $R_{ш}$:

$$U_3 = R_{ш} \cdot (I_я - I_3).$$

Середня напруга, яку прикладають до обмотки збудження:

$$U_{з.сп.посл} = R_{ш} \cdot \lambda \cdot (I_я - I_3);$$

$$U_{з.сп.пар} = R_{ш} \cdot (1-\lambda) \cdot (I_я - I_3).$$

Значенням $\lambda = 0$ і $\lambda = 1$ відповідають закритий і відкритий стани тиристора, коли ключовий елемент перебуває в одному з двох станів, який визначають положенням контролера машиніста (ослаблення збудження ввімкнене–вимкнене).

Тоді середнє значення струму збудження

$$I_3 = \frac{U_{з.сп.}}{R_3}.$$

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Незалежно від схеми під'єднання імпульсного регулятора, струм збудження пульсує на рівні середнього значення.

Середню напругу збудження можна взяти рівною падінню напруги на її еквівалентному опорі шунтувального кола:

$$R_{\text{екв.посл}} = R_{\text{ш}} \cdot \lambda;$$

$$R_{\text{екв.пар}} = R_{\text{ш}} \cdot (1 - \lambda).$$

Коефіцієнт ослаблення збудження:

$$\beta = \frac{I_z}{I_a} = \frac{R_{\text{екв}}}{R_{\text{екв}} + R_z}.$$

Підставляючи значення еквівалентного опору, отримаємо:

$$\beta_{\text{посл}} = \frac{\lambda}{\lambda + \frac{R_z}{R_{\text{ш}}}};$$

$$\beta_{\text{пар}} = \frac{1 - \lambda}{1 - \lambda + \frac{R_z}{R_{\text{ш}}}}.$$

З отриманих виразів випливає, що коефіцієнт ослаблення збудження нелінійно залежить від коефіцієнта заповнення, характер залежності визначають схема під'єднання імпульсного регулятора до обмотки збудження та співвідношення опорів обмотки збудження й увімкненого паралельно їй резистора. У схемі з послідовним під'єднанням імпульсного регулятора коефіцієнт ослаблення збудження зростає зі збільшенням коефіцієнта заповнення, а в схемі з паралельним під'єднанням імпульсного регулятора зменшується.

Результати

Відома значна кількість технічних пропозицій, спрямованих на формування необхідних тягових властивостей локомотивів за рахунок регулювання жорсткості тягових характеристиками шляхом зміни магнітного потоку тягових двигунів [1, 2, 9], що призводить до зниження втрат потужності.

Оптимізація витрат електричної енергії під час руху поїздів і втрат електроенергії в контак-

тній мережі, важлива не тільки для тягового рухомого складу, але й для системи тягового електропостачання [7, 10].

У наш час принципи регулювання магнітного потоку широко використовують не тільки в електроприводах постійного струму, але і в системах векторного керування асинхронними двигунами сучасного електротранспорту [11, 12].

Плавне регулювання ступеня ослаблення поля тягових електродвигунів постійного струму використовували на електропоїзді ЕР200, експлуатувати який припинили у 2009 році [4].

Широтно-імпульсне регулювання коефіцієнта ослаблення поля на цьому електропоїзді здійснювали за допомогою тиристорно-імпульсного перетворювача. За допомогою того ж перетворювача здійснювали і плавне міжступеневе регулювання напруги на тягових електродвигунах. Годинна потужність колекторного тягового двигуна постійного струму послідовного збудження 1ДТ–001 складає 240 кВт. Годинний струм тягового двигуна дорівнює 360 А, при цьому максимальний пусковий струм – 400 А.

Силову електричну схему електропоїзда забезпечує два можливі з'єднання тягових двигунів пари моторних вагонів: послідовне «С» та паралельне «СП». При цьому напруга на послідовно-паралельному з'єднанні дорівнює номінальній – 750 В.

Завдяки плавному регулюванню ступеня ослаблення поля тягових двигунів у певних діапазонах зміни швидкостей на обох з'єднаннях («С» та «СП») формується тягова характеристика постійної потужності. Причому на з'єднанні «СП» забезпечується сталість потужності за максимального (пускового) струму 400 А аж до максимального значення швидкості електропоїзда 200 км/год.

Аналіз тягових характеристик електропоїзда показує, що коефіцієнт використання потужності $k_{\text{и}}$ тягового двигуна 1ДТ–001 дорівнює одиниці.

$$k_{\text{и}} = \frac{P_{\text{vmax}}}{P_{\text{п}}} = 1.$$

де P_{vmax} – потужність за максимальної швидкості; $P_{\text{п}}$ – розрахункова потужність для заданого значення пускового струму.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Слід звернути особливу увагу на те, що $k_n = 1$ за всіх значень пускового струму $I_{\text{пуск}}$, і навіть за максимального значення, що дорівнює 400 А. Це досягається за рахунок використання дуже глибокого ослаблення поля до значення:

$$\beta_{\min} = 0,2.$$

Таке глибоке ослаблення поля тягового двигуна без компенсаційної обмотки є надмірним. Однак і під час стендових випробувань, і під час експлуатації електропоїзда була відзначена досить висока потенційна стійкість тягового двигуна.

Середня максимальна напруга тягового двигуна 1ДТ–001 становить:

$$u_{\text{к.ср}} = \frac{2pU_n}{K} = 10,2 \text{ В},$$

де $p = 2$ – кількість пар полюсів; $U_n = 750 \text{ В}$ – номінальна напруга; $K = 294$ – кількість колекторних пластин.

Стендові випробування показали, що двигун має досить високу потенційну стійкість. Максимальна міжلامельна напруга в разі ослаблення поля до $\beta = 0,28$ становить 23,5 В, а градієнт потенціалу – 62 В/см. Це дозволило застосувати ослаблення поля до значення $\beta = 0,2$.

Найбільш вагомим фактором, який визначив можливість використання глибокого ослаблення поля на електропоїзді ЕР200, став тиристорно-імпульсний регулятор ослаблення поля і, природно, відносно низьке значення середньої міжلامельної напруги $u_k = 10,2 \text{ В}$, яка обумовлена досить низькою номінальною напругою $U_n = 750 \text{ В}$.

Розглянемо режим розгону електрорухомого складу за граничною тяговою характеристикою, яка наведена на рис. 1.

Ця характеристика має дві зони. Зона I характеризується сталістю пускового значення сили тяги та відповідає відрізку зміни швидкості від нуля до розрахункового значення v_p :

$$F = F_p = \text{const}$$

де F_p – розрахункове значення сили тяги.

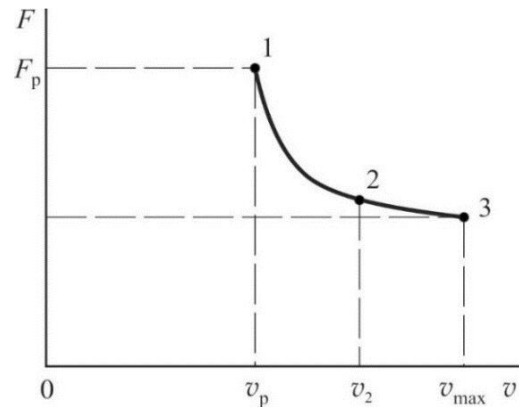


Рис. 1. Гранична тягова характеристика електрорухомого складу

Fig. 1. Limit traction characteristics of electric rolling stock

У зоні II, яка відповідає відрізку зміни швидкості від розрахункового значення v_p до максимальної швидкості v_{max} , шляхом плавного регулювання коефіцієнта збудження тягового електродвигуна забезпечується умова сталості потужності:

$$P = \text{const}.$$

Спрощена принципова електрична схема електропривода наведена на рис. 2.

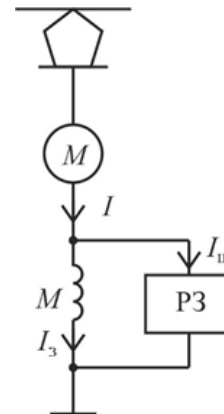


Рис. 2. Спрощена принципова електрична схема електропривода

Fig. 2. Simplified electrical schematic diagram of the electric drive

Обмотка збудження тягового двигуна М зашунтована регулятором збудження РЗ, за допомогою якого здійснюється імпульсне регулювання коефіцієнта збудження:

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$$\beta = \frac{I_3}{I},$$

де I_3 – струм збудження тягового електродвигуна; I_3 – струм якоря тягового електродвигуна.

Стабілізація сили тяги в зоні I тягової характеристики (рис. 1) може бути забезпечена стабілізацією пускового струму I шляхом планового підвищення напруги на електродвигуні тягового з використанням системи автоматичного регулювання, спрощена функціональна схема якої подана на рис. 3.

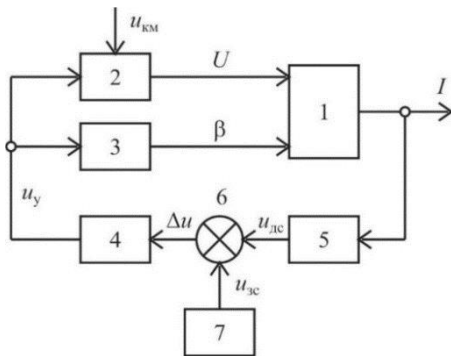


Рис. 3. Спрощена функціональна схема системи автоматичного регулювання

Fig. 3. Simplified functional diagram of the automatic control system

Умова стабілізації сили тяги може бути представлена у вигляді:

$$I = \text{const}.$$

Напруга U на тяговому двигуні 1 регулюється за допомогою регулятора 2, який під'єднаний до контактної мережі з напругою $U_{\text{км}}$. Напруга на виході регулятора пропорційна керувальній напрузі u_y на виході автоматичного регулятора 4, який забезпечує заданий закон регулювання. Реальне значення струму тягового електродвигуна (якоря) контролюється датчиком струму 5, сигнал із виходу якого $u_{\text{дс}}$ надходить на один із входів ланки порівняння 6. На інший вхід ланки порівняння надходить сигнал $u_{\text{зс}}$ від задатчика струму 7.

Така функціональна схема може забезпечити стабілізацію струму якоря як у діапазоні зміни швидкості від нуля до v_p (зона I), так і в діапазоні від v_p до v_{max} (зона II).

У зоні II ($v \in [v_p; v_{\text{max}}]$) стабілізація струму I забезпечується шляхом регулювання коефіцієнта збудження β регулятором ослаблення поля 3 з використанням того ж принципу автоматичного керування з відхиленням (негативний зворотний зв'язок).

На рис. 4 наведено характеристику зміни потужності тягового двигуна, що відповідає характеристиці $F(v)$, наведеної на рис. 1.

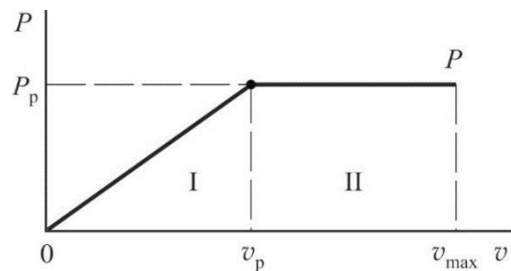


Рис. 4. Характеристика зміни потужності тягового двигуна

Fig. 4. Characteristics of traction engine power change

Для забезпечення сталості потужності в зоні II достатньо виконати умову:

$$\begin{cases} U = \text{const}; \\ I = \text{const}. \end{cases} \quad (1)$$

Розглянемо, яким чином має змінюватися коефіцієнт збудження β для забезпечення умови (1) у зоні II.

На рис. 5 умовно наведено електротягову характеристику $v = f(I)$, що відповідає нормальному ослабленню поля:

$$\beta = \beta_{\text{нп}}. \quad (2)$$

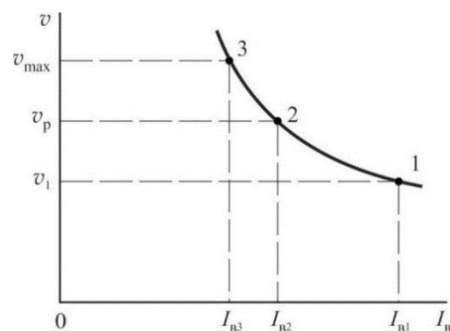


Рис. 5. Електротягова характеристика

Fig. 5. Electric traction characteristics

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Розглянемо задачу визначення залежності $\beta = f(v)$, яка забезпечуватиме характеристику $F = f(v)$, наведену на рис. 1. Очевидно, що в зоні I ($v \leq v_p$) ця залежність матиме вигляд (2). Для зони II значення коефіцієнта збудження, що відповідає заданому значенню швидкості та забезпечує умову (1), можна визначити з виразу:

$$\beta = \frac{\beta_{\text{нп}} I_1}{I_p}, \quad (3)$$

де I_1 – значення струму якоря, яке відповідає заданій швидкості v_1 на електромеханічній характеристиці тягового електродвигуна для умови (2).

Наприклад, на рис. 5 наведено методику визначення характеристики $\beta = f(v)$ на прикладі трьох характерних точок, що відповідають струмам I_1, I_2, I_p (струми 1, 2, 3).

На рис. 6 наведено характер залежності $\beta = f(v)$, що забезпечує тягову характеристику, наведену на рис. 1. Можливість формування тягової характеристики постійної потужності визначається та обмежується мінімально допустимим значенням коефіцієнта збудження β_{min} . Тобто на всьому відрізку зміни швидкості в зоні II ($v \in [v_p; v_{\text{max}}]$) має виконуватися умова

$$\beta \geq \beta_{\text{min}}. \quad (4)$$

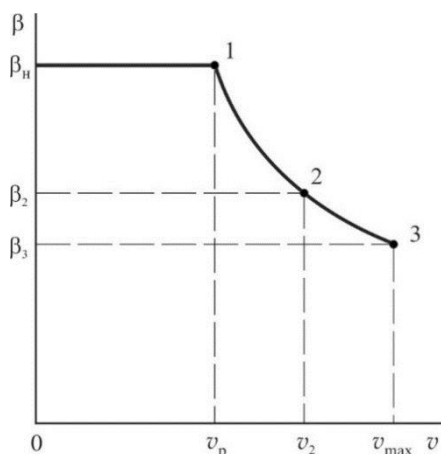


Рис. 6. Характер залежності $\beta = f(v)$

Fig. 6. The nature of dependence $\beta = f(v)$

У табл. 1 наведено значення коефіцієнтів збудження для нормального поля $\beta_{\text{нп}}$, для швидкості v_{max} за умовою (1) $\beta_{v_{\text{max}}}$ та мінімально допустиме значення β_{min} , узятє для ступінчастого регулювання поля (паспортні дані).

Таблиця 1

Коефіцієнти збудження за ступінчастого регулювання

Table 1

Excitation coefficients during the step control

Тип ТЕД	$\beta_{\text{нп}}$	$\beta_{v_{\text{max}}}$	β_{min}
ДТК–820	0,98	0,27	0,48
ДТК–800А	1	0,27	0,43
НБ418К	0,98		

Із даних табл. 1 видно, що умова (4) не виконується для жодного з аналізованих тягових двигунів.

У табл. 2 наведено основні параметри електровозів 2ЕЛ5, 2ЕЛ4 та відповідних тягових двигунів ДТК–820 та ДТК–800А.

У табл. 3 і 4 наведені розраховані для тягових двигунів ДТК–820 і ДТК–800А залежності коефіцієнта збудження від швидкості v , що забезпечують граничну тягову характеристику з постійною потужністю в зоні II регулювання. Залежність $\beta(v)$ для тягового двигуна ДТК–800А розрахована для діапазону зміни швидкості від 51,6 (годинний режим) до 110 км/год, при цьому слід зазначити, що максимальна конструкційна швидкість електровоза 2ЕЛ4, на якому використовують цей тип тягового двигуна, дорівнює 120 км/год. Така сама залежність $\beta(v)$ для тягового двигуна ДТК–820 розрахована для діапазону зміни швидкості від 49,9 (годинний режим) до 110 км/год (максимальна конструкційна швидкість електровоза 2ЕЛ5).

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Таблиця 2

Основні параметри тягових двигунів
електровозів 2ЕЛ5 та 2ЕЛ4

Table 2

Main parameters of traction motors
of 2EL5 and 2EL4 electric locomotives

Параметр	2ЕЛ5 (ДТК–820)	2ЕЛ4 (ДТК–800А)
I_{∞} , А	810	525
v_{∞} , км/год	51	51,6
P_{∞} , кВт	765	740
$I_{\text{год}}$, А	870	570
$v_{\text{год}}$, км/год	49,9	50
$P_{\text{год}}$, кВт	820	800
v_{max} , км/год	110	120
β_{min}	0,48	0,43
$\beta_{\text{нп}}$	0,98	1

Таблиця 3

Залежність $\beta(v)$ для тягового двигуна ДТК–820

Table 3

Dependence $\beta(v)$ for DTK-820 traction engine

v , км/год	49,9	60	70	90	110
β	0,98	0,67	0,52	0,36	0,27

Таблиця 4

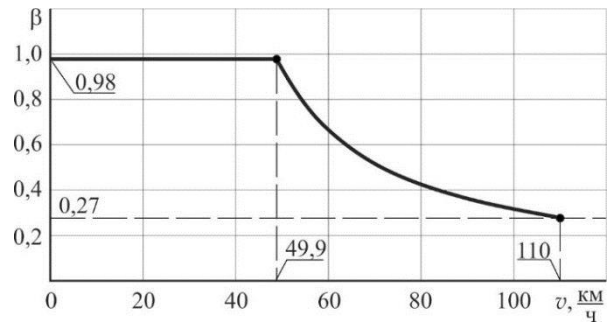
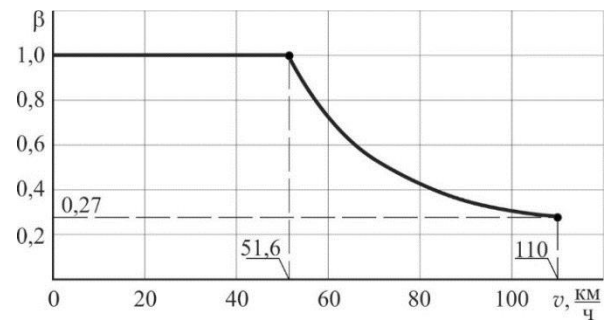
Залежність $\beta(v)$

для тягового двигуна ДТК–800А

Table 4

Dependence $\beta(v)$ for DTK-800A traction engine

v , км/год	51,6	60	70	90	110
β	1	0,72	0,53	0,34	0,27

Рис. 7. Залежність $\beta(v)$
для тягового двигуна ДТК–820Fig. 7. Dependence of $\beta(v)$
for DTK-820 traction engineРис. 8. Залежність $\beta(v)$
для тягового двигуна ДТК–800АFig. 8. Dependence
of $\beta(v)$ for DTK-800A traction engineНаукова новизна та практична
значимість

Розроблено теоретичні підходи щодо більш точного визначення величини мінімального значення коефіцієнта ослаблення збудження тягових двигунів послідовного збудження постійного й пульсуючого струму.

Уперше запропоновано й обґрунтовано можливість використання меншого значення коефіцієнта ослаблення збудження, ніж за паспортними даними тягових двигунів. Подальший розвиток отримали методи розрахунку залежності коефіцієнта збудження від швидкості, що забезпечують граничну тягову характеристику з постійною потужністю в зоні регулювання II.

Обґрунтовано використання глибокого ослаблення збудження тягових двигунів послідовного збудження магістральних електровозів, що

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

дозволить отримати додаткові економічні позиції. Розроблена методика розрахунку дає можливість врахувати випадковий характер зміни напруги на двигуні в режимі розгону. Запропонований метод визначення мінімального коефіцієнта ослаблення збудження дозволяє проводити подібні розрахунки для будь-якого тягового двигуна постійного та пульсуючого струму.

Висновки

1. Проведено аналіз режимів потужності під час формування граничної тягової характеристики в тягових мережах. Установлено, що в системі тягового забезпечення постійного струму із застосуванням централізованого живлення необхідно розглядати дві зони на граничній тяговій характеристиці. Можливість формування тягової характеристики постійної потужності визначається та обмежується мінімально допустимим значенням коефіцієнта збудження.

2. Здійснено оцінку мінімального ступеня ослаблення збудження для тягових двигунів постійного й пульсуючого струму, розраховано залежності коефіцієнта збудження від швидкості v , що забезпечують граничну тягову характеристику з постійною потужністю в зоні регулювання II. Установлено, що в діапазоні зміни від швидкості годинного режиму до максимальної конструкційної швидкості електровозів 2ЕЛ4 і 2ЕЛ5 можливе використання мінімального ступеня ослаблення збудження 0,27 замість 0,43 і 0,48 відповідно.

3. Упровадження плавного регулювання збудження тягових двигунів на наявному тяговому рухомому складі можливе з мінімальними капітальними затратами на модернізацію.

4. Необхідно провести додаткові теоретичні та експериментальні дослідження потенційної стійкості тягових електродвигунів у режимах глибокого ослаблення збудження з використанням імпульсних перетворювачів на електрорухомому складі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Афанасов А. М., Арпуль С. В., Друбецкий А. Е. Синтез систем взаимного нагружения тяговых двигателей постоянного и пульсирующего тока. *Електрифікація транспорту*. 2017. № 13. С. 33–38. DOI: <https://doi.org/10.15802/etr.v0i13.117823>
- Боднар Б. Є., Капіца М. І. Афанасов А. М., Кислий Д. Н. Визначення енергозощаджуючих режимів розгону поїздів. *Наука та прогрес транспорту*. 2015. Вип. 5 (59). С. 40–52. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/55359>
- Гетьман Г. К., Марікуца С. Л. Вибір раціональних параметрів номінального режиму електровозів. *Наука та прогрес транспорту*. 2017. Вип. 1 (67). С. 96–105. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/92615>
- Гуткин Л. В., Дымант Ю. Н., Иванов И. А. *Электропоезд ЭР200*. Москва : Транспорт, 1981. 192 с.
- Друбецкий А. Ю. Апроксимация универсальной магнитной характеристики для моделирования тяговых электрических машин. *Наука та прогрес транспорту*. 2017. Вип. 1 (67). С. 106–116. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/94031>
- Друбецкий А. Ю. Розрахунок магнітних характеристик тягового електродвигуна за допомогою вдосконаленої універсальної магнітної характеристики. *Наука та прогрес транспорту*. 2017. Вип. 3 (69). С. 66–76. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/104559>
- Косарев Є. М. Математична модель керованої розподіленої системи тягового електропостачання постійного струму. *Електрифікація транспорту*. 2017. № 14. С. 15–27.
- Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-p#Text>
- Gavrilovic I. B. A mechatronic approach for the detection of wheel slip/slide and antislip control of locomotive with AC traction motors. *American journal of mechanics and applications*. 2017. Vol. 5. Iss. 6. P. 47–52. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ajma.20170506.11>
- Hubskiy P., Kuznetsov V., Drubetskiy A., Afanasov A., Pulin M. (2018). Studying of the power modes in the traction line for ensuring the high-speed traffic. *Електрифікація транспорту*. 2018. Т. 15, № 1 (43). P. 42–51. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.146665>

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

11. Sahoo S. K., Bhattacharya T. Rotor Flux-Oriented Control of Induction Motor With Synchronized Sinusoidal PWM for Traction Application. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 2016. Vol. 31. Iss. 6. P. 4429–4439. DOI: <https://doi.org/10.1109/tpel.2015.2475398>
12. Zarri L., Mengoni M., Tani A., Serra G., Casadei D., Ojo J. O. Control Schemes for Field Weakening of Induction Machines. *IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (Wemdc)*. 2015. Vol 1. P. 146–155. DOI: <https://doi.org/10.1109/wemdc.2015.7194523>

A. M. AFANASOV^{1*}, S. V. ARPUL^{2*}, D. S. BILUKHIN^{3*}, A. Y. SHEMET^{4*},
V. Y. VASYLIEV^{5*}, O. O. HOLOLOBOVA⁶, R. V. MARKUL⁷

^{1*}Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +380 (056) 373 15 31, e-mail afanasof@ukr.net, ORCID 0000-0003-4609-2361

^{2*}Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +380 (056) 373 15 31, e-mail arpul@ukr.net, ORCID 0000-0003-3698-2627

^{3*}Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +380 (056) 373 15 31, e-mail comandor04@gmail.com, ORCID 0000-0002-2791-617X

^{4*}Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +380 (056) 373 15 31, e-mail shemetandriy2310@gmail.com, ORCID 0000-0001-6914-4182

^{5*}Dep. «Electric Rolling Stock of Railways», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +380 (056) 373 15 31, e-mail wasiljew@ukr.net, ORCID 0000-0001-7551-2332

⁶Dep. «Automatics and Telecommunications», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail gololobova_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

⁷Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 53, e-mail guarangamr@gmail.com, ORCID 0000-0002-7630-8963

Deep Attenuation Use for Traction Motors of Mainline Electric Locomotives

Purpose. Given the need to improve the performance of modern mainline rolling stock, the authors analyze the possibility of using deeper regulation of attenuation. **Methodology.** The analysis of the operation of the thyristor-pulse converter of ER200 electric train is performed. It is established that in the acceleration mode at the limit traction characteristic it is necessary to consider two zones: the zone of constant value of traction force and the zone of constant power. A method for determining the minimum value of the attenuation coefficient for different types of DC and PC traction motors was proposed. The methods of theoretical research and analytical calculation of electrical circuits, theoretical foundations of electric traction, mathematical modeling of electrical and energy processes were used for the analysis. **Findings.** The complex of theoretical research and calculations allows confirming the technical possibility of deep attenuation use to regulate the speed regulation and obtain additional across-the-line positions for the rolling stock with DC and PC traction motors. The minimum attenuation coefficient value for different types of traction motors was determined. **Originality.** The methodology for determining the minimum value of the attenuation coefficient for traction motors of main electric locomotives in terms of using deeper magnetic flux control, replacing the use of experimental research data with theoretical studies. The essence of the studies is to form the required type of the limit traction characteristics by reducing the minimum permissible value of the excitation coefficient, which will reduce the electricity consumption. The research on determination of quantitative indicators of electricity consumption for the analysis of energy saving reserves on the main transport was further developed. **Practical value.** The results of theoretical research can be the basis for the modernization of main electric locomotives of direct and pulsating current with the systems of deep attenuation regulation. The research conducted will make it possible to create recommendations on designing the systems of magnetic flux regulation for traction engines with the improved technical and economic characteristics which are capable to increase the transport process efficiency on the main transport.

Keywords: excitation attenuation coefficient; magnetic flux; traction engine; speed; voltage; current; power; traction characteristic; electric locomotive; regulator

REFERENCES

1. Afanasov, A. M., Arpul, S. V., & Drubetskyi, A. Yu. (2017). Synthesis of systems of mutual loading of drive motors of direct and pulsing current. *Electrification of Transport*, 13, 33-38. DOI: <https://doi.org/10.15802/etr.v0i13.117823> (in Russian)

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

2. Bodnar, B. Ye., Kapitsa, M. I., Afanasov, A. M., & Kyslyi, D. N. (2015). Definition of energy saving acceleration modes of trains. *Science and Transport Progress*, 5(59), 40-52. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/55359> (in Ukrainian)
3. Hetman, H. K., & Marikutsa, S. L. (2017). Selection of rational parameters of the nominal mode of electric locomotives. *Science and Transport Progress*, 1(67), 96-105. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/92615> (in Ukrainian)
4. Hubskeyi, P., Kuznetsov, V., Drubetskyi, A., Afanasov, A., & Pulin, M. (2018). Studying of the power modes in the traction line for ensuring the high-speed traffic. *Elektrifikaciya transportu*, 15(1(43)), 42-51. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.146665> (in Ukrainian)
5. Gutkin, L. V., Dymant, Yu. N., & Ivanov, I. A. (1981). *Elektropoezd ER200*. Moscow: Transport. (in Russian)
6. Drubetskyi, A. Yu. (2017). Approximation of universal magnetic characteristic for modelling electric traction machines. *Science and Transport Progress*, 1(67), 106-116. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/94031> (in Russian)
7. Drubetskyi, A. Yu. (2017). Calculation of magnetic characteristics of traction electric engine using the improved universal magnetic characteristics. *Science and Transport Progress*, 3(69), 66-76. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/104559> (in Russian)
8. Kosariev, Ye. M. (2017). Mathematical model of controlled distributed traction DC power supply system. *Elektrifikaciya transportu*, 14, 15-27. (in Ukrainian)
9. *Pro skhvalennja Nacionaljnoji transportnoji strateghiji Ukrajiny na period do 2030 roku*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-p#Text> (in Ukrainian)
10. Gavrilovic, I. B. (2017). A mechatronic approach for the detection of wheel slip/slide and antislip control of locomotive with AC traction motors. *American journal of mechanics and applications*, 5(6), 47-52. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ajma.20170506.11> (in English)
11. Sahoo, S. K., & Bhattacharya, T. (2016). Rotor Flux-Oriented Control of Induction Motor With Synchronized Sinusoidal PWM for Traction Application. In *IEEE Transactions on Power Electronics* (Vol. 31, Iss. 6, pp. 4429-4439). DOI: <https://doi.org/10.1109/tpel.2015.2475398> (in English)
12. Zarri, L., Mengoni, M., Tani, A., Serra, G., Casadei, D., & Ojo, J. O. (2015). Control Schemes for Field Weakening of Induction Machines. In *IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (Wemdcd)* (Vol. 1., pp. 146-155). (in English)

Надійшла до редколегії: 13.08.2021

Прийнята до друку: 14.12.2021

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 624.131:631.482-047.44

В. Ю. УЛЬЯНОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Інженерна геологія і геотехніка», ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24 а, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (056) 756 33 43, ел. пошта ulianovvu@gmail.com, ORCID 0000-0002-9028-3408

Результати морфологічного оцінювання деяких особливостей алювіальних пісків міста Дніпро

Мета. Це дослідження спрямовано на отримання деяких відсутніх даних про морфологію річкових пісків у межах міста, зокрема, достовірних кількісних показників, які можуть бути використані в розрахунках ґрунтових основ. **Методика.** За експериментально-аналітичним методом у дослідженні був використаний комплексний показник морфології ґрунтів, який урахує форму та характер поверхні зерен у всьому досліджуваному об'ємі пісків. Морфологічне оцінювання проведено не тільки для окремих піщаних частинок, але й для всього об'єму досліджуваного ґрунту тому важливим фактором створення форми та характеру поверхні піщаних зерен є мінеральний склад піску. У більшості вивчених пісків переважав такий мінерал, як кварц. У подальшому намічено вивчити піски р. Дніпро глибших горизонтів, що дозволило б отримати дані про формування контактів між піщаними зернами, які можуть бути пластинчастою або іншої форми. **Результати.** У цій роботі наведено результати визначення показника морфології, а також вивчення форми та характеру поверхні піщаних зерен алювію 1-ї підзаплавної тераси долини р. Дніпро в районі Монастирського острова (у межах центральної частини міста). Також було проаналізовано результати аналогічних робіт із вивчення генетичних типів четвертинних пісків різного генезису долини р. Дніпро. Завдяки цьому аналізу були отримані дані про морфологію мономінеральних олігоміктових алювіальних пісків, їхню форму і характер поверхні піщаних зерен алювію. **Наукова новизна.** Уперше для центральної частини міста визначено деякі основні морфологічні характеристики річкових четвертинних пісків долини Дніпра. Також можна констатувати тенденцію зниження показника морфології у річкових пісках долини Дніпра від витоків до гирла. **Практична значимість.** Результати проведених досліджень впевнено можуть бути імплементовані й до розрахунків показників піщаних ґрунтів основ будівель та споруд міста, а також штучних земляних споруд, зокрема ділянок наливних масивів.

Ключові слова: піщані ґрунти; піщані частинки; контакти між зернами; число зерен; округленість зерен; сферичність зерна; морфологія зерен; піщані фракції

Вступ

Генезис пісків, а також складність і багаточинність природного впливу на них визначають необхідність комплексного підходу до поглибленого вивчення та оцінювання їхніх будівельних властивостей. Генетичний підхід до вивчення будівельних властивостей пісків вимагає виявляти та оцінювати відповідними показниками основні генетичні ознаки; до найбільш характерних із них, що суттєво впливають на властивості пісків, слід віднести їхні морфологічні

особливості [7]. Найбільшою мірою вивчення морфологічних особливостей піщаних ґрунтів необхідне для встановлення характеру змінювання їхніх властивостей щодо поверхневих штучних споруд, насамперед наливних масивів.

У геоструктурному плані територія Дніпропетровського регіону є частиною Українського кристалічного масиву (переважно це правий берег р. Дніпро), що переходить у Дніпровсько-Донецьку западину (лівий берег р. Дніпро).

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

У геологічній будові території міста беруть участь кристалічні породи докембрію, осадова товща кайнозою (палеоген і неоген) та відклади четвертинної системи. Четвертинну систему в межах терас р. Дніпро представлено середнім та верхнім відділами. До середнього відділу належить нижня частина алювіальних пісків, що залягають на відкладах харківської світи, загальною потужністю до 11 м. До верхнього відділу віднесені алювіальні піски другої та першої надзаплавних терас р. Дніпро й суглинки другої надзаплавної тераси. Потужність алювіальних відкладів змінюється від 8 м до 30 м. Також верхню частину перерізу верхньочетвертинних відкладів складають лесоподібні суглинки жовтувато-бурого кольору, макропористі, часто грудкової структури, що містять стягнення і нальоти карбонатів, у верхньому шарі гумусовані. Переважають легкі та середні відміни, які переходять у супісок. До сучасного відділу належать алювіальні перевідкладені піски та суглинки долин річок, ярів і балок.

Мета

Припущення, що на властивості піщаних основ у долині р. Дніпро, окрім інших факторів, можуть впливати й морфологічні особливості самих піщаних відкладень алювіального генезису, неодноразово підтверджували дослідники

на практиці, проте матеріалів із цієї теми й досі вкрай недостатньо. Тому річкові піски в межах міста недостатньо вивчені.

Основною метою цього дослідження є отримання деяких відсутніх даних про морфологію річкових пісків у межах міста, зокрема, достовірних кількісних показників, які можуть бути використані у розрахунках ґрунтових основ.

Методика

Морфологічні дослідження проводять для виявлення форми і характеру поверхні зерен різних літолого-генетичних і мінералого-петрографічних різновидів пісків. У гідротехнічному та енергетичному будівництві прискорене оцінювання морфології зерен піщаних фракцій розміром 0,05...2,0 мм проводять так званим експрес-методом – витіканням навіски фракції повітряно-сухого піску зі стандартної скляної вирви. Умовною характеристикою загальних особливостей морфології пісків є показник морфології зерен λ , який визначають як функцію часу закінчення навішування (витікання) фракції повітряно-сухого піску з воронки. Прилад для визначення показника морфології зерен пісків та необхідне обладнання до нього показано на рис. 1.

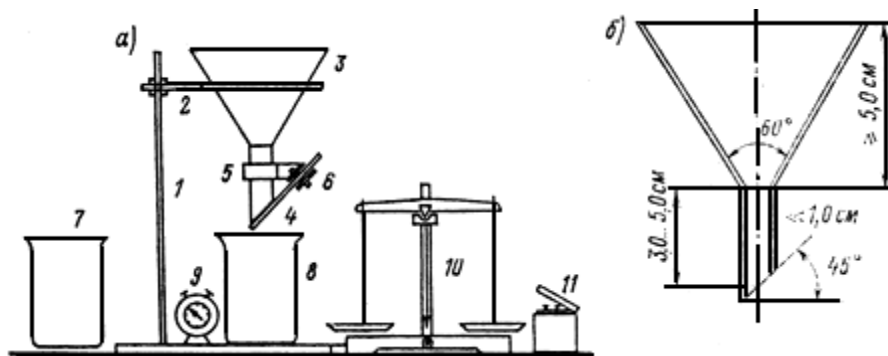


Рис. 1. Схема приладу для визначення показника морфології зерен пісків:

a – обладнання комплекту приладу; *b* – креслення вирви;

- 1 – штатив; 2 – тримач вирви; 3 – скляний корпус вирви; 4 – засувка; 5 – обойма-тримач засувки;
6 – вісь засувки; 7 – склянка для відсіпання навіски; 8 – приймальна склянка;
9 – секундомір; 10 – технічні ваги; 11 – важки

Fig. 1. Scheme of the device for determining the morphology of sand grains:

a – kit equipment; *b* – drawing of the funnel;

- 1 – tripod; 2 – funnel holder; 3 – glass funnel body; 4 – latch; 5 – latch holder; 6 – latch pin;
7 – weighing bucket; 8 – receiving bucket; 9 – stopwatch; 10 – counter balance; 11 – levers

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

На початку дослідів пісок проби висушують за температури 105 °С, після чого розсіюють на фракції, причому маса кожної одиначної фракції повинна становити 150 г. Допускається вивчення морфології зерен піску і за меншої маси контрольованих фракцій (до 50...30 г), проте зменшення маси фракції призводить до зниження точності вимірювання часу її витікання, а також потребує внесення коректив у розрахункові залежності.

Нижче наведено значення поправкового коефіцієнта K_1 для нестандартних мас навішування: у разі маси фракцій (у грамах) 150; 100; 50; 30 значення коефіцієнта K_1 буде становити 1; 1,3; 3,0; 5,4 відповідно.

Навіску кожної фракції пропускають через вирву з вимірюванням часу її висипання. Кількість паралельних дослідів має забезпечувати визначення достовірного значення середнього часу закінчення навішування фракції досліджуваного піску. Рекомендовано проводити не менше ніж 10–15 паралельних дослідів. Після закінчення кожного дослідів проводять контрольне зважування навіски фракції досліджуваного піску.

Первинну обробку отриманих даних проводять у процесі дослідів; вона полягає в обчисленні для кожної фракції середнього часу витікання навіски піску (td_{cp}) й відповідного показника морфології зерен цієї фракції (λ).

Середній час витікання навіски фракції досліджуваного піску визначають як середньо-арифметичне значення часу витікання показників усіх проведених дослідів.

Для цілей оперативного геотехнічного контролю за зведенням земляних споруд із використанням піщаних ґрунтів рекомендовано використовувати таку формулу:

$$\lambda = A / (K_1 td_{cp} a) \quad (1)$$

де td_{cp} – час витікання навіски фракції досліджуваного піску, с; K_1 – коефіцієнт, що залежить від маси досліджуваної навіски; a – коефіцієнт, який дорівнює 4,3 в разі діаметра вирви 1 см; A – коефіцієнт, який залежить (у загальному випадку) від розміру, щільності твердих частинок і маси навіски фракції досліджуваного піску (беремо за табл. 1).

Таблиця 1

Значення коефіцієнта A для фракцій піску різної щільності

Table 1

The value of the coefficient A for sand fractions of different densities

Щільність твердих частинок, г/см ³	Значення коефіцієнта A для фракцій піску, мм				
	0,05...0,1	0,1...0,25	0,25...0,5	0,5...1,0	1,0...2,0
2,64	3,32	4,14	5,12	6,55	9,79
2,65	3,31	4,12	5,11	6,54	9,75
2,66	3,30	4,10	5,09	6,50	9,70
2,67	3,28	4,09	5,06	6,49	9,67

Остаточна обробка отриманих даних полягає у визначенні числових (стандартних) значень показників форми зерен пісків, класифікації пісків за морфологією зерен і в графічному зображенні отриманих результатів. Визначення числових значень стандартних показників форми зерен α , β , K проводять на підставі кореляційних залежностей між ними та за показником морфології зерен λ . Значення коефіцієнта сферичності β визначають за такою формулою:

$$\beta = K / \alpha \quad (2)$$

де α і K – коефіцієнти заокругленості та форми зерен відповідно, що визначені за спеціальними графіками залежно від показника морфології зерен λ .

Для полегшення виявлення характеристик піску також запропоновано об'єднаний графік (рис. 2).

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

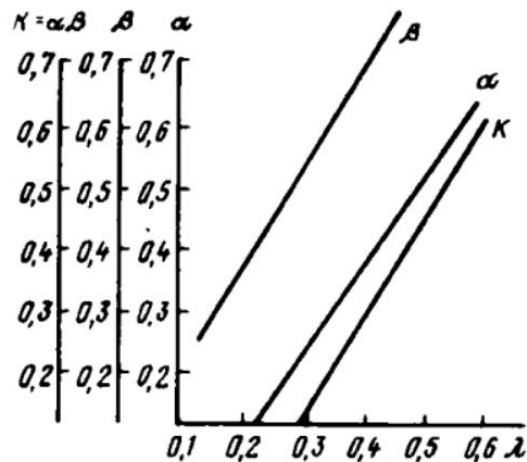


Рис. 2. Залежність морфологічних параметрів зерен пісків різного генезису та складу від узагальненого показника морфології зерен λ (за А. Д. Потаповим)

Fig. 2. Dependence of morphological parameters of sand grains of different genesis and composition on the generalized indicator of morphology λ (according to Potapov A. D.)

Для практичних цілей за морфологічними ознаками піски можна поділити на два типи залежно від ступеня обробки піщаних фракцій, а також ще на 4 підтипи – за характером округленості та сферичності зерен переважної фракції

(див. табл. 2). Окрім того, морфологічний вид піску допускається встановлювати за візуальними спостереженнями над зернами за допомогою бінокулярного мікроскопа, а також за фотографіями зерен на електронному мікроскопі [8].

Таблиця 2

Класифікація піску за основними морфологічними ознаками

Table 2

Sand classification according to basic morphological features

Тип піску	Підтип піску
Необроблений, $\lambda \leq 0,4$	Кутасто-несферичний, $\alpha \leq 0,35$; $\beta \leq 0,8$
	Кутасто-сферичний, $\alpha \leq 0,35$; $\beta > 0,8$
Оброблений, $\lambda > 0,4$	Округлено-несферичний, $\alpha > 0,35$; $\beta \leq 0,8$
	Округлено-сферичний, $\alpha > 0,35$; $\beta > 0,8$

Результати

Наведені дослідження були далеко не єдиними цьому питанню різні автори приділяли пильну увагу, особливо в останні роки. Зокрема, у роботах [5, 6] ідеться про вивчення кількох видів пісків континентального генезису четвертинного віку. Було запропоновано морфогенетичний ряд, який описує залежність формування морфологічних параметрів пісків (ступеня обробленості піщаних зерен) від ступеня впливу на

них зовнішніх факторів обробки частинок у різних умовах: флювіального, еолового, гляціального та ін. Цей ряд виглядає таким чином: fgQIV – eo-mQIV – aQIV. Він показує, що зі зростанням ступеня впливу зовнішніх факторів на перевідкладання піску показник морфології піщаних частинок зростає. Найбільш характерна форма піщаних частинок як отримана в результаті обробки і має мінімальну поверхневу енергію, – це сфера або еліпсоїд. Це зумовлено насамперед тим, що в континентальних умовах утворю-

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

ються переважно кварцові піски, рідше кварцово-польовошпатові, хоча зустрічаються досить часто олігоміктові і навіть поліміктові відміни, що залежить від конкретної генетичної обстановки їхнього формування. Переважання в них кварцу продиктовано головним чином його особливостями, а саме: великою стійкістю до вивітрювання, твердістю та опором стиранню під час перенесення у водному або повітряному середовищі. Унаслідок цього кварцові зерна за своєю морфологією (формою та характером поверхні) можуть бути цілком точним генетичним індикатором.

До того ж, з погляду оцінювання загальних морфологічних особливостей пісків, крім установа форми їхніх частинок, важливим є врахування характеру поверхні піщаних зерен. Для цих цілей свого часу і був запропонований показник морфології пісків λ , який комплексно описує як особливості їхньої форми, так і характер поверхні піщаних частинок у всьому досліджуваному об'ємі піщаного ґрунту.

Із піщаних відкладів долини Дніпра було вивчено кілька генетичних різновидів пісків, зерна яких у результаті постгенетичних процесів набули різної форми. У табл. 3 наведено характеристику складу та морфологічних особливостей вивчених пісків долини р. Дніпро.

Таблиця 3

Характеристика складу та морфологічних особливостей пісків долини р. Дніпро

Table 3

Characteristics of the composition and morphological features of the sands of the Dnieper River valley

Генетичний індекс піску	Місце відбору проби	Характеристика гранулометричного складу піску	Мінеральний склад піску	Показник морфології λ	Характеристика піску за морфологією
aQIV	Трипільська ТЕЦ	Дрібні однорідні	Полімінеральні піски	0,449	Оброблені, округлено-сферичні, грубополіровані, великою часті
aQIV	Чигиринська ДРЕС	Дрібні однорідні	Мономінеральні	0,324	Необроблені, кутасто-несферичні, лускаті
aQIV	Придніпровськ, район гирла р. Самари	Дрібні однорідні	Мономінеральні	Немає даних	Зерна незграбні, слабо або добре округлені в рівних співвідношеннях, із гладкою блискучою поверхнею частинок

Як впливає з табл. 3, дані про числові показники морфології пісків у районі міста Дніпро відсутні.

У цілому нині отримані дані дозволяють використовувати положення роботи В. І. Осипова для природних піщаних ґрунтів різного складу та морфологічних особливостей [2]. Як уже було зазначено, морфологічні особливості пісків, які є невід'ємною їхньою структурною характеристикою, багато в чому визначають максимальну молекулярну вологоємність, граничні щільності складання пісків. Ці показники, своєю чергою,

впливають на міцнісні та деформаційні характеристики піску. Установлено, наприклад, що за різного складу фільтрувальної рідини вони впливають і на суфозійну стійкість [3, 4, 10–12].

Проби піщаних ґрунтів для лабораторних досліджень були відібрані з 2-х суміжних виробок пляжної зони Монастирського острова з боку Архієрейської протоки, розташованих за 350 м на південний схід від Мерефо-Херсонського мосту. Ділянка відбору проб піску умовно

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

може бути віднесена до 1-ї підзаплавної тераси правого берега долини р. Дніпро. Слід відзначити, що, за архівними даними, пляжі Монастирського (колишнього Комсомольського) острова є переважно штучними, утвореними або шляхом попереднього намівання, або відсіпанням привезеного піску (у пізніші часи), особливо це стосується ділянки пляжу з боку фарватера річки. Ця обставина була врахована під час визначення точок відбору проб піску.

Найближча до точки відбору проб піску ділянка, для якої було виконано аналіз, що підтверджує властивості річкових пісків, розташована навпроти Монастирського острова у гирлі р. Самари [1]. Згідно з даними досліджень, піски зазначеного району кварцові, сірі та жовтуваті-сірі, дрібнозернисті, однорідні, мономінеральні. Їхній мінеральний склад: кварц – від 91,0 до 94,9 %, польовий шпат – 3–4 % та глауконіт – до 0,5 %. Трапляються поодинокі вclusions опалу. Слюд та органіки немає. Глинистих мінералів незначна кількість. Переважна фракція зерен піску – 0,16–0,32 мм. Модуль крупності піску – 0,5–1,9. Піски належать до погано відсортованих. Щільність частинок піску становить у середньому 2,62 г/см³. Однак, за іншими даними, щільність частинок четвертинних алювіальних пісків району міського річкового порту

становить 2,61 і 2,66 г/см³, за даними ж досліджень по трасі метрополітену вона становить 2,66 г/см³, а на ж/м Червоний Камінь та Покровський (колишній Комунар) – по 2,65 г/см³. Середньозважене значення щільності частинок піску, узяті для розрахунків, становить 2,64 г/см³. За даними ж випробування річкових пісків у районі річпорту та старого залізничного мосту, а також ж/м Червоний Камінь та Покровський, фракцією гранулометричного складу, що переважає, є саме фракція 0,1–0,25 мм, що в цілому узгоджується з показниками пісків гирла Самари [9]. Таким чином, результати проведених досліджень за припущеннями можуть бути імплементованими і до розрахунків за точками відбору на Монастирському острові. Але слід також відзначити, що досить часто такі намівні піски за гранулометричним складом у верхній частині перерізу належать не тільки до дрібних, але й до середніх відмін. Це стосується і пісків Монастирського острова.

Відбір, обробку та аналіз проб пісків виконали фахівці випробувальної лабораторії ТОВ «ДНІПРОГЕОАЛЬЯНС» (м. Дніпро) у березні 2022 р. Визначено середньозважений гранулометричний склад пісків Монастирського острова (табл. 4).

Таблиця 4

Середньозважений гранулометричний склад пісків Монастирського острова

Table 4

The weighted average granulometric composition of the sands of the Monastyrskiy Island

Діаметри частинок, мм	Вміст фракцій, %
2–5	0,95
1–2	1,9
0,5–1	13,78
0,25–0,5	44,72
0,1–0,25	38,28
<0,1	0,37

Визначено, що піски кварцові, сірі, більш однорідні, мономінеральні, середньої крупності. У пробах піску наявні поодинокі вclusions дрібного гравію, черепашнику, слідів ор-

ганіки. Як впливає з табл. 4, переважають фракції 0,25–0,5 і 0,1–0,25 мм. Як неодноразово було вказано в профільній технічній літературі, у визначенні морфологічних показників пісків із

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

фракцією менше ніж 0,1 мм немає сенсу, оскільки частинки дрібних фракцій переважно переносяться у зваженому стані й тому повільно змінюють свою форму. Також немає сенсу, виходячи з вимог забезпечення стандартної маси навіски й мінімально необхідної кількості паралельних дослідів, що разом впливають на точність розрахунків, у визначенні показників незначно або мало представлених фракцій. Таким чином, морфологічні показники визначені лише для фракцій 0,25–0,5 та 0,1–0,25 мм, що переважають. Проте, ураховуючи наявність у пробах відносно значної кількості піску з фракцією 0,5–1,0 мм, його також було взято до обробки для отримання представницьких результатів.

Значення коефіцієнта A за табл. 1 для розрахунку параметрів морфології, згідно з даними розсівання пісків за взятою середньозваженою щільністю частинок $2,64 \text{ г/см}^3$, аналізованих для фракцій становить:

0,5–0,1 мм – 6,55;
0,25–0,5 мм – 5,12;
0,1–0,25 мм – 4, 14.

Відповідно до формули (1) числові значення показників морфології пісків λ для фракцій будуть такими:

0,5–0,1 мм – 0,250;
0,25–0,5 мм – 0,210;
0,1–0,25 мм – 0,196.

Для розрахунку середньозваженого значення $\lambda_{\text{ср.}}$ пісків Монастирського острова було використано формулу (3) (див. Додаток 11 РД 34 15.073–91). На підставі розрахунку, відповідно до відсоткового вмісту випробуваних фракцій, для проб піску згідно з табл. 4, середньозважений показник морфології зерен $\lambda_{\text{ср.}}$ для пісків Монастирського острова становив 0,210.

За комплексом морфологічних параметрів зерна всіх фракцій піску, згідно з номограмами рис. 2 та табл. 2, належать до необроблених ($\lambda \leq 0,4$), кутасто-несферичних ($\alpha \leq 0,35$; $\beta \leq 0,8$). Під мікроскопом поверхня частинок кварцу гладка, блискуча. Більш детальна характеристика піщаних зерен різних фракцій, відповідно до табл. 11 «Рекомендацій із комплексного вивчення та оцінки будівельних властивостей піщаних ґрунтів...», така:

а) фракція 0,5–0,1 мм: за коефіцієнтом округленості α зерна фракції кутасті, за коефіцієнтом сферичності β класифікуються як дуже несферичні, а за показником морфології λ – як необроблені;

б) фракції 0,25–0,5 і 0,1–0,25 мм: за коефіцієнтом округленості α зерна фракцій дуже кутасті, за коефіцієнтом сферичності β класифікуються як несферичні та анізотричні, а за показником морфології λ – як дуже необроблені.

Наукова новизна та практична значимість

За наукову новизну цієї роботи можна вважати отримання числових параметрів морфології для алювіальних пісків центральної частини міста Дніпро (Монастирський острів). Доповнивши отриманими числовими значеннями дані, відсутні в табл. 3 щодо району міста, можна відзначити тенденцію зниження показника морфології у річкових пісках долини Дніпра від витоків до гирла. Але оскільки вже виконані дослідження є за фактом точковими, для підтвердження цього припущення необхідно провести численні дослідження пісків нижче за течією, наприклад, у районі Запоріжжя, Енергодара, Каховки та Херсона. Також необхідно виконати морфологічне вивчення річкових пісків долини Дніпра з глибших горизонтів, що дозволило би отримати дані щодо формування контактів між піщаними зернами, які відмінні від сфери і можуть бути пластинчастою та іншою форми.

Результати проведених досліджень можуть бути імплементовані до розрахунків показників піщаних ґрунтів основ будівель та споруд міста, а також штучних земляних споруд, зокрема наливних масивів, гідротехнічних споруд енергетичних об'єктів – ставків-охолоджувачів АЕС та ТЕС, різних гребель, ґрунтових підходів до транспортних споруд.

Висновки

У цій роботі наведено результати визначення деяких морфологічних характеристик піщаних зерен алювію 1-ї підзапальної тераси долини р. Дніпро у межах Монастирського острова.

У результаті проведення досліджень зразків алювіальних пісків було встановлено, що середньозважений показник морфології для пісків

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Монастирського острова складає 0,210. За основними морфологічними ознаками зерна всіх основних фракцій пісків належать до необроблених, кустано-несферичних. Також були проаналізовані результати аналогічних робіт із вивчення генетичних типів четвертинних пісків різного генезису долини р. Дніпро, з яких отримані дані про морфологію мономінеральних олігоміктових алювіальних пісків, форму та характер поверхні піщаних зерен алювію.

Слід зазначити, що деякі морфологічні характеристики річкових четвертинних пісків долини р. Дніпро в межах міста було отримано вперше. На підставі цих даних можна констатувати тенденцію зниження показника морфології у річкових пісків долини Дніпра від витоків до гирла. У подальшому намічено вивчити річкові піски долини Дніпра з глибших горизонтів із метою отримання даних про формування контактів між зернами піску несферичної, пластинчастої або іншої форми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кухарь В. Ю., Зиборов А. П. О необходимости научного обеспечения перевода на большие глубины добычных работ на месторождениях строительных материалов шельфа Чёрного моря. *Геология и корисні копалини світового океану*. 2007. № 1 (7). С. 120–130.
2. Осипов В. И. *Физико-химическая теория эффективных напряжений в грунтах*. Москва : ИФЗ РАН, 2012. 74 с.
3. Платов Н. А., Потапов А. Д., Лебедева М. Д. *Песчаные грунты*. Москва : Изд-во АСВ, 2010. 254 с.
4. Потапов И. А., Шименкова А. А., Потапов А. Д. Зависимость суффозионной устойчивости песчаных грунтов различного генезиса от типа фильтра. *Вестник МГСУ*. 2012. № 5. С. 79–86.
5. Потапов А. Д., Потапов И. А., Шименкова А. А. Некоторые аспекты применимости к песчаным грунтам положений физико-химической теории эффективных напряжений. *Вестник МГСУ*. 2012. № 10. С. 229–239.
6. Потапов А. Д. *Морфологическое изучение песков в инженерно-геологических целях* : дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. Москва : ПНИИИС, 1981. 243 с.
7. *Рекомендации по комплексному изучению и оценке строительных свойств песчаных грунтов*. ПНИИИС Госстроя СССР, МИСИ им. Куйбышева. Москва : Стройиздат, 1984. 212 с.
8. *Руководство по геотехническому контролю за подготовкой оснований и возведением грунтовых сооружений в энергетическом строительстве РД 34 15.073-91 ВНИИГ*. Ленинград, 1991. 434 с.
9. Слюсаренко С. А., Степаненко Г. Н., Глотова М. А., Новиков М. Ф. *Проектирование и устройство фундаментов на намывных песчаных грунтах*. Киев : Будівельник, 1990. 128 с.
10. Bely L. D., Doudler I. V., Mosiakov E. F., Potapov A. D., Julin A. N. Research methods and evaluation of various genesis sand grain morphology role in formation of their geological-engineering properties. *Bulletin of IAEG*. 1975. Vol. 11. P. 27–31. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02635447>
11. Doudler I. V., Mosiakov E. F., Potapov A. D. *Influence of characteristic moisture content values on physico-chemical properties of sands of various genesis*. Moscow : Moscow Institute of Civil Engineering, 1974. Iss. II (4). pp. 14–17.
12. Supriani F., Islam M., Afrizal Y. Sand type characteristics analysis and mapping in Bengkulu. *IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science* (West Sumatra, 15–16 November, 2018). West Sumatra, 2019. Vol. 314. Iss. 1. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/314/1/012058>
13. Xie Y., Dang X., Zhou Y., Hou Z., X. Li, Jiang H., ... Zhou R. Using sediment grain size characteristics to assess effectiveness of mechanical sand barriers in reducing erosion. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 210. P. 87–92. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71053-3>
14. Yamei H., Lihua W. Effect of Particle Shape of Limestone Manufactured Sand and Natural Sand on Concrete. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 210. P. 87–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.052>

V. Y. ULYANOV^{1*}

^{1*}Dep. «Engineering Geology and Geotechnics», Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevskoho St., 24 a, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756 33 43, e-mail ulyanovvu@gmail.com, ORCID 0000-0002-9028-3408

Morphological Evaluation Results of Some Features of Alluvial Sands in the City of Dnipro

Purpose. The research is aimed to obtain some missing data on the morphology of river sands within the city, in particular, reliable quantitative indicators that can be used in the calculation of soil bases. **Methodology.** According to the experimental-analytical method, a complex soil morphology was used, which takes into account the shape and nature of the grain surface in the entire sand volume studied. Morphological assessment was carried out not only for individual sand particles, but also for the entire volume of the soil studied, due to this an important factor in the formation of the shape and nature of the sand grain surface is the mineral composition of sand. For the most of the studied sands, quartz was the predominant mineral. In further studies, it is planned to study the Dnipro River sands of deeper horizons, which would make it possible to obtain data on the formation of contacts between sand grains, which can be lamellar or other shapes. **Findings.** This paper presents the results of determining morphological indicator, as well as studying the shape and nature of the surface of alluvial sand grains of the 1st floodplain terrace of the Dnieper River valley in the area of Monastyrskiy Island in the central part of the city. The results of similar works on the study of a number of genetic types of Quaternary sands of various genesis in the Dnieper River valley were also analyzed. Due to this analysis, data were obtained on the morphology of monomineral oligomictic alluvial sands, the shape and nature of the alluvium sand grains surface. **Originality.** For the first time for the central region of the city, some basic morphological characteristics of river Quaternary sands of the Dnieper River valley were obtained. It is also possible to note the tendency of decrease of morphology indicator in river sands of the Dnieper valley from sources to the mouth. **Practical value.** With all confidence, the results of the studies carried out can be implemented in the sandy soils of the foundations of buildings and structures of the city, as well as to artificial earthworks, in particular, alluvial massifs.

Keywords: sandy soils; sand particles; intergranular contacts; number of grains; grain roundness; grain sphericity; grain morphology; sand fractions

REFERENCES

1. Kukhar, V. Yu., & Ziborov, A. P. (2007). O neobkhodimosti nauchnogo obespecheniya perevoda na bolshie glubiny dobychnykh rabot na mestorozhdeniyakh stroitelnykh materialov shelfa Chernogo morya. *Geology and Mineral Resources of World Ocean*, 1(7), 120-130. (in Russian)
2. Osipov, V. I. (2012). *Fiziko-khimicheskaya teoriya effektivnykh napryazheniy v gruntakh*. Moscow: IFZ RAN. (in Russian)
3. Platov, N. A., Potapov, A. D., & Lebedeva, M. D. (2010). *Peschanye grunty*. Peschanye grunty. Moscow: Izdatelstvo ASV. (in Russian)
4. Potapov, I. A., Shimenkova, A. A., & Potapov, A. D. (2012). Dependence of suffosion stability of sandy soils of various geneses on the type of filtrate. *Vestnik MGSU*, 5, 79-86. (in Russian)
5. Potapov, A. D., Potapov, I. A., & Shimenkova, A. A. (2012). Particular Aspects of Applicability of Provisions of the Physical and Chemical Theory of Effective Stresses to Sandy Soils. *Vestnik MGSU*, 10, 229-239. (in Russian)
6. Potapov, A. D. (1981). *Morfologicheskoe izuchenie peskov v inzhenerno-geologicheskikh tselyakh* (PhD dissertation). Moscow: PNIIS. (in Russian)
7. *Rukovodstvo po geotekhnicheskomu kontrolyu za podgotovkoy osnovaniy i vozvedeniyem gruntovykh sooruzheniy v energeticheskom stroitelstve RD 34 15.073-91 VNIIG*. (1991). Leningrad. (in Russian)
8. *Rekomendatsii po kompleksnomu izucheniyu i otsenke stroitelnykh svoystv peschanykh gruntov*. (1984). PNIIS Gosstroya SSSR, MISI im. Kuybysheva. Moscow: Stroyizdat. (in Russian)
9. Slyusarenko, S. A., Stepanenko, G. N., Glotova, M. A., & Novikov, M. F. (1990). *Proektirovanie i ustroystvo fundamentov na namyvnykh peschanykh gruntakh*. Kiev: Budivelnik. (in Russian)
10. Bely, L. D., Doudler, I. V., Mosiakov, E. F., Potapov, A. D., & Julin, A. N. (1975). Research Methods and Evaluation of Various Genesis Sand Grain Morphology Role in Formation of Their Geological-engineering Properties. *Bulletin of IAEG*, 11, 27-31. (in English)
11. Doudler, I. V., Mosiakov, E. F., & Potapov, A. D. (1974). *Influence of characteristic moisture content values on physical-chemical properties of sands of various genesis* (Iss. II(4), pp. 14-17). Moscow: Moscow Institute of Civil Engineering. (in English)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

12. Yamei, H., & Lihua, W. (2017). Effect of Particle Shape of Limestone Manufactured Sand and Natural Sand on Concrete. *Procedia Engineering*, 210, 87-92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.052> (in English)
13. Xie, Y., Dang, X., Zhou, Y., Hou, Z., Li, X., Jiang, H., ... & Zhou, R. (2020). Using sediment grain size characteristics to assess effectiveness of mechanical sand barriers in reducing erosion. *Scientific Reports*, 210(1), 87-92. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71053-3> (in English)
14. Supriani, F., Islam, M., & Afrizal, Y. (2019). Sand type characteristics analysis and mapping in Bengkulu. In *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 314, Iss. 1, pp. 1–11). Indonesia. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/314/1/012058> (in English)

Надійшла до редколегії: 11.08.2021

Прийнята до друку: 10.12.2021

Тематичний покажчик журналу «Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна» за 2021 рік

Назва статті	№ журналу	Стор.
Автоматизовані системи управління на транспорті		
<i>О. О. ГОЛОЛОБОВА, С. Ю. БУРЯК, В. І. ГАВРИЛЮК, Р. В. МАРКУЛЬ, А. М. АФАНАСОВ, Д. С. БІЛУХІН</i>		
Визначення причин порушень у роботі автоматичної локомотивної сигналізації	6	5
<i>К. В. ГОНЧАРОВ, Р. В. РИБАЛКА</i>		
Багатозначна система автоматичної локомотивної сигналізації на базі технології CDMA	6	14
Екологія та промислова безпека		
<i>Л. В. АМЕЛІНА, М. М. БІЛЯЄВ, О. В. БЕРЛОВ, О. О. ВЕРГУН, Т. І. РУСАКОВА</i>		
Моделювання забруднення довкілля в разі емісії аміаку з пошкодженого трубопроводу	1	5
<i>М. М. БІЛЯЄВ, М. В. ЛЕМЕШ, В. О. ЗАДОЯ, П. Б. МАШИХІНА, Л. Г. ТАТАРКО, З. М. ЯКУБОВСЬКА</i>		
Моделювання біологічного очищення стічних вод в аеротенку з рухомим біоценозом	1	15
Економіка та управління		
<i>Є. В. НАГОРНИЙ, І. Є. ІВАНОВ</i>		
Структура корисності обслуговування населення пасажирським транспортом	2	5
<i>О. А. ХОДОСКІНА, О. Ю. МОЇСЄЄНKOBA</i>		
Місце транспорту в збутовій політиці промислового підприємства	4	5
Експлуатація та ремонт засобів транспорту		
<i>В. В. БУРЧЕНKOB</i>		
Удосконалення методики розміщення периферійних пристроїв контролю технічного стану рухомого складу	1	25
<i>Т. В. БУТЬКО, В. М. ПРОХОРОВ, Л. О. ПАРХОМЕНКО, А. О. ПРОКОПОВ</i>		
Удосконалення технології пасажирських інтермодальних перевезень із залученням залізничного транспорту в умовах розвитку туризму	1	37
<i>Д. М. КОЗАЧЕНКО, А. І. ВЕРЛАН, Р. Г. КОРОБИОВА</i>		
Розвиток аналітичних методів розрахунку норм часу на маневрові операції	1	51
<i>В. О. ХАВРУК, О. О. ПАРХОМЕНКО</i>		
Критерії оцінки й вибору рухомого складу АТП	2	17
<i>В. В. БУРЧЕНKOB</i>		
Оцінка впливу інформації про тип підшипника буксового вузла вагонів на точність автоматичної класифікації букс, що гріються	3	5
<i>К. М. РАЗУМОВА, О. А. ТЕМЧЕНКО, С. В. МАКСИМОВ, О. С. МАКСИМОВА</i>		
Дослідження впливу тривалості вантажно-розвантажувальних робіт на ефективність використання технологічного автотранспорту на залізничних кар'єрах	6	24
Електричний транспорт, енергетичні системи та комплекси		
<i>М. О. КОСТІН, А. М. МУХА, О. Г. ШЕЙКІНА, О. Я. КУРІЛЕНКО</i>		
Визначення енергетичної та електричної ємностей бортового суперконденсаторного накопичувача енергії регенерації	2	29
<i>Т. М. МІЩЕНКО</i>		
Методологія та моделі комбінованого моделювання електромагнітних процесів у системах електричної тяги	2	40

Назва статті	№ журналу	Стор.
<i>О. Л. МАРЕНИЧ, О. О. КАРЗОВА</i> Збільшення коефіцієнта потужності електроприводів маневрових залізничних лебідок	5	5
<i>Д. В. УСТИМЕНКО, АЛЬ САІД АХМАД МОХАММАД АХМАД ДІАБ</i> Удосконалення методу стендових випробувань ковзних контактів електротранспорту	5	17
<i>С. В. ПЛАКСІН, А. М. МУХА, Д. В. УСТИМЕНКО, М. Я. ЖИТНИК, Р. Ю. ЛЕВЧЕНКО, Є. М. ЧУПРИНА, О. О. ГОЛОТА</i> Метод оперативного контролю та управління електрохімічним накопичувачем енергії у складі систем електрозабезпечення транспортних засобів	6	39
Залізнична колія та автомобільні дороги		
<i>Д. П. ХОДОСКІН</i> Визначення резервів зниження затримок і збільшення пропускної здатності вулично-дорожньої мережі м. Гомель як фактор скорочення збитків в дорожньому русі	1	65
<i>О. М. ПАТЛАСОВ, Є. М. ФЕДОРЕНКО</i> Допустимі значення динамічної дії рухомого складу на залізничну колію в разі підвищення осьового навантаження	3	15
<i>М. Б. КУРГАН, Д. М. КУРГАН, С. Ю. БАЙДАК, Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА, Р. Б. НОВІК</i> Зниження інтенсивності розладів залізничної колії за рахунок удосконалення параметрів плану лінії під час паспортизації кривих	6	53
Інформаційно-комунікаційні технології та математичне моделювання		
<i>І. В. ДОМАНСЬКИЙ, В. О. ВАСЕНКО</i> Удосконалення відеовимірjuвальних систем діагностики електротягової мережі	1	73
<i>В. В. СКАЛОЗУБ, В. М. ГОРЯЧКІН, О. В. МУРАШОВ</i> Комплексні моделі впорядкування мультипослідовностей із нечіткими параметрами	2	50
<i>О. О. ЖЕВАГО</i> Огляд інструментів збору даних про процеси розробки та налагодження програмного забезпечення з інтегрованих середовищ розробки	3	24
<i>В. М. ПАХОМОВА, А. О. ОПРЯТНИЙ</i> Програмна модель для визначення оптимальних маршрутів у комп'ютерній мережі за двоколоніальним мурашиним алгоритмом	3	38
<i>О. С. КУРОП'ЯТНИК, Б. М. ЯКОВЕНКО</i> Визначення відповідності тексту алгоритму програми на основі конструктивно-продукційної моделі графа керування	4	12
<i>Д. С. АСТАХОВ, Н. О. ЛИСЕНКО, В. Б. МАЗУРЕНКО, А. І. ФЕДОРОВИЧ</i> Аналіз сучасного антивірусного програмного забезпечення в задачах кібербезпеки	5	27
<i>О. В. ГОРБОВА, О. Д. МЕРЗЛИЙ</i> Дослідження автомобільних потоків засобами імітаційного моделювання	5	36
<i>О. В. ГОРБОВА, М. С. МУРКОВИЧ</i> Дослідження складних процесів на основі поетапного моделювання	5	51
<i>О. В. ГОРБОВА, О. А. СИРОТА</i> Дослідження наслідків використання патернів і загальноприйнятих підходів у побудові архітектури кросплатформних додатків	6	65
<i>Т. Ф. МИХАЙЛОВА, Ю. А. МАКСИМЕНКОВА</i> Задача мінімаксного оцінювання функціоналів для нестационарних процесів дифузії	6	77

Назва статті	№ журналу	Стор.
Матеріалознавство		
<i>Ю. І. ГЕЗЕНЦВЕЙ, Д. О. БАННИКОВ</i> Застосування дрібнозернистих термозміцнених сталей для підвищення експлуатаційних якостей бункерних ємностей із тонкостінних оцинкованих профілів	1	84
<i>І. О. ВАКУЛЕНКО, Д. М. БОЛОТОВА, С. В. ПРОЙДАК, Б. КУРТ, А. Е. ЕРДОГДУ, Г. О. ЧАЙКОВСЬКА, Х. АСКЕРОВ</i> Деформаційне зміцнення низьковуглецевої сталі в області переривчастої течії	2	65
<i>О. І. БАБАЧЕНКО, Т. В. БАЛАХАНОВА, О. А. САФРОНОВА, Г. А. КОНОНЕНКО, К. Г. ДЬОМІНА</i> Вплив методів гарячого деформування на пророблюваність металу за перерізом під час виробництва осьових заготовок	5	60
Машинобудування		
<i>О. С. КУРОП'ЯТНИК</i> Параметрична оптимізація стрічкових конвеєрів за критерієм енергоефективності	3	50
Рухомий склад і тяга поїздів		
<i>Л. А. МУРАДЯН, І. В. ПІЦЕНКО, В. Ю. ШАПОШНИК</i> Математична модель визначення ризиків на залізничному транспорті під час діагностики буксових вузлів вантажних вагонів	1	94
<i>О. В. ФОМІН, А. О. ЛОВСЬКА</i> Дослідження вертикальної динаміки несучих конструкцій вантажних вагонів із круглих труб	1	104
<i>А. О. ЛОВСЬКА, О. В. ФОМІН, А. В. РИБІН</i> Дослідження динамічної навантаженості несучої конструкції піввагона з пружно-в'язким наповнювачем у хребтовій балці	3	59
<i>А. Я. КУЗИШИН, С. А. КОСТРИЦЯ, Ю. Г. СОБОЛЕВСЬКА, А. В. БАТІГ</i> Світовий досвід створення математичних моделей пневматичної ресори: переваги та недоліки	4	25
<i>М. А. БАРИБІН, А. П. ФАЛЕНДИШ, О. В. КЛЕЦЬКА, Д. А. ІВАНЧЕНКО, О. В. КІРІЦЕВА</i> Удосконалення тягових розрахунків та режимів ведення тягового рухомого складу	5	71
<i>В. Г. РАВЛЮК, Н. Ю. ЛАМНАУЕР, І. Ш. ОГЛИ ЕЛЯЗОВ, І. К. КИРИЧЕНКО, Н. М. СКУБАК</i> Оцінка ресурсу гальмових колодок вантажних вагонів в умовах експлуатації	5	84
<i>А. М. АФАНАСОВ, С. В. АРПУЛЬ, Д. С. БІЛУХІН, А. Я. ШЕМЕТ, В. Є. ВАСИЛЬСЬВ, О. О. ГОЛОЛОБОВА, Р. В. МАРКУЛЬ</i> Використання глибокого послаблення збудження для тягових двигунів магістральних електровозів	6	84
Транспортне будівництво		
<i>С. В. КЛЮЧНИК</i> Дослідження роботи вузла поперхового сполучення балок проїзної частини залізничного моста	1	115
<i>А. О. ІЧЕТОВКІН</i> Методика оцінки параметрів у механізмі вибору організаційно-технологічних рішень	2	76
<i>В. Ю. УЛЬЯНОВ</i> Шляхи підвищення ефективності термопресіометрії	2	84
<i>В. Г. ШАПОВАЛ, Г. П. ІВАНОВА, Р. М. ТЕРЕЩУК, О. В. НЕСТЕРОВА</i> Осідання дорожнього полотна на складених зі слабких ґрунтів основах	2	92

Назва статті	№ журналу	Стор.
<i>В. Г. ШАПОВАЛ, І. О. ПОНОМАРЕНКО, Г. П. ІВАНОВА, Р. М. ТЕРЕЩУК, Д. О. ШАШЕНКО</i>		
Визначення конструктивних параметрів дискретних утримувальних споруд	3	67
<i>Є. Е. АРУТЮНЯН</i>		
Інноваційний інструментарій удосконалення процесів організації будівництва в умовах ущільненої міської забудови	4	43
<i>Н. О. ДАНКЕВИЧ, М. В. П'ЯТНИЦЯ</i>		
Оцінка надійності та технічна діагностика мостової споруди через р. Верхня Хортиця у м. Запоріжж	4	51
<i>А. В. РАДКЕВИЧ, М. І. НЕТЕСА, А. М. НЕТЕСА</i>		
Підвищення ефективності поєднання будівельно-монтажних робіт під час улаштування нульового циклу в умовах ущільненої забудови	4	59
<i>А. А. ШУВАЄВ</i>		
Організаційно-функціональна структура системи інформаційно-аналітичного управління потоками відходів будівництва	4	69
<i>І. Ю. КЕБАЛ, О. Л. КРАСНОЩОК</i>		
Модернізація площадкового транспортера вантажопідйомністю до 250 т	5	96
<i>В. Ю. УЛЬЯНОВ</i>		
Застосування радонометрії для виявлення зон тектонічних розломів під час проходження тунелів метрополітену в м. Дніпро	5	103
<i>В. Ю. УЛЬЯНОВ</i>		
Результати морфологічного оцінювання деяких особливостей алювіальних пісків міста Дніпро	6	95

Subject index to the journal «Nauka ta Progres Transportu. Visnik
Dnipropetrovs'kogo Nacional'nogo Universitetu Zalizničnogo Transportu =
Science and Transport Progress» for 2021

Article title	Journal number	Page
Automated and Telematic Systems on Transport		
<i>O. O. HOLOLOBOVA, S. Y. BURIK, V. I. HAVRYLIUK, R. V. MARKUL, A. M. AFANASOV, D. S. BILUKHIN</i> Determination of the Origin of Failures in the Operation of the Automatic Locomotive Signaling	6	5
<i>K. V. HONCHAROV, R. V. RYBALKO</i> Multi-Valued Automatic Cab Signalling System Based on the CDMA Technology	6	14
Ecology and Industrial Safety		
<i>L. V. AMELINA, M. M. BILIAIEV, O. V. BERLOV, O. O. VERHUN, T. I. RUSAKOVA</i> Modeling of Environmental Pollution by Ammonia Emission from a Damaged Pipeline	1	5
<i>M. M. BILIAIEV, M. V. LEMESH, V. O. ZADOIA, P. B. MASHYKHINA, L. H. TATARKO, Z. M. YAKUBOVSKA</i> Simulation of Biological Wastewater Treatment in Aerotanks with Moving Biocenosis	1	15
Economics and Management		
<i>Y. V. NAHORNYI, I. Y. IVANOV</i> Structure of Passenger Transport Service Utility for Population	2	5
<i>O. A. HODOSKINA, O. Y. MOISEIENKOVA</i> Place of Transport in the Sales Policy of the Industrial Enterprise	4	5
Operation and Repair of Transport Means		
<i>V. V. BURCHENKOV</i> Improving the Methodology of Placing Peripheral Devices for Monitoring the Technical Condition of Rolling Stock	1	25
<i>T. V. BUTKO, V. M. PROKHOROV, L. O. PARKHOMENKO, A. O. PROKOPOV</i> Improvement of Technology of Passenger Intermodal Transportation with Involvement of Railway Transport in the Conditions of Tourism Development	1	37
<i>D. M. KOZACHENKO, A. I. VERLAN, R. H. KOROBIOVA</i> Development of Analytical Methods for Calculating Time Standards for Shunting Operations	1	51
<i>V. O. KHAVRUK, O. O. PARKHOMENKO</i> Criteria for Selection and Evaluation of Rolling Stock of Motor Transport Enterprises	2	17
<i>V. V. BURCHENKOV</i> Influence Assessment of the Information Concerning the Bearing Type of Axle Box of Cars on the Automatic Classification Accuracy of Heated Boxes	3	5
<i>K. M. RAZUMOVA, O. A. TEMCHENKO, S. V. MAKSYMIV, O. S. MAKSYMIVA</i> Research of Duration Influence of Loading and Unloading Operations on the Use Efficiency of Technological Motor Transport on Open Pit Iron Mines	6	24
Electric Transport, Power Systems and Complexes		
<i>M. O. KOSTIN, A. M. MUKHA, O. G. SHEIKINA, O. Y. KURILENKO</i> Determination of Energy and Electric Capacity of On-Board Supercapacitor Regenerative Energy Storage	2	29
<i>T. M. MISHCHENKO</i> Methodology and Models of Combined Modeling of Electromagnetic Processes in Electric Traction Systems	2	40

Article title	Journal number	Page
<i>O. L. MARENYCH, O. O. KARZOVA</i> Power Factor Increase of Electric Drives of Railway Shunting Winches	5	5
<i>D.V. USTYMENKO, AL SAID AHMAD MOHAMMAD AHMAD DIAB</i> Improving the Bench Testing Method of Sliding Contacts of Electric Transport	5	17
<i>S. V. PLAKSIN, A. M. MUKHA, D. V. USTYMENKO, M. Y. ZHYTNYK, R. Y. LEVCHENKO, Y. M. CHUPRYNA, O. O. HOLOTA</i> Method of Operational Control and Management of Electrochemical Energy Storage Device in the Systems of Electricity Supply of Vehicles	6	39
Railroad and Roadway Network		
<i>D. P. KHODOSKIN</i> Determination of Reserves for Reducing Delays and Increasing the Capacity of the Street-Road Network in Gomel as a Factor of Reducing Losses in Traffic	1	65
<i>O. M. PATLASOV, Y. M. FEDORENKO</i> Permissible Values of the Dynamic Impact of the Rolling Stock on the Railway Track in the Case of Axle Load Increase	3	15
<i>M. B. KURHAN, D. M. KURHAN, S. Y. BAIDAK, N. P. KHMELEVSKA, R. B. NOVIK</i> Reduction of Railway Disorders Intensity due to Improvement of Line Plan Parameters During Pasportization of Curves	6	53
Information and Communication Technologies and Mathematical Modeling		
<i>I. V. DOMANSKYI, V. O. VASENKO</i> Improvement of Video Measuring Systems for Electric Traction Network Diagnostics	1	73
<i>V. V. SKALOZUB, V. M. HORIACHKIN, O. V. MURACHOV</i> Complex Models of Ordering Multi-Sequences with Fuzzy Parameters	2	50
<i>O. O. ZHEVAHO</i> An Overview of Tools for Collecting Data on Software Development and Debugging Processes from Integrated Development Environments	3	14
<i>V. M. PAKHOMOVA, A. O. OPRIATNYI</i> Software Model for Determining the Optimal Routes in a Computer Network Based on the Two-Colonial Ant Algorithm	3	38
<i>O. S. KUROIPIATNYK, B. M. YAKOVENKO</i> Identification of the Program Text and Algorithm Correspondence Based on the Control Graph Constructive-Synthesizing Model	4	12
<i>D. S. ASTAKHOV, N. O. LYSENKO, V. B. MAZURENKO, A. I. FEDOROVYCH</i> Analysis of Modern Anti-Virus Software in Cyber Security Tasks	5	27
<i>A. V. HORBOVA, O. D. MERZLYI</i> Research of Automobile Flows by Imitation Simulation	5	36
<i>O. V. HORBOVA, N. S. MURKOVYCH</i> Research of Complex Processes Based on Step-By-Step Modeling	5	51
<i>O. V. HORBOVA, O. A. SYROTA</i> Research of the Use Consequences of Patterns and Common Approaches in the Architecture Development of Cross-Platform Application	6	65
<i>T. F. MYKCHAILOVA, Y. A. MAKSYMENKOVA</i> The Problem of Minimax Estimation of Functionals for Non-Stationary Diffusion Processes	6	77

Article title	Journal number	Page
Material Science		
<i>Y. I. HEZENTSVEI, D. O. BANNIKOV</i> Use of Fine-Grained Heat-Strengthened Steels to Increase the Operation Qualities of Bunker Capacities from Thin-Walled Galvanized Profiles	1	84
<i>I. O. VAKULENKO, D. M. BOLOTOVA, S. V. PROIDAK, B. KURT, A. E. ERDOGDU, H. O. CHAIKOVSKA, K. ASGAROV</i> Strain Hardening of Low-Carbon Steel in the Area of Jerky Flow	2	65
<i>O. I. BABACHENKO, T. V. BALAKHANOVA, O. A. SAFRONOVA, H. A. KONONENKO, K. H. DOMINA</i> Impact of Hot Deformation Methods on Metal Workability along the Section During the Production of Axle Billets	5	60
Mechanical Engineering		
<i>O. S. KUROIPIATNYK</i> Parametric Optimization of Belt Conveyors by Energy Efficiency Criterion	3	50
Rolling Stock and Train Traction		
<i>L. A. MURADIAN, I. V. PITSENKO, V. Y. SHAPOSHNYK</i> Mathematical Model of Risks in Railway Transport During Diagnostics of Axle Boxes of Freight Cars	1	94
<i>O. V. FOMIN, A. O. LOVSKA</i> Research of the Vertical Dynamics of the Supporting Structures of Freight Cars Made of Round Pipes	1	104
<i>A. O. LOVSKA, O. V. FOMIN, A. V. RYBIN</i> Dynamic Loading Research of the Gondola car Supporting Structure with an Elastic-Viscous Filler in a Center Sill	3	59
<i>A. Y. KUZYSHYN, S. A. KOSTRITSIA, Y. H. SOBOLEVSKA, A. V. BATIH</i> World Experience in Creating Mathematical Models of Air Springs: Advantages and Disadvantages	4	25
<i>M. A. BARYBIN, A. P. FALENDYSH, O. V. KLETSKA, D. A. IVANCHENKO, O. V. KIRITSEVA</i> Improvement of Traction Calculations and Driving Modes of Traction Rolling Stock	5	71
<i>V. G. RAVLYUK, N. Y. LAMNAUER, İ. SH. oğlu ELYAZOV, I. K. KYRYCHENKO, N. M. SKUBAK</i> Resource Estimation of Freight Car's Brake Pads in Operating Conditions	5	84
<i>A. M. AFANASOV, S. V. ARPUL, D. S. BILUKHIN, A. Y. SHEMET, V. Y. VASYLIEV, O. O. HOLOLOBOVA, R. V. MARKUL</i> Deep Attenuation Use for Traction Motors of Mainline Electric Locomotives	6	84
Transport Construction		
<i>S. V. KLIUCHNYK</i> Operation Study of the Node of Stringer Staged Connection Point of the Railway Bridge Track-Way	1	115
<i>A. A. ICHETOVKIN</i> Methodology of Estimation of Parameters in the Mechanism of Selecting Organizational and Technological Solutions	2	76
<i>V. Y. ULYANOV</i> Ways to Increase the Efficiency of Thermopressiometry	2	84
<i>V. H. SHAPOVAL, H. P. IVANOVA, R. M. TERESHCHUK, O. V. NESTEROVA</i> Roadbed Sedimentation on Folded Bases with Weak Soils	2	92

Article title	Journal number	Page
<i>V. H. SHAPOVAL, I. O. PONOMARENKO, H. P. IVANOVA, R. M. TERESHCHUK, D. O. SHASHENKO</i> Definition of Construction Parameters of Discrete Restraining Constructions	3	67
<i>Y. E. ARUTIUNIAN</i> Innovative Tools for Improvement of Construction Organization Processes in the Conditions of Dense Urban Development	4	43
<i>N. O. DANKEVYCH, M. V. PIATNYTSIA</i> Reliability Assessment and Technical Diagnostics of the Bridge Structure across the Verkhnia Khortytsia River in Zaporizhzhia	4	51
<i>A. V. RADKEVYCH, M. I. NETESA, A. M. NETESA</i> Improving the Efficiency of Combination of Construction and Installation Works During the Underground Phase Under Conditions of Compacted Construction	4	59
<i>A. A. SHUVAIEV</i> Organizational and Functional Structure of the System of Information and Analytical Management of Construction Waste Streams	4	69
<i>I. Y. KEBAL, O. L. KRASNOSHCHOK</i> Modernization of Platform Schnabel Car with a Carrying Capacity of 220 Tons	5	96
<i>V. Y. ULYANOV</i> Rationale for the Use of Radonometry to Identify the Areas of Tectonic Faults During the Passage of Subway Tunnels in Dnipro	5	103
<i>V. Y. ULYANOV</i> Morphological Evaluation Results of Some Features of Alluvial Sands in the City of Dnipro	6	95

ЗМІСТ

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

**О. О. ГОЛОЛОВОВА, С. Ю. БУРЯК,
В. І. ГАВРИЛЮК, Р. В. МАРКУЛЬ,
А. М. АФАНАСОВ, Д. С. БІЛУХІН**
Визначення причин порушень у роботі автоматичної локомотивної сигналізації 5

К. В. ГОНЧАРОВ, Р. В. РИБАЛКА
Багатозначна система автоматичної локомотивної сигналізації на базі технології CDMA 14

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

**К. М. РАЗУМОВА, О. А. ТЕМЧЕНКО,
С. В. МАКСИМОВ, О. С. МАКСИМОВА**
Дослідження впливу тривалості вантажно-розвантажувальних робіт на ефективність використання технологічного автотранспорту на залізничних кар'єрах 24

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

**С. В. ПЛАКСІН, А. М. МУХА, Д. В. УСТИМЕНКО,
М. Я. ЖИТНИК, Р. Ю. ЛЕВЧЕНКО, Є. М. ЧУПРИНА,
О. О. ГОЛОТА**
Метод оперативного контролю та управління електрохімічним накопичувачем енергії у складі систем електрозабезпечення транспортних засобів 39

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

**М. Б. КУРГАН, Д. М. КУРГАН, С. Ю. БАЙДАК,
Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА, Р. Б. НОВІК**
Зниження інтенсивності розладів залізничної колії за рахунок удосконалення параметрів плану лінії під час паспортизації кривих 53

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

О. В. ГОРБОВА, О. А. СИРОТА
Дослідження наслідків використання патернів і загальноприйнятих підходів у побудові архітектури кросплатформних додатків 65

Т. Ф. МИХАЙЛОВА, Ю. А. МАКСИМЕНКОВА
Задача мінімаксного оцінювання функціоналів для нестационарних процесів дифузії 77

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

**А. М. АФАНАСОВ, С. В. АРПУЛЬ, Д. С. БІЛУХІН,
А. Я. ШЕМЕТ, В. Є. ВАСИЛЬЄВ,
О. О. ГОЛОЛОВОВА, Р. В. МАРКУЛЬ**
Використання глибокого послаблення збудження для тягових двигунів магістральних електровозів 84

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

В. Ю. УЛЬЯНОВ
Результати морфологічного оцінювання деяких особливостей алювіальних пісків міста Дніпро 95

**ТЕМАТИЧНИЙ ПОКАЖЧИК ЖУРНАЛУ
«НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ. ВІСНИК
ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»
ЗА 2021 РІК 105**

CONTENTS

AUTOMATED AND TELEMATIC SYSTEMS ON TRANSPORT

**O. O. HOLOBOVA, S. Y. BURIK,
V. I. HAVRYLIUK, R. V. MARKUL, A. M. AFANASOV,
D. S. BILUKHIN**

Determination of the Origin of Failures in the Operation of the Automatic Locomotive Signaling 5

K. V. HONCHAROV, R. V. RYBALKA
Multi-Valued Automatic Cab Signalling System Based on the CDMA Technology 14

OPERATION AND REPAIR OF TRANSPORT MEANS

**K. M. RAZUMOVA, O. A. TEMCHENKO,
S. V. MAKSYMOM, O. S. MAKSYMOMA**
Research of Duration Influence of Loading and Unloading Operations on the Use Efficiency of Technological Motor Transport on Open Pit Iron Mines 24

ELECTRIC TRANSPORT, POWER SYSTEMS AND COMPLEXES

**S. V. PLAKSIN, A. M. MUKHA, D. V. USTYMENKO,
M. Y. ZHYTNYK, R. Y. LEVCHENKO,
Y. M. CHUPRYNA, O. O. HOLOTA**
Method of Operational Control and Management of Electrochemical Energy Storage Device in the Systems of Electricity Supply of Vehicles..... 39

RAILROAD AND ROADWAY NETWORK

**M. B. KURHAN, D. M. KURHAN, S. Y. BAIDAK,
N. P. KHMELEVSKA, R. B. NOVIK**
Reduction of Railway Disorders Intensity Due to Improvement of Line Plan Parameters During Pasportization of Curves 53

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES AND MATHEMATICAL MODELLING

O. V. HORBOVA, O. A. SYROTA
Research of the Use Consequences of Patterns and Common Approaches In the Architecture Development of Cross-Platform Applications..... 65

T. F. MYKCHAILOVA, Y. A. MAKSYMENKOVA
The Problem of Minimax Estimation of Functionals for Non-Stationary Diffusion Processes 77

ROLLING STOCK AND TRAIN TRACTION

**A. M. AFANASOV, S. V. ARPUL, D. S. BILUKHIN,
A. Y. SHEMET, V. Y. VASYLIEV,
O. O. HOLOBOVA, R. V. MARKUL**
Deep Attenuation Use for Traction Motors of Mainline Electric Locomotives..... 84

TRANSPORT CONSTRUCTION

V. Y. ULYANOV
Morphological Evaluation Results of Some Features of Alluvial Sands in the City of Dnipro95

**SUBJECT INDEX TO THE JOURNAL «NAUKA TA
PROGRES TRANSPORTU. VİSNIK
DNİPROPETROVS'KOGO NACİONAL'NOGO
UNİVERSITETU ZALİZNIČNOGO TRANSPORTU =
SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS»
FOR 2021.....109**

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 А4, 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 трьома 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: visnik@diit.edu.ua

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

Наукове видання

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

№ 6 (96) 2021

(українською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск – О. В. Помінова

Комп'ютерне верстання – О. В. Помінова

Літературна обробка – С. П. Лагдан

Формат 60×84¹/₈. Ум. друк. арк. 13,49. Тираж 100 пр. Зам. №02/06

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

Адреса редакції, видавця:

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

Тел.: +38 (056) 371-51-05

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.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.
VİSNIK DNİPROPETROVS'KOGO NACİONAL'NOGO UNİVERSİTETU
ZALİZNIČNOGO TRANSPORTU**

=

SCIENCE AND TRANSPORT PROGRESS

No. 6 (96) 2021

(in Ukrainian and English languages)

Responsible for issue – O. V. Pominova

Desktop publishing – O. V. Pominova

Redaction – S. P. Lahdan

Format 60×84¹/₈. Conventional printed sheet 13,49. Circulation 100. Order no. 02/06

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

Address of editor and editorial office

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

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

E-mail: lib@b.diit.edu.ua, visnik@diit.edu.ua

Printing

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

