

ISSN 2222-419X (Print)
ISSN 2313-8688 (Online)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

ЗБІРНИК
наукових праць
Дніпровського
національного університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ТА
ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ»

Засновано в 2011 році

Випуск 25

Дніпро
2023

УДК 626
ББК 39
Д 54

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

ВИДАВЕЦЬ:
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Затверджено до друку рішенням вченої ради Українським державним університетом науки і технологій від 03.07.2023 р., протокол № 10

Збірник наукових праць «Транспортні системи та технології перевезень», наказом Міністерства освіти і науки України №409 від 17.03.2020 р. внесено до Категорії Б «Переліку наукових фахових видань України».

Редакційна колегія:

головний редактор – доктор технічних наук *А. М. Афанасов*;
заступник головного редактора – кандидат технічних наук *М. І. Березовий*.
відповідальний секретар – кандидат технічних наук *Р. Г. Коробйова*.

Члени редакційної колегії:

доктори технічних наук *Т. В. Бутько, І. В. Жуковицький, Д. М. Козаченко, Д. В. Ломотько, Є. В. Нагорний, В. В. Скалозуб*, доктор фізико-математичних наук *В. І. Гаврилюк (Україна)*, доктор технічних наук *Маріанна Яцина (Польща)*.

Збірник наукових праць Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень». – Дніпро: Вид-во Дніпров. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2023. – Вип. 25. – 92 с.

ISSN 2222-419X (Print)

ISSN 2313-8688 (Online)

УДК 656
ББК 39

Д 54

В статтях висвітлені результати наукових досліджень, виконаних авторами в Українському державному університеті науки і технологій та інших організаціях у сфері формування та забезпечення ефективної роботи складових елементів транспортного комплексу, розвитку його матеріально-технічної бази, удосконалення технологій експлуатаційної, вантажної та комерційної роботи транспорту.

Збірник становить інтерес для співробітників науково-дослідних організацій, наукових та науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів, магістрантів, студентів вищих навчальних закладів, інженерно-технічних працівників установ, організацій та підприємств транспортної галузі.

UDK 626

Results of researches, which are made in Ukrainian State University of Science and Technologies and other organizations in the fields of formation and effective operation of the constituent elements of the transport sector, its material and technical base development, freight and commercial operation improvement are presented in the articles.

The collection is intended for the research organizations employees, research and educational personnel, as well as for the doctoral candidates, postgraduates and for the higher school students, engineering employees of organizations and enterprises of transport industry.

© Український державний університет
науки і технологій, 2023

ЗМІСТ

Д. С. БЛУХІН, В. Є. ВАСИЛЬЄВ, А. М. АФАНАСОВ СИЛОВИЙ СТАТИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ	4
О. М. МЕЛЬНИК ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРУ ЛЮДИНИ НА ЕРГАТИЧНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ.....	10
М. В. ХАРА, Г. В. МАСЛАК, І. В. НІКОЛАЄНКО, В. В. СОСНОВЦЕВ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОСОБЛИВОСТЕЙ ІСНУЮЧОГО ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНУ НА ЛОГІСТИКУ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА	16
А. Р. МІЛЯНИЧ МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИ РОЗРАХУНКАХ МЕХАНІЗМІВ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ.....	25
О. С. ШАПОВАЛОВ МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ДОПОМІЖНИХ ЕЛЕКТРОМАШИН ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ	33
Ю. В. МИХАЙЛОВА ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДХОДІВ ДО РОЗСТАНОВКИ ПАСАЖИРСЬКИХ СУДЕН ЗА НАПРЯМКАМИ ЇХ РОБОТИ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ФЛОТУ СУДНОПЛАВНОЇ КОМПАНІЇ	38
М. Б. КУРГАН, С. Ю. БАЙДАК, М. А. ГУСАК, Р. Б. НОВІК, Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАНТАЖНИХ І ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА НАПРЯМКАХ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ	47
М. І. БЕРЕЗОВИЙ, Я. В. БОЛЖЕЛАРСЬКИЙ, С. В. ГРЕВЦОВ, С. В. БОРИЧЕВА АНАЛІЗ ЛОГІСТИЧНИХ РИЗИКІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ ЗЕРНОВОЇ ГРУПИ В ЄВРОПЕЙСЬКІ ПОРТИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОНТРЕЙЛЕРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ.....	60
А. С. ДОРОШ, Є. Б. ДЕМЧЕНКО, І. Я. СКОВРОН, В. О. БАЛАНОВ ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ ТА СУЧАСНІ ЕЛЕКТРОННІ СЕРВІСИ У СФЕРІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	70
Д. М. КОЗАЧЕНКО, М. П. БОЖКО, М. І. БЕРЕЗОВИЙ, В. В. МАЛАШКІН АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ПОЛОЖЕННЯ ГРАНИЧНОГО СТОВПЧИКА МІЖ СУМІЖНИМИ КОЛІЯМИ РІЗНОЇ КОНСТРУКЦІЇ	84

УДК 629.423

Д. С. БІЛУХІН^{1*}, В. Є. ВАСИЛЬЄВ^{2*}, А. М. АФАНАСОВ^{3*}

^{1*} Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (095) 233 32 99, ел. пошта: comandor04b@gmail.com, ORCID 0000-0002-2791-617X

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

^{3*} Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373 15 31, ел. пошта: afanasof@ukr.net, ORCID 0000-0003-4609-2361

СИЛОВИЙ СТАТИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

Мета. Підвищення експлуатаційних показників приміських перевезень на залізницях, що електрифіковано змінним струмом за рахунок модернізації тягових статичних перетворювачів електропоїздів ЕР9М. **Методи.** Методологічною основою дослідження є загальні теоретичні положення і принципи системного підходу теоретичної електротехніки, теорії силових перетворювачів. Використано основні принципи побудови тягових статичних перетворювачів електрорухомого складу залізниць. **Результати.** Виконано аналіз базових схем випрямлення електропоїздів змінного струму. У якості альтернативної схеми запропоновано впровадження керованої схеми випрямлення на базі чотирьох зонної схеми випрямлення, яка є аналогічною для електровозів, що дозволяє використати більшість з відомих переваг безконтактних систем управління тяговим електроприводом. Обчислені деякі енергетичні показники для схеми з повним керуванням та пів керованої. У результаті порівняння вибрано варіант модернізації на основі пів керованої схеми випрямлення. Визначені необхідні значення пускової потужності трансформатора та коефіцієнти потужності для схем з некеруванням, повністю керованим та пів керованим випрямлячами. Пропонується вибір сучасних напівпровідникових елементів для комплектації перетворювачів. Показано, що у разі модернізації схеми випрямляча відсутня необхідність значних капітальних вкладень завдяки збереженню основного тягового трансформатора та тягових двигунів електропоїзда. **Практична значимість.** Одержані результати можуть бути використані підприємствами, які виконують капітальний ремонт електропоїздів змінного струму.

Ключові слова: електропоїзд, тяговий трансформатор, випрямляч, коефіцієнт потужності.

Вступ

Однією з умов успішного розвитку економіки України є наявність ефективної та надійної транспортної системи. Ефективна робота залізничного транспорту не можлива без надійної роботи рухомого складу. Сучасний стан електрифікованого рухомого складу залізниць залишає бажати кращого, як у частині електровозів так і у частині електропоїздів. Зрозуміло, що робляться деякі спроби оновити рухомий склад, але замінити сотні одиниць в одночасно не можливо. Така ситуація склалася на залізницях електрифікованих постійним і змінним струмом. Оновлення парку електровозів проводиться не значними темпами. Деякий час до залізниць надходили електровози власної розробки та виготовлення: ДС3 – вантаж-пасажирський електровоз змінного струму, ДЕ1 – вантажний електровоз постійного струму. Продовжує закупатися електровоз постійного струму ВЛ11М6. Випускався електровоз змінного струму 2ЕЛ5 та постійного струму 2ЕЛ4. Тобто у напрямку заміни

парку електровозів є деякий рух. У напрямку заміни електропоїздів постійного та змінного струму, які забезпечують приміські перевезення і є соціальним видом транспорту вже тривалий час зміни відсутні. Електропоїзди власного виробництва ЕПЛ2Т постійного струму та ЕПЛ9Т змінного струму більш 10 років не випускаються. Тому швидка заміна застарілого парку електропоїздів не можлива і задача з модернізації є актуальною.

На залізницях України, які електрифіковано однофазним змінним струмом промислової частоти з номінальною напругою 25000 В тривалий час знаходяться в експлуатації електропоїзди серії ЕР9. Електропоїзди мають декілька модифікацій. Розпочато з електропоїзда ЕР9, а далі ЕР9П, М, Е, Т. ЕР9 вже давно виведені з експлуатації, ЕР9П залишились у малій кількості і подальше їх покращення не доцільне. Основні приміські перевезення виконуються електропоїздами ЕР9М, доля якого складає близько 50% парку приміських електропоїздів однофазного змінного струму [1].

Постановка завдання дослідження

Приватне акціонерне товариство «Київський електровагоноремонтний завод» [2] вже давно виконує капітальне-відновлювальні ремонти з продовженням терміну експлуатації електропоїздів до програми яких входить і модернізація. Основний обсяг робіт, які замовлені дорогами, включає модернізацію механічної частини та підвищення комфортності пасажирів. Відсутні відомості про те, що замовники передбачають модернізацію силових та допоміжних кіл, а лише їх ремонт згідно існуючих правил капітального ремонту електропоїздів і секцій. У пропозиціях заводу така можливість пропонується: заміна тягового трансформатора ОЦР-1000/25 на ОДЦЕР-1600/25, встановлення багатоканальних перетворювачів частоти М-О2Т2ПП-У3 для електропоїздів змінного струму взамін агрегатів розщеплення фаз [2, 3]. Це дозволяє знизити експлуатаційні витрати залізницям у напрямку споживання електричної енергії та обслуговування оберткових машин.

Достатньо цікавою є пропозиція заводу щодо заміни випрямної установки. Однак не вказується тип випрямної установки та її характеристики. Модернізація випрямлячів є перспективним напрямком для електропоїздів серії ЭР9.

Відповідно до джерел [4–6], в яких доскопало описано базові випрямні установки, які у різні часи встановлювалися на електропоїздах серії ЭР9 можна виділити:

УВП-3, яка у базовому варіанті укомплектована 84 вентилями типу ВЛ-200. Зараз діоди ВЛ-200 можуть бути замінені більш сучасні діодами типу ДЛ161-200, що виготовлені за дифузійною технологією. Конструктивне за способом монтажу та габаритами вони однакові, тому придатні для модернізації в умовах депо у разі відсутності базового діоду ВЛ-200.

Починаючи з електропоїзда ЭР9Е встановлювалася випрямна установка УВП-5А. Основою є діоди ВЛ7-320 таблеткової конструкції у кількості 60 штук. Охолодження не примусове, а природне, потоком повітря під час руху.

Подальший розвиток у напрямку впровадження сучасних діодів до кіл електропоїздів серії ЭР9 здійснено для електропоїздів ЭР9Т на якому використано випрямну установку типу В-ОПЕД-400-1,65К-У1 з 16 діодами таблеткової конструкції ДЛ153-1250.

Таким чином, випрямні перетворювачі для електропоїздів постійно вдосконалюють. Зрозуміло, що є і перетворювачі, які не входять до базових, але відповідають технічним умовам та встановлюються в електропоїзди заводами з

ремонту та депо.

Всі вказані перетворювачі, за своєю основою, використовують однофазну мостову схему випрямлення, точніше сказати, її розвиток – схема з несиметричним навантаженням трансформатора. У виробництві її звать схема з вентильними пробками. В основі схеми знаходиться відомий принцип регулювання напруги, який полягає у переключенні секцій вторинних обмоток трансформатора [7]. Вентильні пробки дозволяють збільшити кількість ступенів регулювання вдвічі. Схема використовується усіма електропоїздами серії ЭР9 та електропоїздом українського виробництва ЕПЛ9Т [8]. Дає перевагу в отриманні необхідної кількості позицій регулювання напруги без збільшення виводів вторинної обмотки трансформатора але має деякі недоліки. Перший недолік – пульсації вихідного струму, оскільки вихідна напруга містить додаткову складову пульсацій з низькою частотою джерела живлення. Другий недолік – не однакова сила намагнічування осердя трансформатора при роботі під час живлення різними рівнями напруги у пів періодах. Обидва недоліки ведуть до необхідності збільшення габаритів реактора згладжування та трансформатора, що розробниками було враховано.

Всі вдосконалення випрямних блоків вказаних електропоїздів пов'язані з впровадженням нових блоків на базі некерованої мостової схеми випрямлення. Однак для електровозів з колекторними тяговими двигунами постійно-пульсуючого струму давно використовуються керовані випрямлячі на основі тиристорів та багато зонних схем [7, 9].

Відома розробка перспективної схеми електропоїзда змінного струму з колекторними тяговими двигунами та випрямне-інверторним перетворювачем на базі IGBT-транзисторів, яка пропонується в [10]. Однак використання такої схеми вимагає суттєвого переоснащення електропоїзда, що у разі модернізації може бути не приємним.

Матеріал і результати досліджень

Вибір схеми випрямляча. Переваги впровадження схем плавного регулювання напруги достатньо відомі [9]. Проаналізуємо можливість впровадження базової чотирьох зонної схеми плавного регулювання, яка застосовувалася на електровозах ВЛ80Р, ВЛ85, 2ЕЛ5, в якості силового перетворювача для регулювання напругою тягових двигунів електропоїзда ЭР9М. Базова схема випрямне-інверторного перетворювача електровозів використовується в режимі

випрямляча з плавним регулюванням напруги, під час тяги та інвертора, під час рекуперативного гальмування. Однак, в електропоїздах ЭР9М режими електричного гальмування схемою не передбачені. Електричне гальмування запроваджено на електропоїздах ЭР9Т, ЕПЛ9Т [5, 8] лише у формі реостатного. Для обладнання електропоїздів ЭР9М реостатним або рекуперативним гальмуванням слід передбачити обладнання щодо переводу двигунів з послідовного збудження до незалежного, систему живлення обмоток збудження, зміни у колах систем управління, а це суттєве збільшення капітальних вкладень. Найбільш економічним варіантом буде заміна випрямного блоку на основі некерованого випрямляча на керований. Елементи нового випрямляча та систему його управління можна розмістити замість існуючого блоку та автоматичного перемикача ступенів із збереженням з'єднання групи тягових двигунів базової схеми.

Якщо не передбачити електричне гальмування, то типова схема чотирьох зонного випрямляча може бути змінена. Відомо, що коефіцієнт потужності таких схем залишається не високим, особливо під час пуску, коли кут керування тиристорами великий [9]. Відомі розробки, де для підвищення коефіцієнта потужності електровозів з керованими випрямлячами, пропонується приєднання паралельно колу тягових двигунів зворотного діоду для скидання реактивної енергії тягових двигунів та швидкого зачинення основного тиристора плеча випрямляча [11, 12]. Розробка дещо збільшує коефіцієнт потужності, але додає кола діодів, які складаються не з одного діоду, а з групового з'єднання і вимагають габаритів з розміщення та подальшого забезпечення охолодження. Оскільки не передбачаємо використовувати електричне гальмування, то вихідною схемою можна використовувати несиметричний випрямляч, де плечі тиристорів, наприклад анодної групи, замінюємо на діоди. З одного боку це відразу збільшує коефіцієнт потужності, з іншого дає економію вкладень за відсутністю половини груп тиристорів та їх схем формування сигналу управління.

Розрахункова схема подана на рисунку 1. На схемі показано обмотки тягового трансформатора ОЦР-1000/25 (виводи А-Х – первинна, 1-2-3-4-5-0-5-6-7-8 – вторинна). Виводи обмотки власних потреб не показані. До виводів вторинної обмотки 1-2-0-6-8 приєднано несиметричний чотирьох зонний керований випрямляч. Тиристори катодної групи VS1, VS3, VS5, VS7 та діоди анодної групи VD2, VD4, VD6, VD8 утворюють кола випрямляча. До виводів

приєднується кола тягових двигунів за типовим для електропоїзда схемним з'єднанням. Для забезпечення типового алгоритму чотирьох зонної схеми випрямлення достатньо використання лише виводів трансформатора 1–3–0–8, що показано на схемі. Номінальна напруга холостого ходу між виводами трансформатора 1-8 складає 2208 В, тоді напруга секції – 276 В. Виходячи з цього, діюче значення вторинної напруги, що визначає живлення першої зони – 552 В (між виводами 0-3), далі додається друга зона – приєднання від виводів 0-3 повністю, та регульоване від виводів 1-3. Третя зона переключення на повну напругу від виводів 0-8 (1104 В) та регульоване від виводів 0-3. Четверта зона від повного приєднання напруги виводів 3-8 (1656 В) та регульована комутація від виводів 1-3. Алгоритм роботи цілком відповідає роботі базової симетричної схеми на основі тиристорів [9].

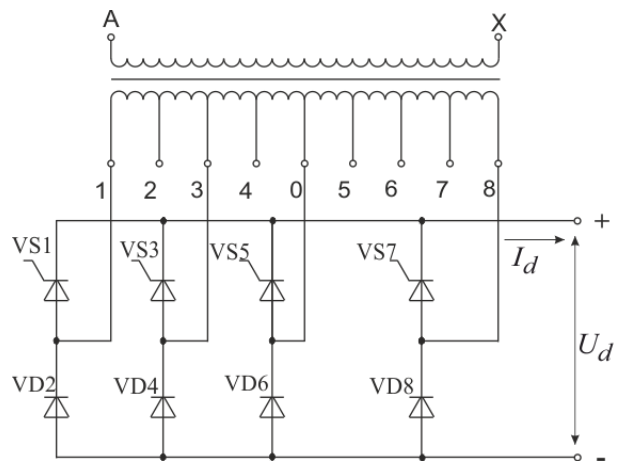


Рис. 1. Розрахункова схема випрямного перетворювача

Визначення необхідного класу приладів за напругою зараз не є дуже складною задачею. Так за типовими методиками, що викладені у [7, 13, 14] для групового тиристора приймаємо чотири послідовно з'єднані тиристори типу Т233-800-18. Для плеча з діодів три послідовно з'єднані діоди типу ДЛ243-800-24.

Відповідно до тенденції, що спостерігається у розвитку випрямних блоків для електропоїздів серії ЭР9, приймаємо одне коло напівпровідникових вентилів у плечі без паралельних з'єднань, як це і використовується в установці типу В-ОПЕД-400-1,65К-У1 [5]. Кінцеве значення прямого струму вентиляного плеча можна вибрати більш точно лише після розрахунку теплових параметрів для декілька різних напівпровідникових приладів.

Аналіз пускової потужності трансформатора. Вибір приладів за класом та струмом це не основна задача. Рішенню таких задач

присвячено багато літератури за якою можна виконати якісний вибір сучасної елементної бази з врахуванням режимів навантаження, виділення тепла та іншого [13–15]. Однією з суттєвих задач є забезпечення необхідної потужності тягових двигунів на фоні зниження коефіцієнта потужності схеми, оскільки перехід до випрямного режиму з керованими тиристорами знижує коефіцієнт потужності системи. У разі модернізації це може привести до необхідності збільшення габаритів трансформатора, тобто його заміни, що значно підвищує вартість модернізації та може бути не доцільним для електропоїздів цієї серії.

Розглянемо можливість забезпечити необхідною потужністю кола тягових двигунів під час пуску трансформатором ОЦР-1000/25, який встановлено на електропоїздах ЕР9М. Цілком зрозуміло, що схема з плавним регулюванням має менший коефіцієнт потужності у порівнянні з схемою з некерованим випрямленням, тому повної потужності трансформатора може не вистачати.

Найгірший режим під час пуску двигунів, які ще не мають проти електрорухомої сили, тому подається мале значення напруги, чому є характерним великий кут управління тиристорів. Навантаженням є чотири двигуни моторної секції РТ-51Д, які з'єднано у два паралельних кола з двох послідовно з'єднаних двигунів [4–6], тобто типове з'єднання двигунів для електропоїзда зберігаємо. Відповідно до технічних даних двигунів [6] загальний опір такого кола складатиме 0,2128 Ом, що при струмі випрямляча $I_d=532$ А, вимагає прикладення напруги від випрямляча 113 В. З іншого боку, під час проходження струму по загальному колу живлення, відповідно до зовнішньої характеристики випрямляча, виникають втрати напруги, які слід компенсувати подальшим зниженням кута управління тиристорами. Розрахунок за типовими методиками [9] параметрів зовнішньої характеристики для першої зони регулювання при живленні від трансформатора ОЦР-1000/25 (між виводами 0–3) та реактора СР-800, які використовуються на електропоїздах ЕР9М [4–6] показує, що втрата напруги на елементах кола струму, які впливають на нахил зовнішньої характеристики складає 72 В. Деталі типового розрахунку зовнішньої характеристики не приводимо. Загальна напруга, яку має забезпечити випрямляч з метою компенсації втрат та забезпечення режиму пуску складає 185 В.

З метою порівняння за необхідною потужністю тягового трансформатора розглянемо два

можливі варіанти перетворювача: класичний, в якому всі плечі виконано на основі тиристорів; пів керований, що показано на рисунку 1.

Повністю керований випрямляч, відповідно до базової теорії [7, 9, 11, 14, 16, 17], має середнє значення напруги на виході під час роботи на суттєве індуктивне навантаження

$$U_d \geq 0,9U_2 \cos \alpha. \quad (1)$$

Звідки необхідне значення кута управління тиристорами під час пуску

$$\alpha_{\text{пуск}} = \arccos \left(\frac{U_{d\text{пуск}}}{0,9U_2} \right), \quad (2)$$

де $U_{d\text{пуск}}$ – необхідне значення напруги пуску. Приймаємо необхідну напругу 185 В;

U_2 – діюче значення напруги вторинної обмотки трансформатора до якої приєднано випрямляч на першій зоні регулювання. Між виводами 0–3 це складає 552 В.

Коефіцієнт потужності випрямляча

$$\chi = v \cdot \cos \alpha_{\text{пуск}}, \quad (3)$$

v – коефіцієнт викривлень напруги. Для мостової схеми випрямлення 0,9.

Необхідна повна потужність трансформатора під час пуску

$$S_{\text{пуск}} = \frac{1,11P_{d\text{пуск}}}{\cos \alpha_{\text{пуск}}} = \frac{1,11U_{d\text{пуск}}I_d}{\cos \alpha_{\text{пуск}}}. \quad (4)$$

Необхідне значення кута управління складає 68 градусів електричних (1,189 рад), що приводить до коефіцієнту потужності 0,337 та необхідної потужності трансформатора під час пуску 291629 ВА.

Пів керований випрямляч дозволяє вираз для визначення регульовальної характеристики наблизити до виразу випрямляча з активним навантаженням [16, 17] та має середнє значення напруги на виході

$$U_d \geq 0,9U_2 \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right). \quad (5)$$

Звідки необхідне значення кута управління тиристорами під час пуску

$$\alpha_{\text{пуск}} = \arccos \left(\frac{2U_{d\text{пуск}}}{0,9U_2} - 1 \right). \quad (6)$$

Коефіцієнт потужності випрямляча

$$\chi = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\pi(\pi - \alpha)}} \cdot \frac{U_d}{U_{d\alpha_0}}, \quad (7)$$

$U_{d\alpha_0}$ – середнє значення напруги на виході випрямляча з мінімальним кутом управління зони регулювання. Приймаємо 9 градусів електричних.

Необхідна повна потужність трансформатора під час пуску

$$S_{\text{пуск}} = U_2 I_d \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}}. \quad (8)$$

Необхідне значення кута управління у випадку пів керованої схеми випрямлення збільшується та складає 105 градусів електричних (1,83 рад), значення коефіцієнта потужності 0,52 та необхідна потужність трансформатора під час пуску 189680 ВА.

Зрозуміло, що останні визначення необхідної потужності під час пуску дещо більші у порівнянні з некерованим випрямлячем для якого ця величина складає 109246 ВА при коефіцієнті потужності $\approx 0,9$ однак дозволяє зробити деякий вибір у напрямку модернізації.

Таким чином у порівнянні з некерованим випрямлячем необхідна потужність під час пуску для пів керованого більша у 1,73 рази, а керованого у 2,66 рази. Для обох випадків потужності вторинної обмотки, що виділена для забезпечення режиму тяги 773 кВА [5, 6] цілком достатньо. Резерв потужності трансформатора пояснюється специфікою основної схеми випрямляча електропоїзда, де використовується схема амплітудного регулювання напруги з несиметричним навантаженням трансформатора під час роботи на непарних позиціях регулювання [4, 7].

На думку авторів все ж таки слід віддати перевагу до схеми пів керованої. Більш проста схема керування з не складним алгоритмом управління тиристорами у порівнянні з класичною схемою з чотирьох зон, що використовуються на електровозах [11, 12, 16]. Для електропоїзда, якому залишилось працювати 10–15 років це за сіб деякої економії коштів під час експлуатації за рахунок використання майже всіх переваг безконтактних систем керування електрорухомого складу крім рекуперативного гальмування.

Висновки

1. Актуальна проблема залізниць України у напрямку забезпечення приміських пасажирських перевезень на залізницях, що електрифіковано змінним струмом може бути частково

вирішена за рахунок модернізації електропоїздів виробництва Ризького вагонобудівного заводу, які ще в значній кількості знаходяться в експлуатації.

2. Проведений аналіз тягових статичних перетворювачів електропоїздів змінного струму показує, що в різні роки в електропоїздах серії ЭР9 впроваджувалися декілька типів випрямних блоків на основі мостової некерованої схеми. На даному етапі розвитку напівпровідникової техніки доцільно впровадження керованих випрямлячів з метою підвищення експлуатаційних показників електропоїздів серії.

3. Результати аналізу сучасної елементної бази та умов експлуатації електропоїздів вказує на можливість впровадження пів керованої чотирьох зонної схеми випрямлення та наявність необхідних напівпровідникових елементів для забезпечення струму та напруги плеч з малою кількістю елементів при збереженні існуючої схеми з'єднання тягових двигунів.

4. Порівняння схем випрямлячів за умовою забезпечення потужності під час пуску з низьким коефіцієнтом пускової потужності дає перевагу також до пів керованої схеми випрямлення у якої необхідна пускова потужність складає 0,65 від потужності пуску повністю керованої схеми та більший коефіцієнт потужності у 1,54 рази. Останнє дозволяє мати більший запас потужності у разі перевантажень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Белухин, Д. С. Модернизация выпрямительных преобразователей электропоездов серии ЭР9 [Текст] / Д. С. Белухин // Электрификация транспорта «ТРАНСЕЛЕКТРО – 2018»: Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. (Дніпро, 06–07.12.2018 р.). Збірник тез доповідей. – Д.: ДНУЗТ, 2018. – С. 5-6.
2. Модернізація моторвагонного рухомого складу. Приватне акціонерне товариство «Київський електровагоноремонтний завод» [Електрон. ресурс] Режим доступу: <http://kevrz.com.ua/index.php/ua/prozavod/produkcija/modernizaciya-motorvagonnogo-ruhomogo-skladu>.
3. Набока, О. В. Повышение энергоэффективности питания вспомогательных электроприводов электропоездов ЭД9М [Текст] / О. В. Набока, П. Д. Андриенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. : Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика: зб. наук. пр. – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – № 16. – С. 80-84.
4. Авдеев, М. М. Электропоезда переменного тока [Текст] / М. М. Авдеев, В. А. Гут, В. И. Томчук, В. А. Хряев. – М.: Транспорт, 1985. – 368 с.
5. Гут, В. А. Преобразовательные устройства электропоездов переменного тока [Текст] / В. А. Гут. –

М.: Маршрут, 2006. – 54 с.

6. Электропоезд ЭР9М. Руководство по эксплуатации. Книга 1 [Текст] / отв. за выпуск Рожкова В. Г. – Р.: РВЗ, 1977. – 476 с.

7. Статичні перетворювачі тягового рухомого складу. Ю. П. Гончаров, М. В. Панасенко та ін. – Х.: НТУ «ХП», 2007. – 192 с.

8. Басов, Г. Г. Развитие электричного моторвагонного рухомого складу [Текст] / Г. Г. Басов, С. І. Яцько. – Харків: Аспект, 2005. – 248 с.

9. Гетьман, Г. К. Теория электрической тяги [Текст]: монография: в 2 т. / Г. К. Гетьман – Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2011. Т. 1. – 456 с.

10. Мельниченко, О. В. Анализ применения преобразователей в силовых схемах отечественного моторвагонного подвижного состава переменного тока [Текст] / О. В. Мельниченко, В. С. Иванов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22. № 4. С. 231–242.

11. Власьевский, С. В. Повышение эффективности работы электровоза переменного тока с плавным регулированием напряжения в режимах тяги и рекуперативного торможения [Текст] / С. В. Власьевский, В. Г. Скорик, Е. В. Буяева, Д. С. Фокин // Электрификация транспорта. Научный журнал. – 2011. – № 1. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 30–34.

12. Богинский, С. А. Повышение коэффициента мощности электровозов переменного тока за счет

новой организации сетевой коммутации плеч выпрямительно-инверторного преобразователя [Текст] / С. А. Богинский, О. В. Мельниченко, А. О. Линьков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 62, № 2. – С. 166–177.

13. Абрамович, М. И. Диоды и тиристоры в преобразовательных установках [Текст] / М. И. Абрамович, В. М. Бабайлов, В. Е. Либбер и др. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 432 с.

14. Уильямс Б. Силовая электроника: приборы, применение, управление [Текст]: Справ. пособие: пер. с англ. / Б. Уильямс М.: Энергоатомиздат, 1993. – 240 с.

15. Воронин, П. А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение [Текст] / П. А. Воронин – М.: Издательский дом Додэка-XXI, 2005. – 384 с.

16. Кулинич, Ю. М. Электронная и преобразовательная техника [Текст]: учеб. пособие для вузов / Ю. М. Кулинич. – Хабаровск: ДВГУПС, 2008. – 175 с.

17. Засорин, С. Н. Электроника и преобразовательная техника [Текст] / С. Н. Засорин, В. А. Мицкевич, К. Г. Кучма. – Москва : Транспорт, 1981. – 319 с.

Надійшла до редколегії 08.05.2023.

Прийнята до друку 12.05.2023.

D. BELUKHIN, V. VASYLYEV, A. AFANASOV

POWER STATIC CONVERTER OF TRACTION ELECTRIC DRIVE OF AC ELECTRIC TRAINS

Purpose. Increasing the operational indicators of suburban transportation on railways electrified by alternating current due to the modernization of traction static converters of ER9M electric trains. **Methodology.** The methodological basis of the study is the general theoretical provisions and principles of the system approach of theoretical electrical engineering, the theory of power converters. The main principles of construction of traction static converters of electric rolling stock of railways are used. **Findings.** The analysis of the basic rectification schemes of alternating current electric trains was performed. As an alternative scheme, it is proposed to introduce a controlled rectification scheme based on a four-zone rectification scheme, which is similar to electric locomotives, which allows using most of the known advantages of non-contact traction electric drive control systems. Some energy figures are calculated for the fully controlled and semi-controlled circuit. As a result of the comparison, the modernization option based on a semi-controlled rectification scheme was selected. The required values of starting power of the transformer and power factors for schemes with uncontrolled, fully controlled and semi-controlled rectifiers are determined. A selection of modern semiconductor elements is offered for the configuration of converters. It was shown that in the case of modernization of the rectifier scheme, there is no need for significant capital investments due to the preservation of the main traction transformer and traction motors of the electric train. **Practical value.** The obtained results can be used by enterprises that carry out major repairs of alternating current electric trains.

Keywords: electric train, traction transformer, rectifier, power factor.

УДК 656.6

О. М. МЕЛЬНИК^{1*}

^{1*} Кафедра «Судноводіння і морська безпека», ДЗВО «Одеський національний морський університет», вул. Мечникова 34, м. Одеса, 65029, Україна, тел. +38 (066) 660 63 90, ел. пошта: m.onmu@ukr.net, ORCID 0000-0001-9228-8459

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРУ ЛЮДИНИ НА ЕРГАТИЧНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Мета. В даній статті досліджується процес взаємодії роль та ступінь впливу фактору людини на ергатичні системи управління на транспорті. Проводиться аналіз людського фактору, його складових в процесі управління у водних транспортних системах та вплив технічних систем на діяльність людей. Основна увага зосереджується на вивченні ролі та взаємозв'язку між людським фактором і ергатичними системами управління, такими як автоматизовані системи, інтелектуальні транспортні системи та інші технологічні рішення, що застосовуються у водному транспорті. **Методи дослідження.** В дослідженні використані метод аналізу та синтезу на основі літературного сюрвею, квалітативний метод, збір та аналіз даних, що дозволяє оцінити і якісно описати вплив людського фактору на ергатичні системи управління, зокрема досліджується, як ці системи впливають на взаємодію людей та ергатичних систем в процесом виконання рутинних операцій на судні, процесах прийняття рішень, роботу операторів і користувачів транспортних послуг. Стаття базується на аналізі наукових досліджень, включаючи психологічні, соціологічні та інженерні аспекти взаємодії між людиною і ергатичними системами управління. **Результати.** Виявлення та оцінка основних факторів впливу фактору людини на ергатичні системи. Проведений аналіз дає можливість зрозуміти також як впливають технічні інновації на роль людського фактору у транспортному секторі. **Наукова новизна.** Новизна даної статті полягає у комбінації дослідження впливу людського фактору на ергатичні системи управління на транспорті та аналізу різних аспектів цієї взаємодії. **Практична значимість.** Викладений матеріал має значний практичний внесок, оскільки надає важливі рекомендації щодо покращення процесу взаємодії між фактором людини і ергатичними системами управління на транспорті.

Ключові слова: людський фактор, ергатичні системи управління, транспортні системи, прийняття рішень, ефективність роботи судна, технічні аспекти, взаємодія між людиною та технологією, безпека транспорту

Вступ

В останні десятиліття людство досягло значних проривів у галузі технологій, енергетики та інформаційних ресурсів, що вплинуло на здатність людей адаптуватися до сучасного середовища. Технологічний прогрес і доступ до величезних енергетичних ресурсів дозволили нам поліпшити умови життя, збільшити продуктивність і скоротити фізичну працю. Ми розробили безліч технічних засобів, які значно полегшують нашу роботу і покращують нашу ефективність. Однак, хоча технологічні інновації та ресурси мають важливе значення для адаптації людини до сучасного середовища, генетичні аспекти також залишаються важливими. Людське тіло і мозок все ще залишаються результатом еволюції, і їхні генетичні схильності та фізіологія впливають на здатність адаптуватися до навколишнього середовища. Це дає змогу констатувати, що сучасне суспільство прагне досягати адаптації до середовища за допомогою комбінації генетичних і технічних засобів. Технології та ресурси надають інструменти для подолання

обмежень, але ефективна адаптація потребує гармонійної взаємодії та врахування як генетичних, так і технічних чинників.

Аналіз останніх публікацій та досліджень

Вивченню проблем впливу людського фактору ергатичні системи на транспорті присвячена низка наукових праць. В статті [1] обговорюється важливість мінімізації впливу людського фактору на безпеку на транспорті, де ергатична система має переважну людську складову. У [2] обговорюється поняття людського фактору в транспортній безпеці, який залежить від соціально-психологічної складової персоналу. Визначено причини значного впливу людського фактору у сфері автомобільного транспорту та шляхи вирішення проблеми транспортної безпеки шляхом забезпечення якості транспортного засобу та основних фізіологічних і соціально-психологічних характеристик водія. У [3] зазначається, що дослідження аварійності на транспорті однозначно вказують на людський фактор як найбільш відповідальний за

спричинення небезпечних ситуацій. В науковій праці [4] представлено узагальнену модель впливу людського фактору на ергатичні системи навігації в контексті морських транспортних систем. Стаття [5] обговорюється людський фактор в сучасних транспортних системах, які зазнають величезних змін з появою інтелектуальних транспортних систем (ІТС). У статтях [6, 7] досліджується вплив фактору стресу на систему забезпечення безпеки мореплавства. Автори аналізують роль стресових ситуацій на борту судна і розглядають можливості їх впливу на діяльність моряків та безпеку плавання, досліджується роль та місце людського елемента у ситуаціях навалу або зіткнення судна з причалом. У [8] проведено аналіз факторів ергатичної системи, що впливають на безпеку працівників гірничої промисловості в Україні. Робота [9] зосереджена на вивченні міжнародної торгівлі та судноплавства, ймовірно з аналізом взаємодії транспортних систем у цих галузях. В науковій праці [10] досліджується питання інструментального керування ергатичною системою в авіаційній сфері.

Таким чином проведені дослідження підкреслюють необхідність всебічного врахування фактору людини в ергатичних системах управління при розробці стратегій, політик та систем безпеки мореплавства з метою підвищення ефективності морських перевезень та запобігання можливим інцидентам.

Основний матеріал

Автоматизовані системи, інтелектуальні транспортні системи та інші технологічні рішення, що застосовуються у транспорті, представляють собою сучасні інноваційні розробки, які впроваджуються з метою покращення ефективності, безпеки та комфорту виконання виробничих завдань в транспортній галузі.

Автоматизовані системи включають автоматичні контрольні та управлінські системи, які виконують функції без участі людини, забезпечуючи автоматичне керування рухом транспортних засобів, розподіл ресурсів, моніторинг систем безпеки та інше. Наприклад, інтелектуальні транспортні системи (ІТС) базуються на застосуванні сучасних інформаційно-комунікаційних технологій та аналізу даних для покращення організації транспортних послуг. ІТС можуть включати системи моніторингу руху, навігації, управління операціями, електронного обліку, інформаційні системи для пасажирів та багато іншого.

Технологічні рішення включають в себе

різноманітні інноваційні технології, які використовуються для покращення ефективності та функціональності транспортних систем. Це можуть бути електромобілі, системи автоматичного керування рухом судна, сенсорні технології, системи енергоефективності та інші. Застосування таких автоматизованих систем, інтелектуальних транспортних систем та інших технологічних рішень сприяє покращенню безпеки, зменшенню транспортних затворів, оптимізації використання ресурсів та забезпеченню більш комфортного та сталого транспортного середовища.

Процес забезпечення належної взаємодії між людиною та системою управління має на меті досягнення безпеки та ефективності в процесі експлуатації судна. Цей процес включає в себе розуміння та врахування потреб, здібностей та обмежень людей, а також вплив ергатичних систем на їх стан та поведінку. Для досягнення належного ступеня взаємодії, можуть використовуватись різні підходи, такі як розробка програмних інтерфейсів, навчання та спеціальна підготовка, а головне це врахування людського фактору при проектуванні ергатичних систем, включаючи забезпечення ефективної комунікації та співпраці між учасниками всього процесу управління.

Ергатичні системи управління це такі системи, в яких людина виконує фізичні дії, наприклад, користування приладами, натискання на кнопки, рухи руками, тощо. Ці системи можуть бути використані в будь-якій області, де людина взаємодіє з технікою і має виконувати роботу, пов'язану з фізичними діями. Наприклад в контексті процесу організації праці на борту сучасного судна, ергатичні системи управління включають у себе, палубні механізми, рульові пристрої, лебідки, крани, системи, важелі, тощо. Тобто ергатичний аспект у рутинних операціях судна охоплює всі процеси, пов'язані з фізичними навантаженнями на екіпаж та робоче середовище на судні включаючи такі компоненти, як вантажні операції, підтримання робочого стану обладнання на борту, робота з апаратами, пристроями, приладами тощо та пов'язана з фізичним, психологічним та ергономічним аспектами праці екіпажу та впливом цих аспектів на безпеку судна (рис.1).

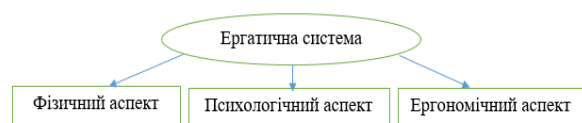


Рис. 1. Аспекти ергатичної системи управління

Фізичний аспект ергатичної системи включає в себе аспекти безпеки, пов'язані з розташуванням та розподілом систем, обладнання, пристроїв, механізмів та матеріалів на судні, виконанням вантажних операцій, контролем за судном і маневруванням, моніторинг систем та робочих параметрів та іншими фізичними аспектами, які можуть вплинути на здоров'я та безпеку екіпажу, судна та вантажу. Наприклад, неправильне завантаження судна або розташування вантажу може призвести до виникнення небезпечного крену або перекидання судна, а некоректне використання обладнання - до аварійних ситуацій, травм або навіть загибелі члену екіпажу.

Психологічний аспект ергатичної системи відповідно пов'язаний з психологічними аспектами праці екіпажу, такими як стрес, втома, депресія, соціальна ізоляція та інші фактори, які можуть вплинути на роботу та процес прийняття рішень з боку екіпажу. Наприклад, підвищена втома екіпажу може призвести до неправильних рішень, що в свою чергу може стати причиною аварій та інцидентів. Тому з метою зменшення ризику негативних факторів впливу на безпеку судна, судовласники та оператори флоту проводять аналіз факторів ризику та розробляють стратегії та процедури з метою покращення умов праці екіпажу. До таких стратегій можуть входити розробка програм забезпечення відпочинку екіпажу, правильної організації робочих місць та обладнання, проведення психологічних тренінгів та навчань для екіпажу.

Крім того особливе місце займає ергономічний аспект який пов'язаний з адаптацією працівників до умов роботи на судні та забезпеченням їхньої безпеки під час виконання робіт. Це включає організацію робочих місць, використання ергономічних засобів захисту, раціональне розміщення обладнання на борту, а також навчання членів екіпажу правильному використанню обладнання, запобігання надмірному фізичному перевантаженню та травмам в процесі виконання робіт через використання безпечних методів роботи, належне навчання та тренування персоналу, застосування захисних засобів та організацію регулярного медичного обстеження. Наприклад, на судні створюються ергономічні робочі атмосфери, зручності для членів команди навігаційного містка, щоб забезпечити зручність та безпеку під час тривалої роботи при постійно змінних умовах. Також можуть використовуватися ергономічні засоби захисту, такі як рукавиці або наколінники, для захисту від травм та інших небезпек.

Забезпечення ергономічної безпеки на судні важливо не лише для збереження здоров'я та безпеки моряків, але й для забезпечення ефективності їх роботи. Недостатня увага до ергономічної безпеки може призвести до зниження продуктивності, збільшення витрат на лікування працівників та компенсації шкоди, заподіяної через травми або захворювання, а також до зниження якості та безпеки роботи на судні в цілому.

Слід додати що ергономіка включає в себе проектування інтерфейсу між людиною та технічним пристроєм, що дозволяє забезпечити ефективність та комфортність такої взаємодії а ергатика включає в себе вивчення фізичних та психологічних процесів, що відбуваються в організмі людини під час виконання різних фізичних робіт, з метою забезпечення безпеки та здоров'я людини в процесі роботи.

Аналіз ролі людського фактору та ступеня його впливу на процес управління на транспорті підкреслює важливість розробки стратегій управління людськими ресурсами та врахування при цьому факторів які впливають на процес прийняття рішень, рівень співпраці між членами екіпажу та загальну ефективність роботи на судні:

- Когнітивні фактори, які включають когнітивні процеси, такі як сприйняття, увага, пам'ять, мислення та прийняття рішень. Індивідуальні відмінності у когнітивних здібностях можуть впливати на здатність людини адаптуватися до нових ситуацій, аналізувати інформацію та приймати швидкі та точні рішення.
- Соціальні фактори які характеризуються взаємодією та співпрацею між членами екіпажу можуть бути під впливом соціальних факторів, таких як комунікація, лідерство, конфлікти та довіра. Ефективна комунікація та співпраця можуть покращити координацію дій, забезпечити взаємопідтримку та зменшити можливі помилки.
- Стресові фактори, адже робота на суднах може бути пов'язана зі стресом, особливо в ситуаціях віддаленості від берегу, великого обсягу роботи, підвищеної небезпеки або в умовах високої відповідальності. Стрес може впливати на увагу, прийняття рішень та здатність до виконання завдань.
- Технічні фактори впливають на взаємодію між людиною та ергатичними системами управління на транспорті і мають значний вплив на процес управління судном. Серед технічних факторів можуть бути дизайн інтерфейсу, доступність інформації, надійність систем та рівень їх

оснащеності.

Результати аналізу ролі людського фактору та його впливу на процеси управління на транспорті представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Аналіз ролі людського фактору та ступеня його впливу на процеси управління

Фактор	Характеристика
Компетентність та навички членів екіпажу	Кваліфікація, досвід та навички моряків мають прямий вплив на безпеку та ефективність морських перевезень. Недостатня підготовка членів екіпажу може призвести до помилок у маневруванні судна, неправильного використання навігаційних приладів або неправильної реакції на надзвичайні ситуації. Тому важливо мати ефективну систему набуття і підтримки навичок моряків, включаючи навчання, тренування та сертифікацію.
Рішення капітана та посадових осіб	Рішення, прийняті капітаном та членами екіпажу судна, мають великий вплив на безпеку та результативність усіх операцій на борту. Вони повинні ґрунтуватись на аналізі інформації про стан погоди, трафік, навігаційні небезпеки та інші фактори, що можуть впливати на безпеку експлуатації судна, маршруту переходу, швидкості, режиму руху та безпекових заходів.
Співробітництво та комунікація	Ефективне співробітництво та комунікація між різними учасниками процесу морського транспортування вантажів, є необхідними для координації дій та інформаційного обміну. Обмежене спілкування або непорозуміння в комунікації можуть призвести до помилок, збоїв та затримок в транспортних процесах.
Вплив фізичних та психологічних факторів	Фізичний та психологічний стан членів екіпажу може впливати на їхню працездатність та прийняття рішень. Недостатня фізична підготовка, втома, стрес або недостатня концентрація уваги можуть знизити ефективність та безпеку морських перевезень. Тому важливо забезпечувати оптимальні умови праці та відпочинку для членів екіпажу, а також проводити відповідний медичний контроль.
Законодавство та регуляторні вимоги	Законодавство та регуляторні вимоги визначають стандарти та правила, яких необхідно дотримуватися на морському транспорті. Вони включають вимоги до кваліфікації моряків, безпекові стандарти, процедури навігації та комунікації, а також правила взаємодії з іншими суднами та водними об'єктами.

Врахування цих закономірностей впливу фактора людини на морські транспортні процеси сприяє покращенню безпеки та ефективності морських перевезень. Додатково навчання та тренування моряків, забезпечення фізичного та психологічного благополуччя екіпажу, розробка ефективних систем зв'язку та комунікації, а також виконання вимог законодавства та регуляторних стандартів є важливими напрямками розвитку морського транспорту. Людський фактор і ергатичні системи управління взаємопов'язані у багатьох аспектах. Ергономіка та психологія праці є ключовими факторами, які впливають на використання ергатичних систем управління. Наприклад, недостатнє знання або розуміння роботи системи може призвести до неправильного використання або неправильної інтерпретації даних, що може призвести до небезпеки для судна і екіпажу. Деякі приклади включають неправильне розташування інтерфейсів, невідповідність між системою та користувачем, складність використання та недостатню чіткість та доступність інформації. З іншого боку, добре спроектована та пристосована до потреб користувача система може зменшити ризики виникнення помилок та збільшити продуктивність екіпажу.

Дослідження принципів взаємодії та впливу людського фактору на ергатичні системи управління на транспорті продемонструвало значну роль цього фактору в підвищенні ефективності, забезпеченні безпеки та оптимізації роботи судна. Результати досліджень підкреслюють ключові аспекти, які слід враховувати в контексті взаємодії між людиною та ергатичними системами управління, що дають змогу визначити три складові, а саме вивчення взаємодії між людським фактором та ергатичними системами (1), виявлення сильних та слабких сторін людського фактору та ергатичних систем (2), та розробка оптимальних рішень для покращення процесів роботи та ефективного використання технологій, як представлено у табл. 2.

Крім того, постійне вдосконалення технологій, які полегшують роботу екіпажів морських суден та підвищують безпеку, також має велике значення. Наприклад, впровадження автоматизованих систем управління судном, використання сучасних навігаційних та комунікаційних технологій, застосування систем відеоспостереження та дистанційного моніторингу можуть покращити контроль над судном і допомогти уникнути непередбачуваних ситуацій.

Оптимізація взаємодії людського фактору та ергатичних систем управління

Складові взаємодії людини і ергатичної системи		
1	2	3
Оптимізація роботи	Вивчення взаємодії допомагає виявити сильні та слабкі сторони людського фактору та ергатичних систем.	На основі цих даних можна розробити оптимальні рішення, щоб покращити процеси роботи та забезпечити більш ефективне використання технологій.
Покращення ефективності	Розуміння, як люди взаємодіють з технологіями, дозволяє виявити можливості для покращення продуктивності.	Наприклад, розробка інтерфейсів та систем, що враховують людські особливості, може сприяти більш ефективному використанню технологій та скороченню часу на виконання завдань.
Забезпечення безпеки	Врахування взаємодії між людьми і технологіями допомагає виявити потенційні ризики та проблеми, пов'язані з безпекою мореплавства	Це дає змогу розробити заходи та системи, що забезпечують безпеку членів екіпажу, уникнення аварій та помилок
Присутсування технологій	Розуміння взаємодії між людьми і технологіями допомагає створити більш зручні та ергономічні системи.	Це означає, що технології можуть бути розроблені з урахуванням індивідуальних потреб, навичок і можливостей операторів
Удосконалення дизайну інтерфейсу	Розуміння потреб та характеристик операторів дозволяє розробити інтуїтивно зрозумілі та легкі у використанні інтерфейси	Це сприяє покращенню комунікації між операторами та технологіями, зниженню помилок та підвищенню ефективності використання
Розвиток спеціалізованих навичок	Вивчення взаємодії допомагає ідентифікувати необхідні навички для ефективного використання ергатичних систем	Це може включати навчання персоналу, розвиток спеціалізованих компетенцій та забезпечення доступу до навчальних ресурсів
Врахування службових та етичних аспектів	Вивчення взаємодії допомагає зрозуміти службові та етичні вимоги щодо використання ергатичних систем.	Це включає питання конфіденційності даних, розподілу повноважень та відповідальності, а також впливу технологій на судноплавство
Підтримка сталого розвитку	Вивчення принципів взаємодії може допомогти виявити можливості для впровадження сталих практик у використанні технологій	Це може включати зменшення енергоспоживання, оптимізацію маршрутів, покращення екологічної ефективності водного транспорту та інші заходи

Взаємодія між людським фактором і ергатичними системами відіграє важливу роль у різних аспектах життя, включаючи транспорт, медицину, інформаційні технології та інші галузі. Люди використовують ергатичні системи для полегшення роботи, підвищення продуктивності, забезпечення безпеки та виконання складних завдань. Ергатичні системи включають в себе різноманітні технічні рішення, автоматизовані системи, інтелектуальні системи, робототехніку та інші технології. Проте важливо зберігати баланс між ергатичними системами і людським фактором адже як відомо він включає в себе здібності, навички, знання, мотивацію, сприйняття та інші аспекти поведінки людини тому занадто велике покладання на автоматизацію та технології може призвести до втрати контролю, помилок та інших негативних наслідків що притаманно людині. Потрібно забезпечувати адекватну взаємодію, враховуючи особливості і потреби людей, а також гармонійно інтегрувати технологічні рішення в людські дії та процеси. Оскільки системи управління на судах безпосередньо пов'язані з взаємодією людини з технікою та виконанням фізичної роботи, ергономічні та ергатичні аспекти є важливими для забезпечення безпеки та ефективності роботи на судні.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- Klymenko, V.V. & Novalska, N.I. & Lozova, G.M.. (2022). Вплив людського фактору на забезпечення стабільності та надійності транспортно-логістичних систем під час російсько-української війни. *Transport development*. 166-178. 10.33082/td.2022.3-14.12.
- Nosov, Pavlo & Zinchenko, s & Prokopchuk, Yurii & Popovych, Ihor & I., Litovchenko. (2021). Influence human factor on safety's planning route of water transport. 1. 57-69. 10.33815/2313-4763.2021.1.24.057-070.
- Bęczkowska SA, Grabarek I. The Importance of the Human Factor in Safety for the Transport of Dangerous Goods. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Jul 15;18(14):7525. doi: 10.3390/ijerph18147525. PMID: 34299976; PMCID: PMC8305933.
- Nosov, Pavlo & Zinchenko, s & ben, Andrii & Prokopchuk, Yurii & Mamenko, P. & Popovych, Ihor & Moiseienko, Vladyslav & Kruglyj, Dmytro. (2021). Navigation Safety Control System Development through Navigator Action Prediction by Data Mining Means. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2. 55 - 68. 10.15587/1729-4061.2021.229237.
- Noy YI. Human factors in modern traffic systems. *Ergonomics*. 1997 Oct;40(10):1016-24. doi: 10.1080/001401397187577. PMID: 9339139.

6. Мельник О.М. Врахування фактору стресу у системі забезпечення безпеки мореплавства / О.М. Мельник, Ю.В. Бичковський // Вчені записки ТНУ ім. Вернадського. Технічні науки. – 2021. – 32(71) № 4 – С. 260-264. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.4/39>

7. Бичковський Ю.В., Мельник О.М. (2022). Роль та місце людського елемента у ситуації навалу або зіткнення судна з причалом. Вчені записки ТНУ ім. Вернадського. Технічні науки 33(72) № 1 – С. 270 – 276. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/413>.

8. Gogo, Volodymyr & Kobylansky, Boris. (2020). Analysis of ergatic system factors of occupational miners safety of Ukraine. Journal of Donetsk mining institute. 194-205. 10.31474/1999-981x-2020-2-194-205.

9. Lun, Y.H. & Lai, Kee-hung & Cheng, T. & Yang, Dong. (2023). International Trade and Shipping. 10.1007/978-3-031-26090-2_1.

10. Kurdel, Pavol & Labun, Ján & Adamčík, F.. (2014). Instrumental control of avionic ergatic system. 1. 219-226.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Онищенко О.А. (Україна)

Надійшла до редколегії 18.04.2023.

Прийнята до друку 02.05.2023.

O. MELNYK

STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN HUMAN FACTORS AND ERGATIC MANAGEMENT SYSTEMS IN TRANSPORTATION

Purpose. This article investigates the process of interaction between the role and degree of influence of the human factor on the ergonomic control systems in transport. The human factor, its components in the process of management in water transport systems and the impact of technical systems on human activity are analyzed. The main focus is on studying the role and relationship between the human factor and ergatic control systems, such as automated systems, intelligent transport systems and other technological solutions used in water transport. **Research methods.** The study uses the method of analysis and synthesis based on the literature survey, the qualitative method, data collection and analysis, which allows to assess and qualitatively describe the impact of the human factor on ergatic control systems, in particular, how these systems affect the interaction of people and ergatic systems in the process of performing routine operations on the ship, decision-making processes, the work of operators and users of transport services. The article is based on an analysis of scientific research, including psychological, sociological and engineering aspects of the interaction between humans and ergonomic control systems. **Results.** Identification and evaluation of the main factors of human influence on ergatic systems. The analysis also makes it possible to understand how technical innovations affect the role of the human factor in the transport sector. **Scientific novelty.** The novelty of this article lies in the combination of studying the impact of the human factor on the ergatic control systems in transport and analyzing various aspects of this interaction. **Practical relevance.** The presented material has a significant practical contribution, as it provides important recommendations for improving the process of interaction between the human factor and ergonomic control systems in transport.

Keywords: human factor, ergatic control systems, transport systems, decision-making, ship efficiency, technical aspects, interaction between man-technology interaction, transport safety.

УДК 658.23:656.3 (045)

М. В. ХАРА^{1*}, Г. В. МАСЛАК^{2*}, І. В. НІКОЛАЄНКО^{3*}, В. В. СОСНОВЦЕВ^{4*}

^{1*}Каф. «Транспортні технології підприємств», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49027, Україна, тел. +38 (096) 743 72 36, ел. пошта: haramarina4691@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6818-7938

^{2*}Каф. «Транспортні технології підприємств», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49027, Україна, тел. +38(068)4359295, ел. пошта: avmaslak81@gmail.com, ORCID 0000-0001-7256-5543

^{3*}Каф. «Організації авіаційних робіт та послуг», Національний авіаційний університет, вул. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна, тел. +38 (096) 743 92 93, ел. пошта: iryna.vnikolaienko@gmail.com, ORCID 0000-0002-2933-0498

^{4*}Каф. «Транспортні технології підприємств», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49027, Україна, тел. +38 (068) 779 96 69, ел. пошта: zxkvv12@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОСОБЛИВОСТЕЙ ІСНУЮЧОГО ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНУ НА ЛОГІСТИКУ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Мета. Дослідження реального стану генеральних планів існуючих промислових підприємств нашої країни свідчить про те, що сьогодні планувальні рішення деяких промислових підприємств, особливо металургійних, які побудовані в двадцятому столітті, значною мірою не відповідають класичним принципам проектування генпланів. Досягнення економічного ефекту виробництва на підприємстві залежить від логістики підприємства. Тому метою роботи є дослідження проблеми впливу існуючих генеральних планів на шляхи вдосконалення транспортного обслуговування виробничих цехів і ефективність логістики промислового підприємства в цілому. **Методи дослідження.** В процесі дослідження використані методи аналізу і синтезу для вивчення питання та основних наукових публікацій щодо впливу існуючих генеральних планів на логістику промислових підприємств. **Результати.** В роботі за допомогою експериментального методу аналізу даних реалізованих генеральних планів підприємств проведено дослідження впливу існуючих генеральних планів на шляхи вдосконалення транспортного обслуговування цехів підприємства і ефективність логістики промислового підприємства в цілому, які вказують на необхідність нових дієвих методик та пропозицій, що врахували б особливості функціонування транспорту підприємства. **Наукова новизна** полягає у розробці загального методу визначення впливу існуючих схем генеральних планів на транспортні витрати і на створення аварійних ситуацій. Основним напрямом підвищення ефективності транспортного обслуговування промислового підприємства і логістики в цілому є комплексна реконструкція території підприємства з урахуванням виконання транспортних та складських робіт з метою підвищення ефективності використання територій, скорочення допоміжних виробництв, перепрофілювання, розміщення суміжних виробництв чи інших не виробничих функцій, вирішення екологічних завдань на основі найкращих вітчизняних та зарубіжних досягнень. **Практична значимість.** Практичну значимість представлених теоретичних положень дослідження складають результати аналізу технологічних планувальних рішень і запропоновані оціночні критерії. Представлені теоретичні положення, в основу яких покладено експериментальний метод аналізу даних реалізованих генеральних планів, дозволили провести комплексну оцінку сучасного стану і використання території підприємства, та можуть в подальшому використовуватися при розробці нових технологій, технічних засобів і технологічних планувальних рішень, які їм відповідають.

Ключові слова: генеральний план, логістика, промислові підприємства, принципи проектування, виробничі зв'язки, схеми розміщення цехів, транспорт, планувальні рішення, транспортні витрати.

Вступ

Основним завданням генерального плану підприємства є створення оптимальних виробничих зв'язків, транспортних комунікацій (залізничний, безперервний, автомобільний та інш. транспорт), енергетичних ресурсів (газ, тепло, пара, електроенергія, повітря, кисень, ацетилен і тому подібне), а також вибір в заданому районі промислового майданчика для будівництва під-

приємств, розробка горизонтального планування підприємства, як сукупності планувальних рішень його основних і допоміжних цехів і споруд, транспортних і інженерних комунікацій, інженерна підготовка промислового майданчика, що передбачає комплекс заходів, необхідних для забезпечення будівництва і нормальної експлуатації підприємства [1].

Від правильного, більш доцільного рішення генерального плану залежить успішна робота

промислового підприємства. Помилки, які допущені при проектуванні генерального плану, не можуть бути виправлені протягом усього періоду експлуатації підприємства, тому що внесення істотних змін, виправлень у розташуванні побудованих цехів, агрегатів, будівель, споруджень і комунікацій не представляється можливим [2].

Дослідження реального стану генеральних планів існуючих промислових підприємств нашої країни свідчить про те, що сьогодні планувальні рішення деяких промислових підприємств, особливо металургійних, які побудовані в двадцятому столітті, значною мірою не відповідають класичним принципам проектування генеральних планів. Досягнення економічного ефекту виробництва на підприємстві залежить від логістики підприємства. Це очевидна теза і їй присвячено багато досліджень, проте складно організувати логістику на підприємстві в тому випадку, якщо оптимальні виробничі зв'язки стали неафективними внаслідок того, що в процесі розвитку підприємства, його техніки та технології існуючий генеральний план став обмежуючим елементом для досягнення ефективності виробництва.

Аналіз останніх публікацій та досліджень

У зарубіжній науковій літературі питаннями історії та теорії промислового будівництва займалися автори: Б. Агглетекі, К. Акерманн, Г. Алой, Ф. Бучі, Д. Вінтер, К.-Х. Ландер, Т. Піренкемпер, Х.-Г. Пфайфер, Р. Шмалор. Праці вчених Р. А. Букенона, Т. І. Вільямса, Н. В. Вороніной, М. А. Гранстрем, Д. Дадлі, Т. К. Дері, М. Дома, Ф. Д. Клінжедера, М. Кренсборга, Г. В. Міц, О. А. Пекіна, В. Персола, К. Хадсона в галузі промислової архітектури створили базу для наукового обґрунтування та практичного становлення процесу адаптації промислових підприємств до нової функції. Питанням історії та теорії створення великих промислових підприємств приділяли автори: Д. Аранович, А. С. Вайнцвайг, В. П. Гофман, А. Зильберт, І. С. Ніколаєв, О. С. Фисенко, В. Д. Цветаєв, С. Н. Щербако. Проблеми реконструкції промислових об'єктів розглядалися у працях наступних вчених: Б. Л. Валкіна, Д. А. Жмудського, П. Н. Казакова, В. А. Новікова, И. В. Полещук, А. В. Попова, Л. С. Потапова, В. А. Самогорова, А. В. Снітко, Л. Н. Сухініной, С. С. Фролова, Г. Н. Черкасова. Різні аспекти математичного моделювання, кібернетики, питання багатоваріантного проектування складних техніко-економічних систем знайшли

відображення у працях вчених: В. Г. Афанасьєва, В. В. Дузирєва, В. М. Глушкова, В. В. Кафарова, С. Е. Канторера, В. Н. Мастаченко, А. І. Митрофанова., Н. П. Федоренко, Т. С. Хачатурова, Л. М. Чистова. Аналізу планувальних рішень металургійних комбінатів повного циклу присвячені наукові праці таких вчених як А. П. Никодимов, А. С. Гельман, І. І. Костін, В. А. Ригалов, Б. Ф. Шаульський, В. Ф. Яковлев, Ю. І. Ритов, В.Е.Парунакян і ряд інших вчених і фахівців [3-5], а також розроблені норми, стандарти і правила проектування заводів чорної металургії [6-8].

Проаналізувавши вищевказані публікації, можна прийти до наступного висновку: їх об'єднує загальноприйнята класифікація схем залізничних колій і типів схем по взаємному розташуванню виробничих об'єктів. Також наведені переваги і недоліки кожної зі схем для транспортних потоків. Все це дає змогу ідентифікувати будь-який генеральний план заводу і зробити висновок про раціональність того чи іншого планувального рішення, винести пропозиції щодо поліпшення транспортного обслуговування в разі неефективності транспортної системи через проблеми, що існують в транспортно-технологічних схемах переміщення матеріалопотоків [9].

Мета

Метою роботи є дослідження проблеми впливу існуючих генеральних планів на шляхи вдосконалення транспортного обслуговування цехів підприємства і ефективність логістики промислового підприємства в цілому.

Методи дослідження

В процесі дослідження використані методи аналізу і синтезу для вивчення питання та основних наукових публікацій щодо впливу існуючих генеральних планів на логістику промислових підприємств.

Виклад основного матеріалу

Для вирішення поставленої проблеми необхідно виявлення характерних особливостей архітектури та генеральних планів промислових підприємств, побудованих у минулі роки, визначення їх ролі та значення в історії вітчизняної промислової архітектури, дослідження сучасного стану підприємств, ступеня раціональності використання їх територій, визначення закономірностей розвитку великих промислових підприємств, побудованих у першій половині мину-

лого століття у зарубіжній та вітчизняній практиці, сучасних тенденцій у реконструкції промислових підприємств, визначення ступеня відповідності сучасним вимогам підприємств у цілому та окремих цехів.

Основою функціонування великого сучасного підприємства, як виробничої системи, являється виробничий процес. Структуру підприємства складають цехи, відділення, склади, а технологічні зв'язки між ними – це транспортні комунікації, якими здійснюється матеріалорух сировини, напівфабрикатів і готової продукції. Ув'язка численних цехів і господарств, енергетичних споруд і транспортних служб, усіх підземних, наземних і надземних споруд в єдиний виробничий комплекс здійснюється за допомогою генерального плану. Генплан – це система, яка складаються з окремих елементів: будівель, споруд і виробничих зв'язків. Він є важливою частиною проекту підприємства будь-якої галузі промисловості. Основою технічних рішень по генеральному плану промислового підприємства є технологія основного виробництва, склад основних і допоміжних цехів, одинична потужність агрегатів і взаємний зв'язок цехів і агрегатів в процесі виробництва.

Розташування різних будівель і споруд на майданчику підприємства великою мірою визначається архітектурно-будівельними вимогами і геолого-топографічними умовами майданчика, необхідністю створення архітектурно-вирозного вигляду підприємства.

Встановлено, наприклад, що для сучасного металургійного комбінату при об'ємі капітальних витрат, що становлять близько 20 млн. грн. на 1 га заводської території, близько 8-10 % або 1,6-2,0 млн. грн. безпосередньо залежать від планувальних рішень генерального плану і пов'язаних з ним, витрат на транспорт.

Мета проектування генерального плану промислового підприємства полягає в тому, щоб на майданчику, вибраному для будівництва, забезпечити найбільш компактне розміщення основних і допоміжних цехів, споруд, а також транспортних і інженерних комунікацій в повній відповідності з виробничими вимогами в ув'язці з параметрами транспорту і з урахуванням архітектурно-будівельних норм і правил. При цьому економічність проектного рішення досягається шляхом скорочення капіталовкладень, зниження експлуатаційних витрат, включаючи транспортні витрати, а також зменшення території промплощадки.

Цільова функція проектування генерального плану має вигляд:

$$C_{\text{ін}} + C_{\text{вн}} + C_{\text{зов}} + C_e + C_d \rightarrow \min$$

де $C_{\text{ін}}$ – вартість інженерної підготовки (земляні роботи, відсіпання);

$C_{\text{вн}}$ – вартість прокладання комунікацій між будівлями:

$$C_{\text{вн}} = \sum_{t \in T'} c_t \sum_{i,j=1}^N L_{w_i w_j}^t$$

$C_{\text{зов}}$ – вартість прокладання комунікацій до зовнішніх точок підключення:

$$C_{\text{зов}} = \sum_{t \in T'} c_t \sum_{i=1}^N L_{w_i z_k}^t$$

C_e – вартість будівництва естакад, якими проходять комунікації;

$$C_e = c_e S_e$$

C_d – вартість прокладання доріг.

$$C_d = S_d c_d$$

Отже, розміщення виробничих об'єктів на промислового майданчику повинне забезпечувати: технологічну послідовність розташування цехів і споруд і взаємне розташування на горизонтальній площині і висотне сполучення цехів і споруд виходячи з параметрів виду транспорту, прийнятого на основних технологічних вантажопотоках.

Основою для забезпечення цих умов є принципи проектування генеральних планів. Вони полягають в наступному:

1. Розміщення цехів на промислового майданчику повинне відповідати вимогам технології і організації виробництва і забезпечувати потоковість виробничого процесу.

2. Генеральний план повинен проектуватися із зонуванням території, тобто мати чітке ділення території підприємства за видом виробництва і призначенню будівель і споруд з об'єднанням однорідних груп цехів в цілях поліпшення умов експлуатації і кооперованого обслуговування.

3. Генплан повинен забезпечувати компактне планувальне рішення, що дозволяє раціонально використати територію підприємства.

4. Генеральний план повинен передбачати черговість будівництва, можливість зручного поетапного розвитку і подальшого розширення підприємства з максимальним використанням раніше побудованих і експлуатованих споруд.

5. У проєкті генерального плану мають бути враховані кліматичні, інженерно-геологічні і топографічні особливості майданчика підприємства і району його розміщення.

6. Проєкт генерального плану підприємства повинен відповідати екологічним вимогам, тобто забезпечувати охорону довкілля.

Для існуючих промислових (особливо металургійних) підприємств нашої країни характерно порушення першого принципу проєктування генпланів, що призводить до комплексу проблем, пов'язаних з розташуванням переділів на великих відстанях, функціонуванням громіздких залізничних станцій, які є не тільки транспортними вузлами для обслуговування виробництв, а й комплексом технічних засобів для забезпечення необхідної пропускної спроможності транспортної схеми.

Порушення четвертого принципу проєктування генерального плану призводить до відсутності резерву виробничих потужностей, які не були передбачені забудовою при плануванні розташування основних, допоміжних цехів і які в даний момент часу не представляється можливим створити, що також перекладає роботу з агрегатів та виробничих механізмів на транспорт і транспорт починає виконувати крім основної функції функцію «складу на колесах».

Для того, щоб створити ефективну транспортну систему підприємства послідовність дій повинна бути наступною: на першому етапі виконується проєктування транспортно-технологічної схеми, за її результатами визначаються технологічні параметри виробничих цехів і їх виробничі зв'язки; другим етапом проєктування за відпрацьованою транспортно-технологічною схемою визначаються вантажопотоки виробничих об'єктів, виконується докладний розрахунок обсягів перевезень за всіма вантажопотоками, вибирається вид транспорту і, таким чином, формується транспортна система підприємства. Однак, всі ці дії неможливі без основи – планувального рішення підприємства, що проєктується.

В якості прикладу можна навести одно з підприємств нашої країни з повним металургійним циклом, яке було побудовано у першу половину минулого століття. Його генеральний план має форму неправильного багатокутника, витягнутого з південного сходу на північний захід. Складний характер генерального плану і транспорту визначило те, що завод закладений у 1896 році і його розвиток проходив поетапно в різні часові періоди. У зв'язку з цим, майданчики виробничих потужностей, які існували до початку

повної реконструкції підприємства на початку 60-х років, прийнято називати «старою» частиною, а майданчик з об'єктами будівництва після цього періоду – «ною» частиною комбінату. Це підприємство з повним металургійним циклом, проєктною продуктивністю 6,0 млн. тон сталі на рік і має в своєму складі наступні виробництва: доменне, сталеплавильне, прокатне, енергетичний комплекс, транспортне господарство, складське господарство [9].

Планувальне рішення цього комбінату прийнято за принципом зворотно-потокowego комбінованого типу. Недоліком цього планувального рішення є складна інфраструктура залізничного транспорту. Як правило, такі питання повинні вирішуватися за рахунок заміни залізничного транспорту на конвеєрний транспорт, але сьогодні це неможливо в умовах, що склалися на комбінаті, оскільки основні виробничі переділи знаходяться на суттєвій відстані один від одного (наприклад, відстань агломераційної фабрики (АФ) від доменних печей становить близько 10 км). Як показують дослідження, зворотний напрямок проходження матеріального потоку є нерациональним для заводів повного циклу.

Агломераційне виробництво обслуговують дві залізничні станції, одна транзитна і одна тупикова. Особливістю розташування аглофабрики металургійного підприємства є значна віддаленість її від доменного цеху (ДЦ). 80% транспортного обслуговування АФ доводиться на залізничний транспорт. Схему залізничного транспорту, що обслуговує аглофабрику, можна класифікувати як тупикову з примиканням до з'єднувальних колій із заводською і районною станціями і двосторонню з двома заводськими станціями. Станція Аглофабрика є транзитною і пропускає рухомі склади, які прямують з іншої заводської станції, а також у зворотному напрямку на адресу інших цехів, або на зовнішню мережу. Перевага такої схеми залізничного обслуговування аглофабрики полягає в коротких пробігах між заводською станцією і місцем вивантаження для подачі в основний цех і, відповідно, незначною протяжністю колій. Істотним недоліком планувального рішення є «розірваність» виробничої лінії, відсутність поточності і, як наслідок, технологічності етапу виробництва «агломератчавун».

Для доменного цеху у складі п'яти печей загальним обсягом 8635 м³ характерні великий обсяг і складна система вантажопотоків. Влаштування доменного цеху, характер розміщення в ньому основних об'єктів багато в чому визнача-

ються обраною системою вантажопотоків і транспорту і зміна цих систем істотно впливає на проєктування ДЦ.

Розливне відділення доменного цеху побудовано в стороні від доменних печей. Рациональне розташування всіх основних споруд, агрегатів,

машин, механізмів і транспортних шляхів – основна вимога до генеральних планів та транспорту доменного цеху [9].

Доменний цех обслуговує автомобільний, залізничний, трубопровідний транспорт. Велика різноманітність спеціалізованого залізничного транспорту, на який припадає понад 70% від загального обсягу транспортної роботи (рис. 1).

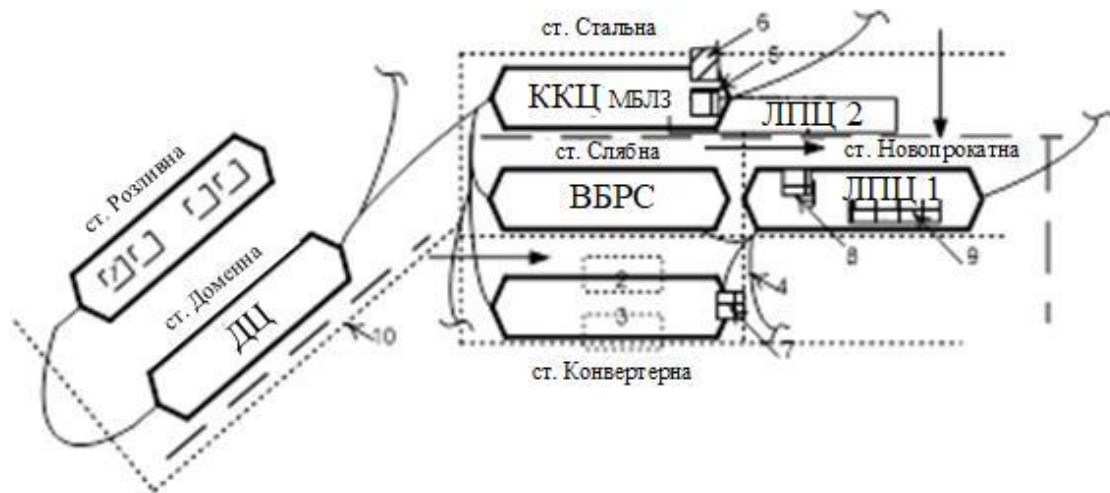


Рис. 1. Схема планувального рішення доменного, сталеплавильного і прокатного переділів металургійного підприємства:

1 – розливні машини; 2 – шихтовий двір; 3 – шлаковий двір; 4 – залізнична колія; 5 – склад злитків; 6 – слябінг; 7 – склад сипучих матеріалів ККЦ; 8 – склад слябів; 9 – склад готової продукції; 10 – автодорога

Схема розміщення доменного цеху по відношенню до киснево-конвертерного цеху (ККЦ) – під кутом, киснево-конвертерний цех по відношенню до прокатних цехів – з послідовним розміщенням, що зазначено на рисунку 1 стрілками. Косокутна послідовна схема, коли доменний цех розташований під кутом до поздовжньої осі заводу з кутовою подачею чавуну в сталеплавильний цех, а сталеплавильний цех і прокатні розташовані послідовно уздовж поздовжньої осі заводу, характеризується компактністю забудови цехів з можливістю подальшого розвитку заводу, а також розташуванням двох станцій примикання Західна і Сортувальна центрально по відношенню до заводської майданчику з коліями з районних станцій Стальна і Новопрокатна. Однак при цьому значно ускладнюються умови роботи горловини заводських станцій і погіршуються умови трасування шляху готової продукції (суцільна крива невеликого радіусу).

Перевезення рідкого чавуну з доменного цеху здійснюється спеціалізованим залізничним транспортом в чавуновозних ковшах-міксеро-вах вантажопідйомністю 140 т до спеціального

відділення переливу і далі – в заливальних ковшах на робочу площадку конвертерного відділення.

Скrap в спеціальних совках, що встановлюються на платформи, перевозять залізничним транспортом зі скрапооброблювального у шихтове відділення цеху. Однак більш привабливим з транспортної точки зору був би варіант доставки скрапу в шихтове відділення автомобільним і залізничним транспортом з перевантаженням в великогабаритні совки великої місткості і подача б велася переважно конвеєрним транспортом.

Транспортування гарячого сталеплавильного шлаку здійснюється спеціалізованими вагонами-шлаковозами. Шлаковозні ковші розташовані перпендикулярно конверторному прольоту, однак, з транспортних та планувальних міркувань кращою є поздовжня схема колій збирання шлаку. Сучасні планувальні рішення киснево-конвертерного цеху проєктуються за таким типом.

Прокатний переділ комбінату в складі товстолистого цеху (далі – ЛПЦ-3000), листопрокатного цеху (далі – ЛПЦ-1700), цеху холодного прокату (далі – ЦХП) і трубопрокатного цеху

(далі – ТПЦ) продуктивністю понад 5 млн. тон на рік готового прокату характеризується переміщенням великих мас металу в процесі його прокатки, видаленні відходів виробництва, обслуговуванні великої кількості навантажувальних фронтів, відбору вагонів під відвантаження, подачі і розстановки вагонів на вантажних фронтах, організації відправницьких маршрутів.

Основними ділянками роботи транспорту в прокатному виробництві є:

– перевезення злитків при розливанні сталі в виливниці або литої заготовки при розливанні на МБЛЗ;

- транспортування заготовки;
- перевезення готової продукції;
- перевезення скрапу, окалини, вогнетривів, обладнання, валків і інших вантажів.

Обсяг перевезень основних вантажів у прокатних цехах в значній мірі залежить від виду розливання сталі (розливання в виливниці або безперервна розливка у відділенні безперервного розливу сталі (ВБРС), розташування прокатних цехів (прокатні цехи і ВБРС зблоковані або знаходяться на значній відстані один від одного), типу стану і ін. [9]. На комбінаті схема з'єднання цехів сталеплавильного і прокатного визначається існуючим способом розливання сталі – безперервне розливання. Сляби з МБЛЗ без прокатки на обтискних станах передаються безпосередньо на стани гарячої прокатки. Транспортне обслуговування ЛПЦ здійснюється двома видами транспорту – залізничним та автомобільним.

Схема розташування залізничних станцій і колій вказана на рисунку 2. Схеми розміщення станцій листопрокатних цехів визначають особливості роботи залізничного транспорту. Так, станція Західна і станція Сортувальна обслуговують вантажопотоки листопрокатних цехів. Станція Західна знаходиться під кутом до прокатних цехів, Сортувальна – послідовно. Обидві станції запроєктовані як вантажні станції з транзитним рухом. Передача заготовки від листопрокатних цехів гарячого прокату в цехи холодного прокату здійснюється спеціальними конвеєрами в підземних транспортних тунелях. Перевага такої схеми в порівнянні, наприклад, з тупиковою схемою розташування станцій – розподіл поїзної і маневрової роботи уздовж крайньої колії станції і це доцільно, враховуючи значні масштаби виробництва цього металургійного заводу. До складу прокатного району крім вищевказаних станцій включені та інші районні станції (див. рис. 1, 2).

Так, станція Стальна забезпечує подачу чавуну з доменного цеху в ККЦ. На станції Конвертерна відбувається організація транспортного обслуговування ККЦ з подачі шлаку і шихти, і інших сипучих матеріалів на конвертер. Станція Слябна організовує вантажопотоки слябів до листопрокатного цеху. На станції Новопркатна здійснюється прийом сталевих заготовок у вигляді слябів і відвантаження вже готової продукції, а також транспортне обслуговування прокатного виробництва виконують ряд інших районних станцій.

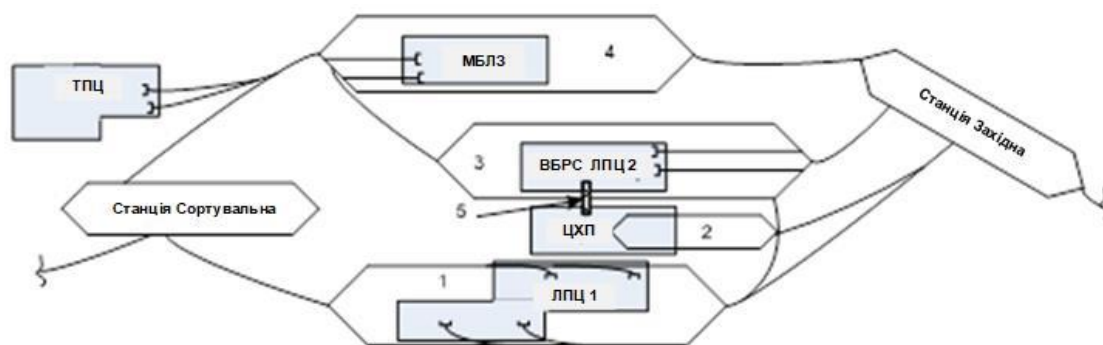


Рис. 2. Схема обслуговування цехів сталеплавильного і прокатного переділів залізничним транспортом: 1 – станція Новопркатна; 2 – станція Холодний прокат; 3 – станція Слябна; 4 – станція Стальна; 5 – конвеєр.

Всі станції є транзитними і забезпечують рух вантажопотоків по кільцю. З одного боку таке планувальне рішення прокатного і сталеплавильного виробництв покращує організаційно-експлуатаційні показники роботи залізничного транспорту в цілому, а з іншого боку тягне за собою нерациональність з точки зору техніко-економі-

чних показників – масштабність залізничної мережі, станцій, транспортних споруд. Обслуговування залізничного транспорту значно збільшує витрати підприємства і, відповідно, собівартості готової продукції.

Таким чином, вирішення питань, які перелічені вище, пов'язане з подальшою реконструк-

цією підприємств, збереженням та використанню архітектурної спадщини, спадкоємності у розвитку підприємств, виявленню шляхів поліпшення планувальної структури та об'ємно-просторової композиції підприємств [10, 11]. Але на практиці реконструкції промислових підприємств, питанням їхньої архітектурної організації досі не приділялося достатньої уваги. Реконструктивні заходи на заводах в першу чергу були спрямовані на збільшення обсягу готової продукції за рахунок оновлення існуючих і будівництва нових цехів [12]. Найчастіше реконструкція велася без урахування специфіки об'ємно-планувальної структури підприємства та його оточення. Не бралася до уваги наявність на території заводів різночасних зон забудови, різнохарактерних планувальних елементів, що становлять сучасний генеральний план та вигляд історичних металургійних підприємств [13]. Тривалий період формування підприємств визначив їх послідовне розширення від початкового майданчика до сучасного стану [14, 15, 16]. Неодноразова реконструкція заводів призвела до порушення планувальної структури. Всі ці фактори вказують на необхідність врахування впливу генерального плану на ефективність транспортного обслуговування підприємства і його логістику в цілому.

У сучасних умовах впровадження на промислових підприємствах нових енергозберігаючих, екологічно чистих технологій, насичення виробництва складним технологічним обладнанням, необхідність ув'язування потокових технологічних ліній та їх інженерного забезпечення потребує нових технологічних планувальних рішень. При їх розробці слід приймати, як нові технології, технічні засоби, так і відповідні технологічні планувальні рішення.

Головним напрямом подальшого підвищення ефективності промислових підприємств є їх реконструкція та технічне переозброєння. Основним при цьому є застосування нових технологій та комплексної механізації та автоматизації технологічних процесів на базі сучасного технологічного обладнання з комп'ютерним управлінням, що забезпечить реальні умови для підвищення продуктивності виробництва, зниження витрат матеріальних та трудових ресурсів на всіх стадіях технологічного процесу. Отже, вдосконалення та вибір найбільш ефективних технологічних планувальних рішень промислових підприємств при їх реконструкції є одним із найважливіших стратегічних завдань. Велика кількість можливих нових технологій та відповідних їм технологічних планувальних рішень складно

проаналізувати вручну, а отже, спрогнозувати наслідки вибору тієї чи іншої технології, того чи іншого планувального рішення. Для їх визначення доцільним є використання методик, що дозволяють за допомогою інформаційних технологій оптимізувати вибір технологічних та планувальних рішень.

Висновки

1. Проведено дослідження впливу існуючих генеральних планів на шляхи вдосконалення транспортного обслуговування цехів підприємства і ефективність логістики промислового підприємства в цілому, які вказують на необхідність нових дієвих методик та пропозицій, що враховували б особливості функціонування транспорту підприємства.

2. Визначено, що оптимальну та високоефективну роботу сучасного промислового підприємства визначають комплексні рішення генерального плану, оскільки вони включають багато інженерних та наукових проблем підприємства (в галузі транспорту, енерго- та теплопостачання, водопроводу та каналізації, газового господарства та ін.).

3. Визначено, що існуючі схеми генпланів призводять до значних транспортних витрат (одне примикання, великі порожні пробіги і витрати на обслуговування рухомого складу), створення аварійних ситуацій і припинення роботи транспорту на аварійних ділянках. Основним напрямом підвищення ефективності транспортного обслуговування промислового підприємства і логістики в цілому є комплексна реконструкція території підприємства з урахуванням технологій транспортних та складських робіт з метою підвищення ефективності використання територій, скорочення допоміжних виробництв, перепрофілювання, розміщення суміжних чи інших не виробничих функцій, вирішення екологічних завдань на основі найкращих вітчизняних та зарубіжних досягнень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Хара М. В. Генеральний план промислових підприємств [Електронний ресурс] : конспект лекцій по курсу «Генеральний план промислових підприємств» для студентів спеціальності 275 «Транспортні технології» усіх форм навчання / укл. М. В. Хара – Маріуполь : ДВНЗ «ПДТУ», 2019. – 98 с. – Режим доступу: <http://umm.pstu.edu/handle/123456789/17180>
2. Білоус О. І. Технологічні лінії та комплекси металургійних заводів [Електронний ресурс] : конспект лекцій із дисципліни «Технологічні лінії та ком-

плекси металургійних заводів» для студентів для студентів напрямку 6.050503 «Машинобудування» усіх форм навчання / укл. О. І. Білоус – Дніпродзержинськ : ДВНЗ «ДДТУ», 2015. – 51 с. – Режим доступу: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/1/3/1-3-kl5.pdf>

3. Парунакян В. Э., Маслак А. В. Транспортное обслуживание металлургического производства: учебное пособие / В. Э. Парунакян, А. В. Маслак. – Мариуполь: ПГТУ, 2014. – 209 с.

4. Никодимов А. П. Генеральный план и транспорт промышленных предприятий: учебное пособие [Ч. 1–2]. – Санкт-Петербург: ЦОТПБСПП, 2007. – 268 с.

5. Таранда И. Н. Проектирование генерального плана и транспорта в современных условиях / И. Н. Таранда, А. С. Песин, А. А. Рожкова // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. – № 1. – С. 27 – 32. – Режим доступу: <https://www.metaljournal.com.ua/mgp-01-2009/>

6. Климов А. Н. Особенности проектирования генеральных планов металлургических мини-заводов / А. Н. Климов, В. И. Пиво; Металлургическая и горнорудная промышленность/2017 3 С. 233–128. – Режим доступу: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:XMiKd7F5PsoJ:www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe%3FC21COM%3D2%26I21DBN%3D

7. Шишкін Е. А. Інноваційні планувальні та конструктивні рішення сучасних будівель і споруд : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання галузі знань 19 – Архітектура та будівництво, спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія / Е. А. Шишкін, Ю. І. Гайко ; Харків. нац. ун-т міськ. госпва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 40 с. – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua/61733/1/%D0%A8%D0%B8%D1%88%D0%BA%D1%96%D0%BD%2C%20%D0%9A%D0%9B.pdf>

8. ДСТУ Б А.2.4–6–95 (ГОСТ 21.508-93). Правила виконання робочої документації генеральних планів підприємств, споруд і житлово-цивільних об'єктів. Київ: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1996. – 40 с. – Режим доступу: https://dnaop.com/html/44173/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_%D0%91_%D0%90.2.4-6-95

9. Вайнер В. Г. Автоматизированное проектирование генеральных планов промышленных предприятий / В.Г. Вайнер, С.Б. Губницкий, И.Д. Зайцев и др. ; под ред. д-ра техн. наук И. Д. Зайцева. К : Будівельник, 1986. – 112 с. – Режим доступу: <https://tekhnosfera.com/avtomatizirovannaya-informatsionnaya-sistema-komponovki-oborudovaniya-promyshlennyh-proizvodstv-v-tsehah-angarnogo-tipa>

10. Воропай В. С. Аналіз планувального рішення виробничих об'єктів і транспортних комунікацій металургійного підприємства / В.С.Воропай // Наука та виробництво : зб. наук. праць / ДВНЗ «ПДТУ». – Мариуполь, 2021. – Вип. 24. – С. 298–311.

– Режим доступу: <https://doi.org/10.31498/2522-9990242021250862>

11. Rigo A, Majstorović I., Zeljko S. Infrastructure and traffic planning and modelling Challenges of developing Transport Master Plan / A. Rigo, I Majstorović., S. Zeljko // Croatia CETRA: 7th International Conference on Road and Rail Infrastructure (Pula, 11–13 May 2022) / University of Zagreb. – Zagreb, 2022. – С.723–730. – Mode of access: <https://cetra.grad.hr/ocs/index.php/cetra7/cetra2022/paper/view/1424>

12. Дворкін Л. І. Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту. – Рівне: НУВГП, 2011. – 174 с. – Режим доступу: <https://ep3.nuwm.edu.ua/10269/1/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA-%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D0%B2.%20%D0%B1%D1%83%D0%B4-%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD.%20%D0%B7%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87%20%281%29.pdf>

13. Гайко Ю. І. Реновація промислової забудови та її адаптація до сучасного міського середовища : монографія / [Ю. І. Гайко, Є. Ю. Гнатченко, О. В. Завальний, Е. А. Шишкін; за заг. ред. Ю. І. Гайка, Е. А. Шишкіна] ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 353 с. – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua/57691/1/2020%20%D0%BF%D0%B5%D1%87.%202%D0%9C%D0%9D%20%D0%9C%D0%9E%D0%9D%D0%9E%D0%93%D0%A0%D0%90%D0%A4%D0%98%D0%AF%20.pdf>

14. Житкова Н. Ю. Архітектурна типологія промислових будівель. Теорія архітектури і архітектурного проектування: Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2002. – 172 с.

15. Cong J. A New algorithm for standard cell global routing / J. Cong, B. Preas // Proceedings of IEEE International Conference on Computer Aided Design. 1988. – P. 176–179. – Mode of access: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=c4d623f4a58f95a2e970cb13d09a5b8a6f51f9a1>

16. Goldberg D. E. Genetic Algorithms in Search, optimization, and machine learning / D.E. Goldberg // Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company Inc. 1989. – 412 p. – Mode of access: http://www2.fiit.stuba.sk/~kvasnicka/Free%20books/Goldberg_Genetic_Algorithms_in_Search.pdf

Надійшла до редколегії 15.04.2023.

Прийнята до друку 29.04.2023.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE EXISTING MASTER PLAN FEATURES ON THE INDUSTRIAL ENTERPRISE LOGISTICS

Purpose. The study of the real state of master plans of existing industrial enterprises in our country indicates that today the planning decisions of some industrial enterprises, especially metallurgical ones, which were built in the twentieth century, to a large extent do not correspond to the classical principles of designing master plans. Achieving the economic effect of production at the enterprise depends on the enterprise's logistics. Therefore, the purpose of the work is to study the problem of the influence of existing master plans on the way to improve the transport service of the enterprise's workshops and the efficiency of the industrial enterprise logistics as a whole. **Research methods** The study used methods of analysis and synthesis to study the issue, as well as analysed the main scientific publications on the impact of existing master plans on the industrial enterprise's logistics. **Results.** In the work, using the experimental method of data analysis of the implemented enterprises' master plans, a study was made of existing master plans' influence on improving the workshop transport service of the enterprise and the efficiency of the industrial enterprise logistics as a whole, which indicate the need for new effective methods and proposals that take into account the transport functioning peculiarities. **The scientific novelty** lies in the development of a general method for the impact determining of existing schemes of master plans on transport costs and emergency occurrence. The main direction of improving the transport services efficiency for an industrial enterprise and logistics, in general, is a comprehensive reconstruction of the enterprise territory, taking into account the performance of transport and storage works in order to increase the efficiency of the territories using, reduction of auxiliary production, re-profiling, placing adjacent or other non-production functions, solving environmental problems based on the best domestic and foreign scientific developments. **The practical significance** of the study is the results of the analysis of technological planning solutions and the proposed evaluation criteria. The presented theoretical provisions, which are based on the experimental method of analysing the data of the implemented master plans, made it possible to conduct a comprehensive assessment of the current state and use of the enterprise's territory and can be further used in the development of new technologies, technical means, and relevant technological planning solutions.

Key words: master plan, logistics, industrial enterprises, design principles, enterprise divisions communications, layouts of workshops, transport, planning solutions, transport costs.

УДК 621.7

А. Р. МІЛЯНИЧ^{1*}

^{1*}Каф. «Залізничний транспорт» Інституту механічної інженерії та транспорту Національного університету «Львівська політехніка» вул. І. Блажкевич, 12а, Львів, Україна, 79052, тел. + 38 (067) 747 46 46, ел. пошта: milyan_74@ukr.net, ORCID 0000-0003-3583-792X

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИ РОЗРАХУНКАХ МЕХАНІЗМІВ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Мета. Оптиміальне проектування механізмів засобів транспорту є детальним оглядом та оцінкою науково-технічної літератури і окремих публікацій із методології оптимізації властивих розрахункам даних видів механічних конструкцій. Основна мета даного оглядового матеріалу – розглянути ряд напрямів проектування механізмів засобів транспорту, особливо виділивши застосовування методів оптимізації. Дослідження в області проектування механізмів ведуться у двох напрямках: методом синтезу згідно заданих положень та методом математичного програмування. **Методи.** Методи синтезу шарнірно-важільних механізмів можна поділити на дві групи. У першій застосовуються методи наближення функцій, у другій – оптимізаційні методи. Пошук оптимального рішення у другій групі означає одночасний пошук правильної постановки задачі, при якій параметри механізмів слід шукати за умов найкращого задоволення вимог технологічного процесу. Задачі оптимального проектування механізмів найчастіше продовжують формулюватись як задачі найкращого наближення функцій. Оптимізаційний синтез – порівняно новий напрям в синтезі важільних механізмів. Оптимізаційний синтез здійснюється на базі методів нелінійної оптимізації. На даний час значно зросла складність та комплексність проблем, які виникають і вимагають вирішення у процесі проектування механізмів. Певний обсяг досліджень був проведений в рамках класичної теорії кінцевих і нескінченно малих плоских переміщень. У даних роботах детально розроблена і застосована до задач кінематичного синтезу теорія просторового руху загального виду. **Результати.** Оскільки симплексний метод є достатньо ефективним при рішенні задач лінійного програмування, він став основоположником ряду методів послідовної лінеаризації, або методів січних площин, для розв'язування задач нелінійного програмування. **Практична значимість.** При обширному переліку сучасної літератури та наукових публікацій по синтезу механізмів і математичному програмуванню повний хронологічний огляд досягнень останнього десятиліття був би доволі громістким. Тому були лише відмічені окремі тенденції в синтезі механізмів, акцентуючи увагу на прагненні одержати «найкращу» конструкцію із врахуванням практичних вимог. Синтез механізмів – це область, в якій застосовування методів математичного програмування є доволі перспективним внаслідок властивого їм вільного формулювання. Обмеження та вимоги інженерних практичних задач часто можна враховувати у формах, які є сумісними до даних сучасних методів. Головною метою наведеного дослідження є широке ознайомлення із досягненнями у двох областях з надією, що існуючі на даний час засоби оптимізації будуть застосовуватись до цих задач синтезу і що, навпаки, засоби оптимізації будуть надалі вдосконалюватись внаслідок досліджень конструкцій механізмів засобів транспорту. Це сприятиме кращому розумінню та прискореному розвитку як методів розрахунку механізмів, так і методології оптимізації.

Ключові слова: оптимальне проектування, засоби транспорту, механізм, методи синтезу, методи оптимізації

Вступ

Зацікавленість до оптимального проектування механізмів засобів транспорту є мотивованою необхідністю детального огляду та оцінки науково-технічної літератури і окремих публікацій із методології оптимізації властивих

розрахункам даних видів механічних конструкцій. Основна мета даного оглядового матеріалу – розглянути ряд напрямів проектування механізмів засобів транспорту, особливо виділивши застосовування методів оптимізації.

Дослідження в області проектування механізмів ведуться у двох напрямках: а) методом синтезу згідно заданих положень та б) методом математичного програмування. У розділі 1 представлено нижче методикою наводиться короткий огляд окремих досліджень, які присвячені методу синтезу за заданими положеннями механізму. У розділі 2 розглядається у загальному виді задача проектування, яка відноситься до кінематичного синтезу. У розділі 3 коротко описується кілька важливих методів оптимізації та порівнюються їх переваги. І нарешті, у розділі 4 розглядається певна кількість робіт із застосування методів оптимізації в задачах проектування механізмів засобів транспорту.

Метод синтезу згідно заданих положень

Проектування механізмів є однією із найстаріших задач техніки, яка привертала увагу багатьох дослідників на протязі тривалого історичного періоду. Можна сказати, що сучасні дослідження в області аналітичного синтезу механізмів започаткувались у нашій країні з другої половини 30-х років 20 століття, коли основною темою досліджень були питання структури та класифікації механізмів, кінематика та кінестатика плоских і просторових важільних механізмів. У значно меншій степені вивчався синтез механізмів.

Починаючи із середини 40-х років минулого століття велике значення починають набувати проблеми синтезу механізмів, а у 60-70-х роках вітчизняна школа теорії машин і механізмів стала самою у світі і за своїм складом, і за охопленням проблем дослідження, і за рівнем якості отриманих результатів.

У той же час питання синтезу механізмів ставили основну тематику досліджень німецької школи механіки машин. Тут розвивалась класична спадщина Бурместера, Альта та Грюблера: систематика та класифікація механізмів, експериментальний синтез механізмів, синтез шарнірних, зубчастих і кулачкових механізмів [1]. Широко відома серія наукових публікацій Ліхтенхельдта, які були присвячені проблемам синтезу різних механізмів ткацьких верстатів, точного приладобудування тощо [2], які у більшості своїй ґрунтувались на геометричній школі Бейера [3].

У той же час на теренах нашої держави ряд провідних вітчизняних науковців, таких як І.І. Артоболевський, Н.І. Левицький, С.А. Чекудінов та Я.Л. Герунімус провели систематичне дослідження методів синтезу важільних ме-

ханізмів, які ґрунтувались на основі застосування кінематичної та проективної геометрії, а також теорії алгебраїчних кривих [4, 5].

В області синтезу кулачкових механізмів проводились і продовжують проводитись роботи із уточнення вибору закону веденої ланки та визначення основних розмірів. У результаті багатьох досліджень вдалось виявити, що цей закон слід вибирати не лише із врахуванням заданих кінематичних і динамічних величин, але й із врахуванням технології виготовлення кулачка та допустимої точності відтворення його профілю. Накопичені дані про зв'язок точності відтворення профілю кулачка із основними кінематичними та динамічними параметрами механізму дозволили обґрунтувати систему допусків на робочий профіль і пов'язану з нею таблицю рекомендованих законів руху веденої ланки [6].

Наукові праці по синтезу комбінованих механізмів (кулачково-важільних, зубчато-важільних тощо) є цікавими тим, що вони основані на органічному злитті методів синтезу важільних механізмів із методами синтезу кулачкових, зубчастих та ряду інших механізмів. В літературі достатньо повно досліджені також триланкові мальтійські механізми із прямолінійними радіальними пазами, синтезом яких продовжують займатися і на даний час [7]. Синтезом комбінованого мальтійського механізму згідно заданого закону руху веденої маси на даний час успішно займається В.Р. Пасіка [8].

Методи синтезу шарнірно-важільних механізмів можна поділити на дві групи [10]. У першій застосовуються методи наближення функцій, у другій – оптимізаційні методи. Пошук оптимального рішення у другій групі означає одночасний пошук правильної постановки задачі, при якій параметри механізмів слід шукати за умов найкращого задоволення вимог технологічного процесу [9]. Задачі оптимального проектування механізмів найчастіше продовжують формулюватись як задачі найкращого наближення функцій [11, 12].

Оптимізаційний синтез – порівняно новий напрям в синтезі важільних механізмів. Монографія, в якій один із розділів присвячений саме оптимізаційному синтезу таких механізмів, була видана в 1988 році. Її авторами є Е.Є. Пейсах і В.А. Нестеров. Оптимізаційний синтез здійснюється на базі методів нелінійної оптимізації [13]. На даний час значно зросла складність та комплексність проблем, які виникають і вимагають вирішення у процесі проектування механізмів. Сучасний стан і проблеми багатокритеріального

оптимізаційного синтезу машинобудівних конструкцій детально наведено у праці [14].

Значний інтерес являє собою питання синтезу важільних механізмів із вистоями вихідних ланок. Існуючі методи синтезу важільних механізмів із вистоями ґрунтуються на властивостях крайніх положень [15,16] та властивостях шатунних кривих шарнірного чотирьох ланкового механізму. У другому випадку застосовується або наближено-прямолинійні, або коли дільниці шатунної кривої наближаються до кола [17,18].

Певний обсяг досліджень був проведений в рамках класичної теорії кінцевих і нескінченно малих плоских переміщень. У роботах [19,20,21] детально розроблена і застосована до задач кінематичного синтезу теорія просторового руху загального виду. А у роботі [22] при синтезі плоских і просторових механізмів застосовується суміщення матричного оператора обертання із зміщенням точки у тілі, яке переміщується. У дослідженнях, наведених у праці [23], при синтезі плоских і сферичних механізмів загального типу використовувались матриці зміщення.

Особливістю останніх наведених методів є те, що складається (явно і неявно) система рівнянь, яка надалі розв'язується різними способами для визначення окремої конструкції або ряду конструкцій, які задовольняються даними рівняннями. Слід зауважити, що, хоча методи синтезу за заданими положеннями виявились доволі практичним засобом для розрахунків геометрії переміщення, вони здебільше не є такими ефективними при умові, що конструкція повинна задовольняти також певні умови або обмеження, виражені у формі нерівностей. Фактично на даний час є придатним єдиний метод, який полягає у тому, щоб спроектувати механізм, перевірити, чи не порушуються які-небудь нерівності, а потім методом проб і помилок виправляти постановку задачі. Нажаль, до цієї категорії попадає більшість практичних задач. Для їх розв'язку доцільно скористатися методами математичного програмування. Крім того, може виявитись корисним поєднання двох методів.

Задача оптимального синтезу

Загальна задача математичного програмування формулюється наступним чином:

мінімізувати $F(X)$ за умови:

– обмежень у формі нерівностей

$$h_i(X) < 0, \quad i = 1, 2, \dots, n;$$

– обмежень у формі рівнянь

$$l_j(X) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, m;$$

– обмежень у формі параметричних нерівностей

$$g_k(X, \theta) \leq 0, \quad k = 1, 2, \dots, q,$$

$$\theta_{ij}^L \leq \theta \leq \theta_{ij}^U,$$

де $F(X)$ – цільова функція, яка мінімізується оптимальним вибором X (тобто розрахункових змінних x_1, x_2, \dots, x_n);

θ – вектор параметрів, компонентами якого можуть бути час або просторові змінні;

θ_{ij}^L та θ_{ij}^U – границі, які визначають область змін параметрів.

В якості цільової функції в задачі синтезу механізму ми могли б взяти, наприклад, похибку (помилку методу найменших квадратів, повну інтегральну помилку або інший підходящий функціонал) між фактичними і бажаними характеристиками механізму, або невірноваженість механізму, або чутливість до допустимих відхилень, або похибку внаслідок пружності механізму тощо, та прагнути її оптимізації (мінімізації або максимізації). В окремих випадках може виникати потреба зважена комбінація цих цільових функцій.

Обмеження у формі рівностей можуть виникати, наприклад, якщо в ітераційний процес розрахунку включаються рівняння замкнутості контурів. Невизначений набір умов у заданих положеннях також може дати обмеження у формі рівності. Другими словами, якщо задано менше положень або умов на похідні, ніж те, яке може бути точно встановлене, задача розрахунку отримує кілька «степенем вільності».

Обмеження у формі нерівностей можна накласти на довжини ланок, положення шарнірів, максимальні швидкості та прискорення, області переміщення ведучої та веденої ланок, рухомості (теорема Грасгофа про те, що проекції швидкостей двох довільних точок твердого тіла на пряму, яка з'єднує ці точки, рівні між собою), порядок переміщення (при відтворенні функцій або формуванні траєкторії частини кривої або функції, яка відтворюється при переміщенні у прямому напрямі, не повинна бути тією ж самою, що і при зворотному русі).

Параметричні обмеження у формі нерівностей можуть відноситись до всього робочого простору до границь діапазонів кута передачі, до напружень у ланках і шарнірах, до зусиль, які передаються, та моментів. Слід зауважити, що іноді можна позбутися параметричних обмежень, якщо вдасться знайти критичні значення параметра або якщо в інтервалі зміни параметру

розглядається достатня кількість точок і їх співвідношення застосовується як система звичайних нерівностей.

Для рішення поставлених таким чином задач існує кілька методів. Однак, на жаль, не існує єдиного методу який би найкращим чином підходив до всіх задач.

Методи оптимізації

Практичне значення задачі математичного програмування обумовило значну різновидність методів їх рішення. Напевно, найбільш відомим методом програмування є симплексний метод, який є прийнятливим для задач лінійного програмування (де F , h_i та l_j – лінійні функції X і де відповідають функції g_k). На даний час така постановка задачі при розрахунках механізмів зустрічається доволі рідко, і тому безпосередньо цей метод тут майже не застосовується. У даному розділі ми коротко опишемо кілька методів *нелінійного* програмування, які виявились найбільш перспективними при різних застосуваннях у розрахунках механізмів. Далі будуть наведені три найважливіші області нелінійного програмування: а) методи беззаперечної мінімізації функції (при відсутності обмежень у формі нерівності або рівності); б) методи розв'язку задачі із обмеженнями за допомогою методів беззаперечної мінімізації; в) прямі методи рішення задач з обмеженнями.

Беззаперечна мінімізація. В основі найчастіше застосованих методів такої мінімізації функцій загального виду лежить елементарна ітераційна схема:

$$X_{q+1} = X_q + \alpha_q \cdot S_q,$$

- де X_q – «стара» ітерація;
- X_{q+1} – «нова» ітерація;
- S_q – вектор напрямку кроку;
- α_q – довжина кроку.

Для функцій F загального виду існує чотири методи, які заслуговують уваги в якості ефективних методів рішення задачі. Перший із них – метод Пауелла (в основі методу лежить ідея апроксимації заданої функції квадратичним поліномом [24]), у якому не потрібно обчислювати похідні F , оскільки даний метод є прийнятливим за умови, коли похідні існують не всюди. Тут спочатку в якості S_q використовуються координатні одиничні вектори, взяті по порядку, причому α_q приймається рівним значенню α_q^* , яке мінімізує на кожному кроці функцію $F(X_q + \alpha_q^* S_q)$. Після одного циклу мінімізації із

використанням кожної координати один раз, береться новий вектор S_q , який направлений із початкової в кінцеву точку циклу. Потім цей напрям зберігається і включається в загальний набір напрямів пошуку і використовується на наступному етапі одномірних пошуків замість одного із координатних напрямків. Цей процес повторюється до появи сходимості, яка для квадратичних функцій досягається через кінцеву кількість кроків. Ця властивість називається квадратичною сходимістю, яка проаналізована у роботі [25] із детальним обговоренням найкращих способів обчислення α_q^* .

Другим методом із квадратичною сходимістю є метод знаходження локального екстремуму на основі інформації про її значення та її інгредієнт, описаних у роботі [26]. Тут знову α_q вибирається рівним значенню α_q^* (яке мінімізує функцію F вздовж напрямку S_q):

$$S_q = -\nabla F(X_q) + \frac{|\nabla F(X_q)|^2}{|\nabla F(X_{q-1})|^2} \cdot S_{q-1},$$

де $S_1 = -\nabla F(X_1)$;

∇F – градієнт F .

Даний метод називається градієнтним, оскільки при вираховуванні S_q використовується вектор ∇F . Обсяг обчислень тут є лише не набагато більшим, ніж у методі найшвидшого спуску, де $S_q = -\nabla F(X_q)$, хоча ефективність є на порядок вищою. Ефективність методу спряжених градієнтів підвищується шляхом застосування час від часу нової початкової точки.

Вимоги існування похідних $\partial F/\partial x_i$ є свого роду покаранням за ефективність методу, однак доки складність розрахунків не є значною, даному методу слід надавати перевагу перед методом Пауелла. Слід зауважити, що більшість функцій, які зустрічаються в розрахунках механізмів, доволі легко диференціюються згідно розрахункових змінних, що надає значну перевагу при оптимізації механізмів.

Третім методом беззаперечної мінімізації є метод змінної метрики, або як він по іншому називається – метод Девідона-Флетчера-Пауелла (метод мінімізації довільних функцій, які поєднують властивості як методів спряжених напрямів, так і методів ньютонівського типу, і при цьому не вимагає розрахунків других похідних [26]), який потребує для вектора S_q

$$S_{q+1} = -H_{q+1} \cdot \nabla F_{q+1},$$

де матриці

$$H_{q+1} = H_q + M_q + N_q,$$

$$M_q = \alpha_q^* \cdot \frac{S_q^* \cdot S_q^T}{S_q^T \cdot Y_q};$$

$$N_q = \frac{(H_q \cdot Y_q) \cdot (H_q \cdot Y_q)^T}{Y_q^T \cdot H_q \cdot Y_q} \text{ та } \alpha_q = \alpha_q^*.$$

Матриця H_q називається метричною. В якості її початкової умови H_0 часто приймається одинична матриця. Зауважимо, що по суті цей метод є градієнтним і що присутність метричної матриці пов'язана лише із незначним додатковим обчисленням, за умови, що не розглядаються великі за обсягом (більше 50 змінних) задачі. При наближенні до мінімуму метрична матриця наближається до матриці, зворотній матриці Гесса (*матриця Гессе* – квадратна матриця, елементами якої є часткові похідні деякої функції) для F :

$$H_q = \left[\frac{\partial^2 F}{\partial x_i \partial x_j} \right]_{X_{\min}}^{-1} \equiv J^{-1},$$

$q \rightarrow$ більші значення.

Ця властивість, яка дозволяє називати даний метод квазіньютонівським [26], сприяє швидкій сходимості методу. Особливо даний метод підходить для застосування із кінцеворозмірними апроксимаціями похідних.

Четвертому методу, як методу мінімізації, характерний метод Ньютона-Рафсона (більш відомий як *метод дотичних* – це ітераційний числовий метод визначення кореня (нуля) заданої функції):

$$S_q = -J_q^{-1} \cdot \nabla F_q,$$

де J_q – гессіан (симетрична квадратична форма, яка описує поведінку функції у другому порядку), який обчислений у точці X_q .

І знову $\alpha_q = \alpha_q^*$, а цей крок має вирішальне значення, оскільки він гарантує сходимість результатів, причому до мінімуму, а не до максимуму. Якщо гессіан J – матриця, яка від'ємно визначена в окремих точках простору, то α_q^* може бути від'ємною. Поблизу мінімуму $\alpha_q^* \rightarrow 1$ да-

ний метод приймає свій звичайний вигляд. Головним недоліком даного методу є необхідність складати, вираховувати та перетворювати J_q на кожній ітерації.

Методи беззаперечної мінімізації для задач із обмеженнями. Оскільки наведені вище методи беззаперечної мінімізації достатньо добре розроблені і є доволі надійними, слід розглянути способи їх застосування для рішення задач із обмеженнями. Найбільш прямий шлях у такому перетворенні змінних задач, полягає у тому, щоб обмеження задовольнялись автоматично. У випадках обмежень у формі рівності іноді вдається вилучати змінні величини, допускаючи обмеження явним чином. Наприклад, якщо є лише одне обмеження $b \leq x \leq a$, то заміна змінної $x = (a-b) \cdot \sin^2 y + b$ звільняє від необхідності обмеження.

У більшості випадків задача є доволі складною для такого підходу, але можливо застосовувати методи безперечної мінімізації, використовуючи метод так званої штрафної функції [27]. Двома найбільш поширеними функціями для обмежень у формі нерівностей є:

$$\varphi_1(X, r) = F(X) - r \sum_{i=1}^n \frac{1}{h_i(X)},$$

$$\varphi_2(X, r) = F(X) + r \sum_{i=1}^n \left\{ \max [0, h_i(X)] \right\}^2$$

Вони мінімізуються по X при фіксованому додатному r . Далі для φ_1 значення r зменшується і величина φ_1 знову мінімізується; для φ_2 значення r зростає.

Перша із них називається внутрішньою штрафною функцією, тому що функція φ_1 повинна мінімізуватися «всередині» області $h_j \leq 0$. Виходить послідовність мінімумів, які наближаються до оптимуму задачі із обмеженнями – метод послідовної беззаперечної мінімізації, суть якого полягає у побудові на основі мінімізованої функції та функцій обмежень певного сімейства функцій, які залежать від параметрів [28].

Послідовність обчислення полягає у наступному: вибирається прийнятне значення r , мінімізується φ , змінюється величина r , знову мінімізується φ і т. д. Обчислення виконується послідовно, так що мінімум для одного циклу можна використовувати в якості початкової точки для наступних мінімізацій. Коли r наближається до

свого граничного значення, мінімізувати функцію φ стає все важче.

Прямі методи. Прямими ми називаємо тут обчислювальні методи, у яких обмеження розглядаються в явному вигляді як обмежуючі гіперповерхні у просторі обчислюваних змінних. У певному смислі вони являють собою більш невимушений підхід до процесу синтезу, ніж методи беззаперечної оптимізації, оскільки вони більше відповідають способу мислення конструкторів. Ми наведемо тут три прямих метода: метод можливих напрямів, метод проєкцій градієнта і метод послідовної лінійної оптимізації. Крім того, ми розглядатимемо лише методи для задач із обмеженнями у формі нерівностей, оскільки випадок із обмеженнями у формі рівностей є на порядок складнішим.

Для методу можливих напрямів [29] необхідно ввести певні визначення:

1) Система активних обмежень $K(X)$ – це набір всіх індексів i , таких, що у точці X простору розрахункових змінних $h_i(X) = 0$ (практично ми використовуємо відрізок $0 \leq h_i \leq \varepsilon$ або $|h_i| \leq \varepsilon$, де ε - малий допуск).

2) Напрямок S у точці X називається *можливим*, якщо для всіх i в $K(X)$

$$S^T \nabla h_i(X) < 0.$$

3) Відповідний *можливий* напрям це таке S , яке задовольняє попередню нерівність

$$S^T \nabla F(X) < 0.$$

При такому напрямі метод дозволяє зробити крок від X до нової точки із іншою системою K , якщо зустрінуться нові обмеження. В іншому випадку використовується схема беззаперечної мінімізації до тих пір, доки знову не зустрінуться обмеження. Це дасть точку із меншим значенням F , в якій вишукується придатний можливий напрям. Таким чином, суть методу полягає в «задачі визначення напрямку», яка здебільшого формулюється наступним чином: знайти γ , S , такі, що $\gamma \rightarrow \max$, $S^T \nabla h_i + \gamma \cdot \theta_i < 0$, $i \in K(X)$, $S^T \nabla F + \gamma < 0$, норма $(S) \leq b$,

де θ_i - довільні додатні сталі величини.

Здебільшого «норма (S)» вибирається таким чином, щоб одержувалась задача лінійного програмування, яка потім розв'язується симплексним методом. Існують певні проблеми обчислювання, які виникають у зв'язку із встановленням довжини кроку після того, як знайдено напрям,

але всі ці проблеми допускають практичне розв'язування [30].

Метод проєкцій градієнта є аналогічним методу можливих напрямів, але застосовується в основному в задачах із лінійними обмеженнями. Тут задача визначення напрямку зводиться до знаходження проєкції $-\nabla F$ на різновидність, утворену перетином системи найближчих обмежуючих гіперповерхонь. Коли напрям стає відомим, вибирається крок або до відповідної точки мінімуму вздовж цього напрямку, або до нової системи обмежень в залежності від того, що приводить до зменшення значення F . В задачі із лінійною цілевою функцією для кожного кроку потрібно один доволі простий розрахунок.

Хоча даний метод можна модифікувати і застосовувати його для загальної нелінійної задачі, він стає тут неефективним, а метод можливих напрямів дає кращі результати. Очевидно, в таких випадках ефективно узагальнення методу, названого методом приведенного градієнту [31].

Оскільки симплексний метод є достатньо ефективним при рішенні задач лінійного програмування, він став основоположником ряду методів послідовної лінеаризації, або методів січних площин, для розв'язування задач нелінійного програмування.

Основна ідея цієї групи методів полягає у тому, що рішається задача лінійного програмування:

$$\bar{F}_0 = F(X_0) + (X - X_0)^T \nabla F(X_0) \rightarrow \min$$

та

$$\bar{h}_i^0 \equiv h_i(X_0) + (X - X_0)^T \nabla h_i(X_0) \leq 0,$$

де $i = 1, 2, \dots, n$;

X_0 – певна довільна вихідна точка.

Це дає точку X_1 , яка не являється оптимальним розв'язком для початкової задачі, але може слугувати позитивним наближенням до неї. Можна також виконати нову лінеаризацію (тобто, побудувати \bar{F}^1 та \bar{h}_i^1) і вирішити нову задачу. Застосування даного методу пов'язано із певними труднощами, які необхідно враховувати. Найбільш серйозним із них полягає у тому, що метод може давати певну розходимість, якщо певні співвідношення лінеаризації не зберігаються при переході від одного циклу до іншого.

У даній короткій статті неможливо рекомендувати методи для рішення конкретних задач, особливо в зв'язку із великою різновидністю задач в галузі конструкції механізмів засобів транспорту.

Висновок

Синтез механізмів – це область, в якій застосування методів математичного програмування є доволі перспективним внаслідок властивого їм вільного формулювання. Обмеження та вимоги інженерних практичних задач часто можна враховувати у формах, які є сумісними до даних сучасних методів.

При обширному переліку сучасної літератури та наукових публікацій по синтезу механізмів і математичному програмуванню повний хронологічний огляд досягнень останнього десятиліття був би доволі громістким. Тому були лише відмічені окремі тенденції в синтезі механізмів, акцентуючи увагу на прагненні одержати «найкращу» конструкцію із врахуванням практичних вимог.

Головною метою наведеного дослідження є широке ознайомлення із досягненнями у двох областях з надією, що існуючі на даний час засоби оптимізації будуть застосовуватись до цих задач синтезу і що, навпаки, засоби оптимізації будуть надалі вдосконалюватись внаслідок досліджень конструкцій механізмів засобів транспорту. Це сприятиме кращому розумінню та прискореному розвитку як методів розрахунку механізмів, так і методології оптимізації.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Боголюбов А.Н. Развитие проблем механики машин. – К.: Наукова думка, 1967. – 291 с.
2. Лихтенхельдт В. Синтез механизмов. – М.: Наука, 1964. – 227 с.
3. Бейер Р. Кинематический синтез механизмов. – К.: Машгиз, 1959.
4. Артоболевский И.И., Левитский Н.И., Чекудинов С.А. Синтез плоских механизмов. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит.-ры, 1959. – 1084 с.
5. Геронимус Я.Л. Геометрический аппарат теории синтеза плоских механизмов. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит.-ры, 1962.
6. Лившиц Б.И. Технология изготовления и сборки кулачковых механизмов. – М.: Машгиз, 1963.
7. Зинченко Е.И. Кинематический синтез шестизвенных механизмов четвертого класса с выстойм выходного звена: Дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02. – Харьков. – 2007. – 176 с.
8. Пасіка В.Р. Синтез комбінованого мальтійського механізму з пружним валом за заданим законом руху веденої маси. // Вісник НТУ «ХП». – Харків, 2007. – Вип. 29. – С. 95-108.
9. Чекудинов С.А. Синтез плоских шарнірно-рычажных механизмов. – М.: Изд-во академии наук СССР, 1959. – 323 с.
10. Новгородцев В.А. Некоторые вопросы оптимального проектирования механизмов при помощи ЭВМ // Теория механизмов и машин. – Харьков:

Выща школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1979. – Вып. 27. – С. 104-111.

11. Харжевський В.О. Синтез важільних прямолінійно-напрямних механізмів та механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі шарнірного чотириланкового механізму: Дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02. – Хмельницький – 2004. – 262 с.

12. Харжевський В.О., Кіницький Я.Т. Чисельно-аналітичний метод синтезу важільних механізмів з зупинкою вихідної ланки на базі несиметричного шарнірного чотириланкового механізму із використанням точок Болла // Вісник Технол. У-ту Поділля. – Хмельницький: ТУП, 2003. - № 4. – С. 43-54.

13. Пейсах Э.Е., Нестеров В.А. Система проектирования плоских рычажных механизмов. – М.: Машиностроение, 1988. – 232 с.

14. Кіндрацький Б., Сулим Г. Сучасний стан і проблеми багатокри-теріального синтезу машинобудівних конструкцій (огляд) // Машинознав-ство. – Львів. – 2002. - № 10. – С. 26-40.

15. Пейсах Э.Е., Герасименко Р.Л. Аналитический синтез восьми-звенного плоского шарнирного механизма с двумя выстоями ведомого звена в крайних положениях / Ленингр. политехн. Ин-т. – Л. – 1982. – 31 с. – Деп. в ВИНТИ.

16. Nerge G. Zur Konstruktion von Rastgetrieben unter Ausnutzung der Totlagenwirkung. – Mabbau. Wiss. Z. TH Dresden, 1956/57. –H.2. – S. 279-282.

17. Чебышев П.Л. Теория механизмов, известных под именем параллелограммов // Полн. собр. соч. – М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1947. – Т. 2. – С. 23-51.

18. Чебышев П.Л. О простейшей суставной системе, доставляющей движения, симметрические около оси // Полн. собр. соч. – М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – Т. 4. – С. 167-211.

19. Alexander Evgrafov (editor). «Advances in Mechanical Engineering». Selected Contributions from the Conference «Modern Engineering Science and Education», Saint Petersburg, Russian, June 20-21, 2013. Springer, 2015. 142 p.

20. Radzevich S.P. «Generation of Surface Machining». CRC Press, Boca Raton 2014. - 738 p.

21. Radzevich S.P. «Geometry of Surfaces: A Practical Guide for Mechanical Engineers». Wiley-Blackwell, Chichester, 2013. – 264 p.

22. Смелягин А.И. Структура механизмов и машин. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – 347 с.

23. Котляр Е.И., Новгородцев В.А., Соболев А.Н. Проектирование исполнительных механизмов с выстойм выходного звена // Материалы Междунар. научно-техн. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье». – Харьков: ХГПУ. – 1996. – С. 39-42.

24. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.

25. Зарипова А.А. Одномерная оптимизация методом Пауэлла // А.А. Зарипова // Молодой ученый. – 2014. - № 4 – С. 13-20.

26. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. Пер с англ. – М.: Мир, 1985

27. Еремин И.И., Костина И.А. Метод штрафов в линейном программировании и его реализация на ЭВМ. Ж. вычисл. матем. и матем.-физ., 1967, том 7, номер 6, - С. 1358-1366.

28. Фиакко А., Мак-Кормин Г. Нелинейное программирование. Методы последовательной безусловной минимизации. Пер. с англ. под ред. Е.Г. Гольштейна. – М.: Мир, 1972. – 240 с.

29. Измайлов А.Ф., Солодов М.В. Численные методы оптимизации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 304 с.

30. Сантылова Л.И. Вариационное исчисление и методы оптимизации. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2002. – 320 с.

31. Крумм Л.А. Методы приведенного градиента при управлении электроэнергетическими системами. - Новосибирск, "Наука", 1977.- 368 с.

Надійшла до редколегії 28.05.2023.

Прийнята до друку 08.06.2023.

A. MILYANYCH

OPTIMIZATION METHODS IN CALCULATIONS OF MECHANISMS OF VEHICLES OF TRANSPORT

Purpose. The optimal design of vehicle mechanisms is a detailed review and evaluation of the scientific and technical literature and individual publications on the methodology for optimizing the inherent calculations of these types of mechanical structures. The main purpose of this review material is to consider a number of directions for designing mechanisms of means of transport, especially highlighting the use of optimization methods. Research in the field of designing mechanisms is carried out in two directions: by the synthesis method according to given provisions and by the method of mathematical programming. **Methods.** Methods for the synthesis of hinged-lever mechanisms can be divided into two groups. In the first one, methods of approximation of functions are used, in the second one, optimization methods. The search for the optimal solution in the second group means the simultaneous search for the correct formulation of the problem, in which the parameters of the mechanisms should be sought under conditions of the best satisfaction of the requirements of the technological process. The problems of optimal design of mechanisms most often continue to be formulated as problems of the best approximation of functions. Optimization synthesis is a relatively new direction in the synthesis of lever mechanisms. Optimization synthesis is carried out on the basis of non-linear optimization methods. At present, the complexity and complexity of the problems that arise and require solution in the process of designing mechanisms have significantly increased. A certain amount of research has been carried out within the framework of the classical theory of finite and infinitely small plane displacements. In these works, the theory of spatial motion of a general form is developed in detail and applied to the problems of kinematic synthesis. **Results.** Since the simplex method is quite effective in solving problems of linear programming, it became the founder of a number of methods of sequential linearization or methods of secant planes for solving nonlinear programming. **Practical significance.** With an extensive list of modern literature and scientific publications on the synthesis of mechanisms and mathematical programming, a complete chronological review of the achievements of the last decade would be quite loud. Therefore, individual trends in the synthesis of mechanisms were only noted, focusing on the desire to obtain a “better” design, taking into account practical requirements. The synthesis of mechanisms is an area in which the application of mathematical programming methods is quite promising due to their free formulation. The constraints and requirements of engineering practical problems can often be taken into account in forms consistent with the data of modern methods. The main purpose of this study is to make widely known the achievements in the two fields with the hope that currently existing optimization tools will be applied to these synthesis problems and that, conversely, the optimization tools will be further improved as a result of research on the design of vehicle mechanisms. This will contribute to a better understanding and accelerated development of both mechanisms calculation methods and optimization methodology.

Keywords: optimal design, means of transport, mechanism, synthesis methods, optimization methods.

УДК 621.313.2.077.3:621.313.2.072.2

О. С. ШАПОВАЛОВ^{1*}

^{1*} Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Український державний університет науки і технологій, ул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (095) 233 32 99, ел. пошта: shapovalov93as@gmail.com, ORCID 0000-0002-3151-6574

МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ДОПОМІЖНИХ ЕЛЕКТРОМАШИН ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Мета. Розробка та впровадження енергоефективних схем випробування допоміжних електричних машин рухомого складу вимагає проведення математичного моделювання з метою визначення найбільш раціональної схеми з точки зору якості проведених випробувань, а також мінімізації енерговитрат на проведення самих випробувань. **Методи.** Методологічною основою дослідження є аналітичні методи дослідження, що базуються на складанні розрахункової системи диференціальних рівнянь, розв'язуючи які, можна визначити параметри схеми взаємного навантаження. **Результати.** З огляду на те, що система взаємного навантаження є достатньо складною для розв'язання системою, в роботі було виконано розкладання системи на більш прості схеми заміщення електричної і механічної частини. На основі схем заміщення було створено систему диференціальних рівнянь, яка дозволила створити модель системи взаємного навантаження з трьома вхідними і трьома вихідними параметрами. Розроблену модель достатньо легко можливо реалізувати в спеціалізованих програмних середовищах, наприклад, SIMULINK за допомогою стандартних вбудованих блоків. **Наукова новизна.** Запропоновано раціональну схему випробування допоміжних машин методом взаємного навантаження, з покриттям витрат від одного джерела електричної потужності. **Практична значимість.** Впровадження отриманих результатів підприємствами з ремонту допоміжних машин рухомого складу дозволить знизити матеріальні витрати на проведення ремонтів з одночасним збереженням якості проведених випробувань.

Ключові слова: математична модель, допоміжні машини, випробування електромашин.

Вступ

Колекторні машини постійного струму на сьогодні є найбільш розповсюдженим типом електричних машин які використовуються на рухомому складі залізниць України. Широке розповсюдження даний тип електричних машин отримав завдяки відмінним пусковим та робочим характеристикам, а також простоті в системі керування та регулювання частоти обертання. Проте даний тип електричних машин має достатньо низькі показники надійності, які пов'язані з наявністю колекторно-щіткового вузла, який є найбільш слабким елементом конструкції.

З метою забезпечення надійної роботи електричних машин тягового рухомого складу в обов'язковому порядку мають проходити випробування. Згідно стандарту ДСТУ 2582:2017 [1] кожна виготовлена, а також відремонтована електрична машина обов'язково має пройти приймально-здавальні випробування. Програма випробувань електричних машин (тягових та допоміжних) включає в себе цілий ряд випробувань які проводяться як з навантаження електричних машин, так і без навантаження [2].

Найбільш енерговитратним пунктом в програмі випробувань є випробування на нагрівання [3].

Як правило випробування тягових електричних машин відбувається на стендах взаємного навантаження, за рахунок чого вдається зекономити значну кількість електроенергії. Стосовно допоміжних машин рухомого складу, для випробувань використовувались методи безпосереднього навантаження в яких вся енергія яка підводилась до випробуваної електричної машини розсіювалась в навколишнє середовище. Даний підхід пов'язаний з відносно невеликою потужністю самих машин, здебільшого від 5 до 80 кВт, і відносно низькою ціною електроенергії в минулому. Сьогодні стрімко зростаючі ціни на енергоресурси, розвиток технологій виробництва статичних перетворювачів потужності дає можливість впровадження енергоефективних стендів для випробування допоміжних машин електрорухомого складу.

Постановка завдання дослідження

При розробці автоматизованих випробувальних стендів широко використовуються методи математичного моделювання електромеханічних процесів, за допомогою чого можливо здійснити вибір структури та оцінити енергетичні

показники та характеристики розробленої системи. В роботі [4] було проведено визначення раціональних варіантів системи взаємного навантаження тягових електричних машин постійного та пульсуючого струму. Стосовно допоміжних машин використання даних схем вимагає додаткового дослідження. Як предмет дослідження було взято схему взаємного навантаження з покриттям всіх втрат від одного джерела електричної потужності.

Матеріал і результати досліджень

Схема системи взаємного навантаження допоміжних електромашин з покриттям всіх втрат джерелом електричної потужності зображена на рис. 1.

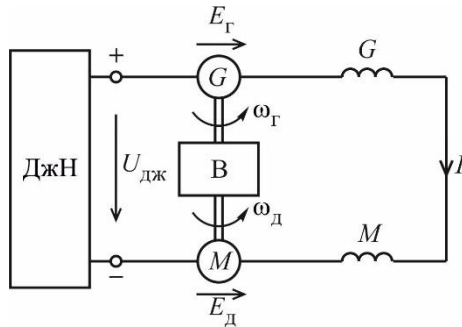


Рис. 1. Схема системи взаємного навантаження

Обмотки якорів та збудження двигуна M і генератора G з'єднані послідовно і підключені до джерела напруги ДжН. Вали електричних машин з'єднані між собою через варіатор B . Всі втрати потужності (електричні і холостого ходу) в даній схемі покриваються одним джерелом ДжН.

Діаграма, що характеризує баланс напруги в колі в залежності від струму навантаження, наведена на рис. 2.

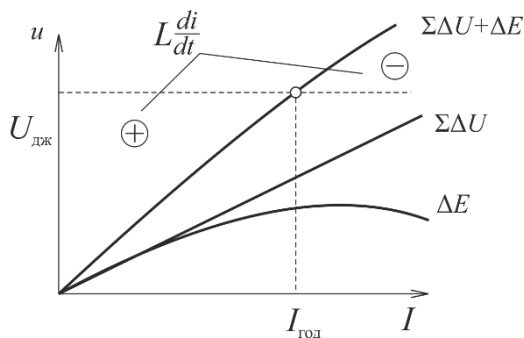


Рис. 2. Діаграма балансу напруг

Характеристики керуючих параметрів, які забезпечують режим взаємного навантаження:

$$U_{дж} > 0;$$

$$K_{\omega} < 0,$$

де $U_{дж}$ – напруга джерела ДжН;

K_{ω} – коефіцієнт передачі кутової швидкості варіатора B

$$K_{\omega} = \frac{\omega_{г}}{\omega_{д}}, \quad (1)$$

де $\omega_{г}$ і $\omega_{д}$ – кутові швидкості валів генератора і двигуна відповідно.

Схема заміщення електричного кола станда наведена на рис. 3.

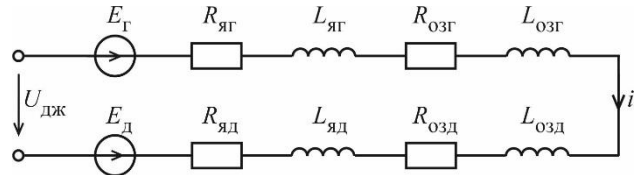


Рис. 3. Схема заміщення електричного кола

На рис. 3 показано:

$E_{г}$, $E_{д}$ – е. р. с. генератора і двигуна відповідно;

$R_{яг}$, $R_{яд}$ – опори обмоток якорів генератора і двигуна відповідно;

$L_{яг}$, $L_{яд}$ – індуктивності обмоток якорів генератора і двигуна відповідно;

$R_{озг}$, $R_{озд}$ – опори обмоток збудження генератора і двигуна відповідно;

$L_{озг}$, $L_{озд}$ – індуктивності обмоток збудження генератора і двигуна відповідно.

Е. р. с. генератора і двигуна можуть бути визначені у вигляді

$$E_{г} = c\Phi_{г}\omega_{г},$$

де c – конструктивна стала електромашин;

$\Phi_{г}$ – магнітний потік генератора;

$\omega_{г}$ – кутова швидкість вала генератора.

$$E_{д} = c\Phi_{д}\omega_{д},$$

де $\Phi_{д}$ – магнітний потік двигуна;

$\omega_{д}$ – кутова швидкість вала двигуна.

Рівняння динамічної рівноваги для схеми на рис. 3 матиме вигляд

$$U_{дж} = \Delta E + \sum R \cdot i + \sum L \frac{di}{dt}, \quad (2)$$

де ΔE – небалансна е. р. с. двигуна і генератора;

$\sum R$ – сумарний активний опір кола;

$\sum L$ – сумарна індуктивність кола.

$$\Delta E = E_d - E_r ;$$

$$\sum R = R_{яг} + R_{яд} + R_{озг} + R_{озд} ;$$

$$\sum L = L_{яг} + L_{яд} + L_{озг} + L_{озд} .$$

Небалансна е. р. с. може бути представлена у вигляді

$$\Delta E = c\Phi_d \omega_d - c\Phi_r \omega_r .$$

Якщо прийняти умову

$$\Phi_d = \Phi_r = \Phi ,$$

вираз для ΔE можна записати у вигляді

$$\Delta E = c\Phi(\omega_d - \omega_r) .$$

З урахуванням виразу (1) для K_ω вираз для ΔE можна перетворити на вигляд

$$\Delta E = c\Phi\omega_d(1 - K_\omega) . \quad (3)$$

На рис. 4 наведена схема механічної частини системи взаємного навантаження.

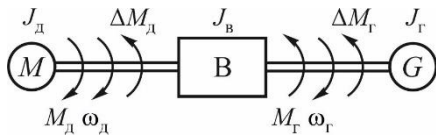


Рис. 4. Схема механічної частини

Електромагнітні моменти двигуна та генератора можуть бути визначені у вигляді:

$$M_d = c\Phi_d i ;$$

$$M_r = c\Phi_r i .$$

З урахуванням рівності $\Phi_d = \Phi_r$ отримаємо

$$M_d = M_r = c\Phi \cdot i . \quad (4)$$

Рівняння динамічної рівноваги для механічної частини системи взаємного навантаження має вигляд

$$M_d = K_\omega M_r + \Delta M_d + K_\omega \Delta M_r + \sum J \frac{d\omega_d}{dt} , \quad (5)$$

де ΔM_d і ΔM_r – моменти опору, обумовлені втратами холостого ходу в двигуні та генераторі відповідно;

$\sum J$ – сумарний момент інерції системи, приведеної до валу двигуна.

З допустимим ступенем спрощення можна припустити, що

$$\Delta M_d = \Delta M_r = \Delta M .$$

Сумарний момент інерції системи, приведений до валу двигуна, можна знайти у вигляді

$$\sum J = J_d + K_\omega^2 \cdot J_r + J_B ,$$

де J_d , J_r – моменти інерції якорів двигуна та генератора відповідно;

J_B – момент інерції варіатора, приведений до валу двигуна.

Момент опору, обумовлений втратами холостого ходу може бути представлений у вигляді суми

$$\Delta M = \Delta M_{\text{мех}} + \Delta M_{\text{маг}} ,$$

де $\Delta M_{\text{мех}}$, $\Delta M_{\text{маг}}$ – моменти опору, обумовлені механічними та магнітними втратами потужності відповідно.

З іншого боку

$$\Delta M = \frac{\Delta P_{\text{xx}}}{\omega_d} ,$$

де ΔP_{xx} – втрати холостого ходу

$$\Delta P_{\text{xx}} = \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{маг}} ,$$

де $\Delta P_{\text{мех}}$, $\Delta P_{\text{маг}}$ – механічні та магнітні втрати відповідно.

Механічні втрати є функцією кутової швидкості

$$\Delta P_{\text{мех}} = f(\omega_d) .$$

Магнітні втрати залежать як від частоти обертання (кутової швидкості), так і від магнітного потоку Φ

$$\Delta P_{\text{маг}} = f(\omega_d, \Phi) .$$

Об'єднавши вирази (2) і (3), з урахуванням всіх спрощень, прийнятих вище, після перетворення отримаємо систему рівнянь, що визначають характер електромеханічних процесів в системі взаємного навантаження:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{\text{дж}} = c\Phi\omega_d(1 - K_\omega) + \sum R \cdot i + \sum J \frac{di}{dt} ; \quad (6) \\ c\Phi i(1 - K_\omega) = \Delta M(1 + K_\omega) + \sum J \frac{d\omega_d}{dt} . \quad (7) \end{array} \right.$$

В сталому режимі дана система набуває вигляд

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{\text{дж}} = c\Phi\omega_d(1 - K_\omega) + \sum R \cdot i ; \quad (8) \\ c\Phi i(1 - K_\omega) = \Delta M(1 + K_\omega) . \quad (9) \end{array} \right.$$

Помноживши ліву та праву частини рівняння (8) на i , а ліву та праву частини рівняння (9) на ω_d , після перетворень та заміни позначок отримаємо рівняння балансу потужностей у вигляді

$$\begin{cases} P_{дж} = P_{емд} (1 - K_{\omega}) + \sum \Delta P_{ел}; & (10) \\ P_{емд} (1 - K_{\omega}) = \Delta P_{хх} (1 + K_{\omega}), & (11) \end{cases}$$

де $P_{дж}$ – електрична потужність джерела;
 $P_{емд}$ – електромагнітна потужність двигуна;
 $\Delta P_{хх}$ – втрати холостого ходу однієї електричної машини.

Електромагнітна потужність двигуна

$$P_{емд} = E_d \cdot i = c\Phi\omega_d \cdot i.$$

Сумарні електричні втрати в колі електромашини

$$\sum \Delta P_{ел} = \sum R \cdot i^2.$$

Із системи рівнянь (10) та (11) можна отримати загальне рівняння балансу потужностей

$$P_{дж} = \Delta P_{хх} (1 + K_{\omega}) + \sum \Delta P_{ел}.$$

Дослідження електромеханічних процесів в системі взаємного навантаження може бути проведено з використанням моделі, яка відповідає системі диференціальних рівнянь (6), (7), і графічно представлена рис. 5.

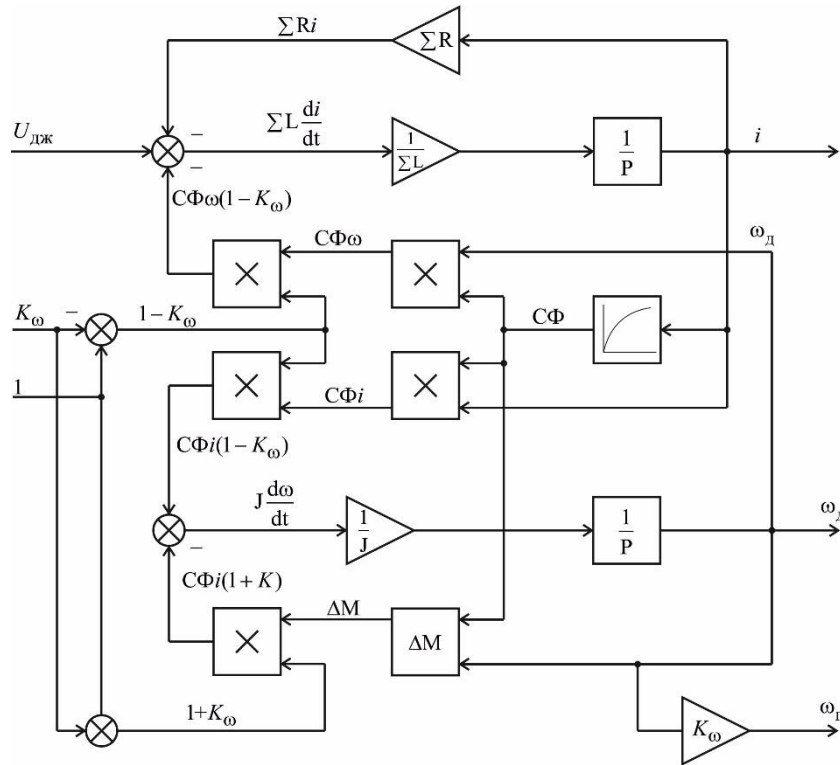


Рис. 5. Модель системи взаємного навантаження

Вхідними параметрами (керуючими координатами) даної моделі є наруга джерела $U_{дж}$ і коефіцієнт передачі кутової швидкості K_{ω} . Вихідними параметрами (керованими координатами) є струм навантаження випробуваних електромашин i та кутова швидкість випробуваного двигуна ω_d (генератора ω_r).

Залежність питомої е. р. с. від струму $c\Phi = f(i)$ доцільно представити у вигляді

$$c\Phi = A \arctg(Bi),$$

де A і B – постійні коефіцієнти, які можуть бути визначені за відомими методиками [5].

Для визначення моменту опору від магнітних втрат в моделі можуть бути використано вираз [6]

$$\Delta P_{маг} = K_{маг} \left(\frac{1}{f} + 0,0127 \right) E^2,$$

де $K_{маг}$ – постійний коефіцієнт;
 f – частота перемагнічування якоря;
 E – е. р. с. електромашини.

Тоді момент опору від даних втрат можна представити у вигляді

$$\Delta M_{маг} = K_{маг} \left(\frac{1}{f} + 0,0127 \right) (c\Phi)^2 \cdot \omega_d.$$

Частота перемагнічування якоря

$$f = \frac{p}{2\pi} \cdot \omega,$$

де p – число пар полюсів електромашини.

Для визначення моменту опору від механічних втрат може бути застосований вираз [7]

$$\Delta M_{\text{мех}} = K_{\text{мех}} (0,65\omega + 0,35),$$

де $K_{\text{мех}}$ – постійний коефіцієнт.

Сумарний момент опору однієї електромашини, обумовлений втратами холостого ходу

$$\Delta M = \Delta M_{\text{маг}} + \Delta M_{\text{мех}}.$$

Висновки

Використання запропонованої математичної моделі системи взаємного навантаження дозволяє визначити параметри джерела потужності, та передатного відношення варіатора, які необхідні для побудови енергоефективних стендів для випробування допоміжних машин електродвигуна.

Впровадження енергоефективних стендів дозволить знизити споживання електричної енергії, яка необхідна для проведення ремонтів, зі збереженням високої якості кінцевої продукції.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДСТУ ГОСТ 2582:2017 Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия (ГОСТ 2582-2013, ИДТ; ИЕС 60349-1:2010,

ИЕС 60349-2:2010, ИЕС) [Действителен от 2017-03-01]. Киев : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 50 с

2. Правила ремонту электрических машин электровозов і електропоїздів. ЦТ-0063. Київ : Видавничий дім «САМ», 2003. – 286 с.

3. Афанасов, А. М. Определение расхода электроэнергии на проведение приёмо-сдаточных испытаний тяговых электрических машин / А. М. Афанасов, С. В. Арпуль, А. С. Шаповалов // Электромагнитная совместимость та безпека на залізничному транспорті. – 2018. – № 16. – С. 51–56. – DOI:10.15802/ecsrt2018/172600.

4. Афанасов, А. М. Системы для испытания электрических машин тягового и моторвагонного подвижного состава магистрального и промышленного транспорта / А. М. Афанасов // Локомотив-информ. – 2015. – № 1 (103). – С. 68–72.

5. Архангельский Б. И. Аналитическое выражение кривой намагничивания электрических машин / Б. И. Архангельский // Электричество. – 1958. – № 1. – С. 14-18.

6. Афанасов, А. М. Определение магнитных потерь в тяговых двигателях электроподвижного состава магистрального и промышленного транспорта / А. М. Афанасов // Збір. наук. праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Донецьк, 2014. – Вип. 39. – С. 71–77.

7. Проектирование тяговых электрических машин / под ред. М. Д. Находкина. – М.: Транспорт, 1976. – 624 с

Надійшла до редколегії 15.05.2023.

Прийнята до друку 20.05.2023.

O. SHAPOVALOV

PAPER TITLE SYSTEM MODEL FOR TESTING AUXILIARY ELECTRIC MACHINES OF TRACTIONAL ROLLING STOCK

Purpose. The development and implementation of energy-efficient test schemes for auxiliary electrical machines of rolling stock requires mathematical modeling in order to determine the most rational scheme from the point of view of the quality of the tests performed, as well as to minimize energy costs for conducting the tests themselves. **Methodology.** The methodological basis of the research is the analytical research methods based on the compilation of the calculation system of differential equations by solving which it is possible to determine the parameters of the mutual load scheme. **Findings.** Given the fact that the mutual load system is complex enough to be solved by the system, in the work, the system was decomposed into simpler schemes for replacing the electrical and mechanical parts. A system of differential equations was created on the basis of substitution schemes, which made it possible to create a model of a mutual load system with three input and three output parameters. The developed model can be easily implemented in specialized software environments (for example, SIMULINK) using standard built-in blocks. **Originality.** A rational scheme for testing auxiliary machines by the mutual load method is proposed, with coverage of losses from one source of electrical power. **Practical value.** The implementation of the obtained results by enterprises for the repair of auxiliary rolling stock machines will allow to reduce the material costs of carrying out repairs while maintaining the quality of the conducted tests.

Keywords: mathematical model, auxiliary machines, testing of electric machines.

УДК 656.025.2:656.611.2

Ю. В. МИХАЙЛОВА^{1*}

^{1*}Кафедра «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень», Одеський національний морський університет, вул. Мечникова, 34, 65123, м. Одеса, Україна, тел. +38 (067) 7562267, ел. пошта yuliya.mikhailova@i.ua, ORCID 0000-0002-4882-7803

ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДХОДІВ ДО РОЗСТАНОВКИ ПАСАЖИРСЬКИХ СУДЕН ЗА НАПРЯМКАМИ ЇХ РОБОТИ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ФЛОТУ СУДНОПЛАВНОЇ КОМПАНІЇ

Анотація. Метою статті є вирішення завдання розстановки пасажирського флоту та удосконалення планування роботи флоту судноплавної компанії. Для досягнення мети були вивчені можливі умови експлуатації пасажирського флоту; розроблені підходи, які дозволять з урахуванням різних видів плавання, різних напрямків роботи, розмірів суден, а також можливості поповнення флоту отримати максимальне значення фінансового результату при розстановці пасажирського флоту судноплавної компанії, що зробило можливим удосконалити планування роботи пасажирського флоту судноплавної компанії. Процес управління судноплавним підприємством є безперервною розробкою управлінських рішень, від яких в значній мірі залежить кінцевий результат роботи будь-якої компанії. Це особливо важливо для судноплавства, яке функціонує в умовах значної динаміки як зовнішньої середовища так і безпосередньо виробництва транспортних процесів. Запропоноване рішення дозволить судноплавній компанії ефективно розташувати свій флот, отримати максимальний фінансовий результат з урахуванням умов перевезень та роботи суден різних видів плавання, форм організації перевезень, різних типів суден, маршрутів, а також враховує можливість поповнення флоту судноплавної компанії підприємства у разі, якщо його потенційна провізна здатність не перевищує обсягу транспортної роботи. Одним з найважливіших напрямів роботи судноплавної компанії є планування та оптимізація використання ресурсів підприємства. Судноплавна компанія прагне максимуму фінансового результату від виконаної роботи. Якщо розглядати «зовнішнє середовище» як суб'єкт управління, який також приймає рішення, що відповідають варіантам можливої структури пасажиропотоків, то такого роду завдання може бути формалізоване і представлено у вигляді матричної гри. Характерною умовою є те, що кожна сторона не має відомостей про рішення іншої. Таким чином, реалізується принцип максимуму (мінімуму) у конфліктній ситуації. Значення гри визначає математичне очікування виграшу першого гравця, тобто значення фінансового результату, яке слід прийняти як планове. В результаті прогноз результатів діяльності судноплавної компанії відобразить виробничі можливості «зовнішнього середовища» (другого гравця) та умови, в яких йому доведеться працювати. Запропонований підхід може також бути використаний для визначення величин планових показників інших підприємств морського транспорту – портів, судноремонтних заводів, а також нормативів транспортної роботи; розробці програми поповнення (списання) флоту судноплавної компанії; визначенні тарифної політики, пов'язаної з перевезенням пасажирів у регіоні діяльності судноплавної компанії.

Ключові слова: пасажирів, пасажирські судна, флот, судноплавна компанія.

Вступ

Питання ефективної роботи флоту судноплавної компанії, а саме обґрунтування вирішення завдання розстановки суден за напрямками (маршрутами) роботи судноплавної компанії та удосконалення планування роботи флоту судноплавної компанії набуває особливого значення у сучасних умовах.

Огляд джерел за темою дослідження

Питанням планування роботи флоту присвячено багато робіт. Зокрема, О. В. Белов [1] приділив увагу виявленню факторів, що впливають

на ефективність експлуатації флоту. Одним з напрямків планування є підвищення ефективності експлуатації флоту. Кириченко В.О. у своїй роботі [2] запропонував вирішення проблеми на основі використання автоматизації процесу. Кітов А. Г. в роботі [3] зосередився на виявленні проблем оперативного управління та планування роботи флоту, а Тимошук Е. Н. [4] звернула увагу на особливості планування, які повинні бути враховані для ефективного функціонування судноплавної компанії. Робота Кириллової О. В. [5] присвячена теоретичним основам управління роботою флоту. Одним з головних напрямків планування є побудова схем руху, склад флоту та розробка розкладу роботи

флоту, саме ці питання розглянуті в роботах Вишневського О. Д. [6-9].

Моделі оптимального розміщення морських суден за напрямками роботи здебільшого засновані на розподільчій задачі лінійного програмування. Як параметр управління в моделях часто використовується бюджет часу типів суден на виділених напрямках перевезень. Він виявляється у судно-добах, тоннаже-сутках, чи частках від одиниці. За одиницю приймається бюджет часу кожного із типів суден. У інших роботах параметр управління характеризує кількість рейсів, що виконуються кожним типом суден на напрямках перевезень.

Незважаючи на велику кількість робіт, присвячених вирішенню цього питання, у практиці роботи судноплавних підприємств запропоновані в них моделі не знайшли застосування. У зв'язку з цим цікавить модель, розроблена М. І. Котлубаєм і реалізована в Чорноморському морському пароплаванні. До недоліків цієї моделі можна віднести те, що не враховується сезонність вантажопотоків, початкова позиція флоту, вимога цілісності вирішення завдання.

Завданню раціональної розстановки флоту приділено достатньо уваги у низці наукових праць. У кожній із них пропонувалися методики, актуальні кожна для свого часу та для вирішення конкретних проблем. Що стосується пасажирського флоту, то в роботі Боровик С.С. [10] запропоновано модель задачі оптимального розподілу пасажирського флоту за маршрутами.

Як було встановлено раніше, основним недоліком всіх розглянутих моделей є те, що вони мають статичний характер. Не дозволяє врахувати взаємодія процесів перевезення вантажів окремими суднами, інтенсивність надходження вантажів у порти і забезпечити перебування оптимальних рішень на ринкових умовах пасажирського флоту судноплавної компанії.

Для рішення завдання розстановки флоту та удосконалення планування роботи флоту судноплавної компанії в літературі у теперішній час відсутні обґрунтовані інструменти.

Мета дослідження

Метою даної статті є вирішення завдання розстановки пасажирського флоту та удосконалення планування роботи флоту судноплавної компанії. Для досягнення мети поставлені наступні задачі: вивчення умов експлуатації пасажирського флоту; розробка підходів, які дозволять отримати максимальне значення фінансового результату при розстановці флоту компанії

з урахуванням різних видів плавання, різних напрямків роботи, розмірів суден, а також можливості поповнення флоту; удосконалення планування роботи флоту судноплавної компанії.

Постановка задачі

Процес управління судноплавним підприємством є безперервною розробкою управлінських рішень із застосуванням їх на практиці. Від ефективності розробки цих рішень в значній мірі залежить кінцевий результат роботи будь-якої компанії. Особливе значення це набуває у судноплаванні, яке функціонує в умовах значної динаміки як зовнішньої середовища так і безпосередньо виробництва транспортних процесів.

Виклад основного матеріалу

Розставлення типів морських пасажирських суден за напрямками перевезень для пасажирського флоту, що виконує невеликі за тривалістю міжнародні рейси, потребує врахування таких умов експлуатації:

- бюджет часу роботи флоту;
- тип пасажиропотоків, що перевозяться;
- сезонності пасажиропотоків;
- необхідності виконання попередньо оголошеного розкладу відходу суден на окремих напрямках перевезень;
- допустимість роботи суден на окремих напрямках;
- різномірності вихідної інформації про обсяги перевезень (заявки та довгострокові контракти, прогнозні та експертні величини).

Відома модель [11], яка загалом відбиває перелічені вище умови. Однак, вона не враховує різномірності оперативних даних про структуру пасажиропотоків і не передбачає попередньої оцінки співвідношення провізної спроможності флоту та обсягу транспортної роботи. Хоча саме остання обставина істотно впливає на вибір критерію оптимальності.

Напрямки перевезень визначаються парою районів, між якими існують пасажиропотоки. Вони диференційовані за підперіодами t_y , напрямками j та типами пасажиропотоків p . У середині районів перевезення відсутні або вони настільки малі, що їх можна не враховувати при цьому рівні достовірності інформації. Пари кореспондуючих районів, між якими заявлений певний обсяг перевезень, є основою для формування сукупності маршрутів $\{m\}$. Поряд із маршрутами встановлюється бюджет часу роботи суден кожного типу - T_i . Для цього з його календарного значення виключається період часу,

протягом якого планується ремонт, а також час завершення роботи суден відповідно до графіка.

Робота кожного типу i на напрямі j характеризується завантаженням суден, часом рейсу та показником ефективності його використання.

Розрахунок співвідношення між потенційною провізною здатністю флоту $П_c$ та обсягом транспортної роботи V_p пропонується виконувати за результатами вирішення наступної розстановної задачі:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M D_i^m X_i^m H_i^m \rightarrow \max; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m \in m_j} q_{ij} X_i^m H_i^m = P_j^k, \quad j = 1, 2, \dots, n', \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m \in m_j} q_{ij} X_i^m H_i^m \leq P_j^n, \quad (3)$$

$$j = 1 + n', 2 + n', \dots, n$$

$$\sum_{m=1}^M t_i^m X_i^m \leq T_i, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad (4)$$

$$X_i^m \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, I; \quad m = 1, 2, \dots, M, \quad (5)$$

де D_i^m – доходи за рейс від роботи суден типу i на маршруті m ;

q_{ij} – завантаження суден типу i на напрямі j ;

P_j^k – кількість пасажирів, яку необхідно перевезти на напрямі j , виходячи із заявок та довгострокових контрактів;

P_j^n – кількість пасажирів на напрямі j , встановлена на основі статистичних та експертних методів;

T_i – бюджет часу роботи суден типу i ;

t_i^m – час рейсу судна типу i на маршруті m .

m_j – безліч маршрутів, що містять напрямки j ;

K_i^m – змінні коефіцієнти, що приймають значення 0 або 1. Вони визначаються на етапі підготовки вихідної інформації та в розрахунку мають конкретне значення.

$$K_i^m = \begin{cases} 1, & \text{якщо робота судна типу } i \\ & \text{допустима на маршруті } m; \\ 0, & \text{в протилежному випадку} \end{cases}$$

X_i^m – кількість рейсів суден типу i на маршруті m .

Вираз (1) характеризує цільову функцію математичної моделі, що забезпечує отримання максимального доходу від роботи флоту.

Рівняння (2) відображають вимогу доставки всіх пасажирів відповідно до заявок та довгострокових договорів.

Нерівності (3) характеризують граничні обсяги транспортної роботи флоту, встановлені на основі кількісного прогнозу пасажиропотоків.

Вираз (4) визначає вимогу не перевищення бюджету часу флоту наявного у судноплавного підприємства.

Після виявлення співвідношення між величинами $П_c$ і V_p , і навіть вибору відповідного йому критерію оптимізації, у загальному випадку, розстановку флоту пропонується проводити з урахуванням наступної математичної моделі лінійного програмування.

$$\sum_{y=1}^Y \sum_{i=1}^{I_y} \sum_{m=1}^{M_i} \sum_{j=1}^{n_m} \sum_{p=1}^{P_j} \Phi_{yijp}^m X_{yijp}^m H_i^m S_{yjp} \rightarrow \max \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{I_y} \sum_{m=1}^{M_i} q_{yijp} X_{yijp}^m H_i^m S_{yjp} = P_{yjp}^k \quad (7)$$

$$y = 1, 2, \dots, Y; \quad j = 1, 2, \dots, n_m; \quad p = 1, 2, \dots, P_j'$$

$$\sum_{i=1}^{n_m} \sum_{m=1}^{M_i} q_{yijp} X_{yijp}^m H_i^m S_{yjp} \leq P_{yjp}^n \quad (8)$$

$$y = 1, 2, \dots, Y; \quad j = 1, 2, \dots, n_m; \quad p = P_j' + 1, P_j' + 2, \dots, P_j$$

$$\sum_{y=1}^Y \sum_{m=1}^{M_i} \sum_{j=1}^{n_m} \sum_{p=1}^{P_j} t_{yijp}^m X_{yijp}^m H_i^m S_{yjp} \leq T_i \quad (9)$$

$$(i = 1, 2, \dots, I_y)$$

$$\sum_{m=1}^{M_i} \sum_{p=1}^{P_i} X_{yijp}^m H_i^m S_{yjp} \geq N_{yij}, \quad (10)$$

$$y = 1, 2, \dots, Y; \quad i = 1, 2, \dots, I_y; \quad j = 1, 2, \dots, n_m$$

$$X_{yijp}^m = 0, 1, 2, \dots, P \quad (11)$$

$$y = 1, 2, \dots, Y; \quad i = 1, 2, \dots, I_y; \quad m = 1, 2, \dots, M_i;$$

$$j = 1, 2, \dots, n_m; \quad p = 1, 2, \dots, P_j$$

де Φ_{yijp}^m – фінансовий результат від роботи судна типу i при перевезенні пасажирів p на напрямку j маршруту m у підперіоді t_y ;

N_{yij} – кількість відходів суден типу i у напрямку j у підперіоді t_y , виходячи з оголошеного квартального розкладу;

P_j – кількість пасажирів на напрямі j із заявок та довгострокових контрактів;

S_{yijp}^m – змінні коефіцієнти, які встановлюються в ході формування структури пасажиропотоків. У розрахунку вони мають конкретні значення:

$$S_{yijp}^m = \begin{cases} 1, & \text{якщо в підперіоді } t_y \\ & \text{на напрямку } j \\ 0, & \text{в протилежному випадку} \end{cases}$$

X_{yijp}^m – керуючі змінні.

Їх значення характеризують кількість рейсів у підперіоді t_y суден типу i під час перевезення пасажирів p напрямку j , що входить у маршрут m .

Всі інші позначення такі, як і прийняті вище.

Цільова функція математичної моделі (6) передбачає таке розташування флоту, яке дозволить отримати максимальне значення фінансового результату від виконаної роботи. Як критерій оптимальності може бути прийнятий і інший показник залежно від співвідношення P_c і V_p .

Наприклад,

– якщо $P_c \geq V_p$, то доцільно прийняти в якості критерію витрати суден, оскільки доходи будуть фіксовані величиною сумарного пасажиропотоку.

– якщо $P_c \leq V_p$, то потенційної провізної спроможності не достатньо для повного освоєння пасажиропотоків, в якості критерію оптимізації приймається прибуток від роботи флоту. В результаті розстановки за цим критерієм в першу чергу будуть вивезені високо тарифні категорії пасажирів, які, як правило, мають пріоритет у термінах відправлення.

Обмеження (10) встановлює необхідність виконання розкладу за кількістю відходів суден у зазначених у ньому напрямках.

Економічний сенс обмежень (7)-(9) такий самий, як у (2)-(4) математичної моделі (1) - (5).

Проведений нами аналіз та висновки вказують на необхідність продовження досліджень у галузі створення моделей та методів вирішення завдання розстановки флоту, спрямованих на вдосконалення їх у теоретичному плані з

обов'язковим досягненням практичної придатності результатів. У зв'язку з цим, необхідно зазначити, що наведена постановка та модель розвивають існуючі підходи до вирішення завдання розстановки флоту.

Таким чином, до особливостей розглянутого підходу до визначення проекту плану розвитку перевезень та роботи флоту належить те, що:

– загалом він має комплексний характер. Враховуються умови перевезень та роботи суден різних видів плавання (каботажні, міжнародні). Також знайшли відображення лінійна та круїзна форми використання суден при виконанні перевезень;

– залежно від пасажиромісткості суден (малотоннажний та великотоннажний флот) та регіону діяльності судноплавного підприємства, використовуються різні за змістом математичні моделі;

– попередня оцінка потенційної провізної здатності флоту дозволяє ефективно вирішити питання вибору критерію оптимальності при розстановці флоту у кожному даному випадку;

– враховується неоднорідність вихідної інформації структуру пасажиропотоків;

– введення в моделі змінних коефіцієнтів, що визначають можливість використання окремих типів суден на тих чи інших маршрутах (напрямах), забезпечує відповідність техніко-експлуатаційних характеристик суден умовам їхньої майбутньої роботи, а також досвід експлуатації флоту;

– для малотоннажного флоту маршрути формуються заздалегідь. На етапі підготовки вихідної інформації для вирішення завдання вони, зазвичай, доповнюються у разі появи раніше відсутніх напрямів перевезень чи частина з них виключається з розгляду у разі, якщо окремі напрями не забезпечені пасажиропотоками. Це значно скорочує обсяг робіт із підготовки вихідної інформації та, як наслідок, час проведення розрахунку. Варіювання ж значеннями змінних коефіцієнтів моделі дозволяє в цілому значно звузити межі пошуку оптимального рішення задачі;

– враховується можливість поповнення флоту судноплавного підприємства у разі, якщо його потенційна провізна здатність не перевищує обсягу транспортної роботи;

– для великотоннажного флоту побудова замкнених маршрутів суден провадиться в ході вирішення задачі. У цьому розглядаються всі теоретично можливі варіанти маршрутів суден, і встановлюється найкращий.

«Метод від досягнутого» є досить поширеним для розрахунку показників діяльності підприємств морського транспорту на перспективу. У його основі, як відомо, лежить аналіз рядів динаміки досягнутих значень показників обсягів виробництва транспортних підприємств. В результаті відсутній зв'язок між прогнозними значеннями розвитку виробництва та ресурсами системи.

Одним з головних напрямків удосконалення планування, спрямованого на усунення цього недоліку, є застосування економіко-математичних методів та моделей. Сутність такого підходу полягає в оптимізації використання ресурсів підприємства та отриманні на цій основі відповідних показників. Для вирішення цього завдання у літературі широко представлені моделі лінійного програмування, які, проте, знаходять практичне застосування лише в окремих випадках. Значною мірою це обумовлено тим, що вони є детермінованими, тобто передбачається, що умови ухвалення рішень, включаючи неконтрольовані фактори, відомі. Такий метод простий, але точність його залежить від стійкості обсягів перевезень та показників транспортної роботи на окремих ділянках та в цілому по судноплавному підприємству.

Обсяги транспортної роботи визначаються довгостроковими угодами перевезення і носять, зазвичай, «річний» і «п'ятирічний» рівні достовірності. Аналіз їх виконання показує, що дані, що містяться в заявках на перевезення іноземних і внутрішніх пасажиропотоків, а також їх прогноз не є цілком достовірними, тобто мають місце значні відхилення пасажиропотоків, що фактично пред'являються, від зазначених у заявках як за обсягом, структурою так і за напрямками перевезень.

Другим напрямком досліджень, що проводяться, є розробка стохастичних моделей. Це вибір рішень при ризику, коли відомо безліч можливих (допустимих) варіантів умов та апріорний ймовірнісний розподіл на цій множині. Побудова таких моделей можлива, якщо є достатній фактичний матеріал для оцінки параметрів. Однак імовірнісна оцінка в більшості випадків утруднена через велику кількість різномірних факторів, що визначають появу даного спостереження і, як наслідок, незначну їх кількість. У зв'язку з цим рішення доводиться приймати, знаючи лише одну безліч можливих (допустимих) приватних результатів, ймовірності яких абсолютно невідомі або навіть не мають сенсу. Дослідження таких ситуацій проводяться методами теорії ігор.

Розглянемо з позиції даного підходу завдання формування проекту плану розвитку перевезень та роботи флоту на основі інформації, що має «річний» та «п'ятирічний» рівні достовірності.

Як раніше зазначалося, існує низка моделей детермінованого характеру, що дозволяють розподіляти флот за напрямками відповідно до обсягів транспортної роботи. Залежно від розмірів флоту, виду плавання, типів морських суден та форми організації їхньої роботи може бути використана та чи інша модель, яка відображає конкретні умови виробничої діяльності судноплавного підприємства. Для забезпечення цілісності викладу матеріалу розглянемо узагальнену постановку задачі, що формулюється в такий спосіб.

Відомі пасажиропотоки P_j між портами (регіонами) відправлення та призначення j ($j=1,2,\dots,n$), які встановлені на основі довгострокових угод на перевезення, а також прогнозу їх обсягів з використанням моделей.

Напрямки перевезень j об'єднані в маршрути m ($m=1,2,\dots,M$). Встановлено склад флоту з урахуванням поповнення і списання, використання якого передбачається в періоді часу, що розглядається, він диференційований за типами суден i ($i=1,2,\dots,I$). Для кожного типу судна встановлено:

- бюджет часу роботи в експлуатації – t_j ;
- час рейсу судна типу i за маршрутом m – t_{im} ;
- завантаження судна типу i на напрямку j – q_{ij} ;
- фінансовий результат роботи судна типу i за маршрутом m – Φ_i .

Тоді математична модель завдання набуде наступного вигляду:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \Phi_{im} X_{im} \rightarrow \max \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m \in m_j} q_{ij} X_{im} \leq P_j \quad (13)$$

$$\sum_{m=1}^M t_{im} X_{im} = t_i^e \quad (14)$$

$$X_{im} \geq 0 \quad (15)$$

$$j=1,2,\dots,I; m=1,2,\dots,M$$

де X_i – кількість рейсів судна типу i за маршрутом m ;

m_j – сукупність маршрутів, що містять ділянку роботи j .

Варіанти можливих структур пасажиропотоків формуються виходячи із значень перевезень P_j величини ΔP_j з урахуванням морфологічної матриці.

Величини ΔP_j визначаються на основі обробки статистичної інформації про відхилення фактичних значень пасажиропотоків від заявлених:

$$\Delta P_{j\mu} = P_{j\mu}^{\phi} - P_{j\mu} \quad (16)$$

Для оцінки закону розподілу випадкової величини ΔP_j та його числових характеристик будується емпірична функція розподілу.

Враховуючи, що відхилення ΔP_j формуються під дією безлічі випадкових незалежних або слабо залежних факторів, можна припустити, що ΔP_j розподілене за нормальним законом.

Точкові незміщені оцінки параметрів визначаються за відомими формулами:

$$a^{\wedge} = \frac{1}{M} \sum_{\mu=1}^M P_{j\mu} \quad (17)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{\mu=1}^M (\Delta P_{j\mu} - a^{\wedge})^2}{M-1}} \quad (18)$$

Інтервальна оцінка ΔP_j з необхідною довірчою ймовірністю $1 - \lambda$ визначається з виразу:

$$a^{\wedge} - t_{\alpha/2; n-1} \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} < P_j < a^{\wedge} + t_{\alpha/2; n-1} \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad (19)$$

де $t_{\alpha/2; n-1}$ - квантили розподілу Стюдента.

При розрахунку величини пасажиропотоку використовується реалізація ΔP_j згенеровано датчиком випадкових чисел.

Рядки морфологічної матриці характеризуються напрямками j , а стовпці – значеннями:

$$\left. \begin{aligned} P_j^1 &= P_j - \Delta P_j \\ P_j^2 &= P_j \\ P_j^3 &= P_j - \Delta P_j \end{aligned} \right\} (j=1,2,\dots,n) \quad (20)$$

$$\left. \begin{aligned} P_1^1 P_1^2 P_1^3 \\ P_2^1 P_2^2 P_2^3 \\ \dots \dots \dots \\ P_n^1 P_n^2 P_n^3 \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Якщо в кожному рядку матриці (21) виділити один з елементів, а потім послідовно їх з'єднати, то отриманий ланцюг елементів буде представляти можливий варіант стратегії S реалізації структури пасажиропотоків, кожному з яких відповідає певна розстановка флоту і прогнозне значення показника на основі моделі (12)-(15).

Судноплавна компанія прагне максимуму фінансового результату від виконаної роботи. Якщо розглядати «зовнішнє середовище» як суб'єкт управління, який також приймає рішення, що відповідають варіантам можливої структури пасажиропотоків, то такого роду завдання може бути формалізоване і представлене у вигляді матричної гри. Характерною умовою є те, що кожна сторона не має відомостей про рішення іншої. Для судноплавної компанії це відомості про фактичні обсяги перевезень пасажирів у майбутньому періоді часу. У результаті складається антагоністичний конфлікт, реалізація якого полягає в тому, що кожна сторона робить один вибір з можливих своїх стратегій. Для судноплавної компанії, це варіант розставлення флоту, а для «зовнішньої середовища» структура пасажиропотоків. Результати дії сторін задаються як матриці:

$$A = \|\Phi_{sk}\| \quad (22)$$

$$s=1,2,\dots,S; k=1,2,\dots,K$$

Рядки матриці A відповідають стратегіям судноплавної компанії, а стовпці – стратегіям «зовнішнього середовища».

Матриця виграшів від прийняття рішення кожної зі сторін має такий вигляд:

$$A = \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \dots & \Phi_{1k} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \dots & \Phi_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Phi_{s1} & \Phi_{s2} & \dots & \Phi_{sk} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Розрахунок значень елементів матриці виграшів ведеться з урахуванням моделі (12)-(15) - діагональні значення. При цьому використовується метод прискореного перерахунку, що базується на тому, що при зміні правих частин обмежень B в останній симплексній таблиці міститься обернена базисна матриця D^{-1}

$$\tilde{x}^{(k)} = D^{-1}B^{(k)} \quad (24)$$

Інші значення встановлюються виходячи з економічного сенсу подвійних оцінок плану.

Відсутність обміну інформацією між гравцями робить вибори стратегій випадковими та незалежними. Тому кожна ситуація J у чистих стратегіях (s, k) реалізується з ймовірністю:

$$Y = Y_s P_k \quad (25)$$

де Y_s – змішана стратегія s першого гравця;

P_k – змішана стратегія k другого гравця.

Природно, що перший учасник конфлікту, вибираючи свою змішану стратегію $y \in Y$, прагне максимізувати виграш $\Phi(y, p)$; другий – вибираючи свою змішану стратегію $p \in P$, переслідує протилежні інтереси. Таким чином, реалізується принцип максимуму (мінімаксу) у конфліктній ситуації. Відомо, що для такого класу ігор при використанні змішаних стратегій завжди існує рівність:

$$\max_{y \in Y} \min_{p \in P} \Phi(y, p) = \min_{p \in P} \max_{y \in Y} \Phi(y, p) \quad (26)$$

З рівняння (26) випливає, що:

$$\Phi(y, \tilde{p}) \leq \Phi(\tilde{y}, \tilde{p}) \leq \Phi(\tilde{y}, p) \quad (27)$$

$$\Phi(\tilde{y}, \tilde{p}) = \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \Phi_{sk} \tilde{Y}_s \tilde{P}_k = G \quad (28)$$

$$\sum_{s=1}^S \tilde{Y}_s = 1 \quad (29)$$

$$\sum_{k=1}^K \tilde{P}_k = 1 \quad (30)$$

де \tilde{y}, \tilde{p} – оптимальні змішані стратегії учасників конфлікту;

G – значення гри.

Значення гри визначає математичне очікування виграшу першого гравця, тобто значення фінансового результату, яке слід прийняти як планове. В результаті прогноз результатів діяльності судноплавної компанії відобразить виробничі можливості «зовнішнього середовища» (другого гравця) та умови, в яких йому доведеться працювати.

Значення гри та відповідні йому оптимальні стратегії встановлюються з розв'язання задач лінійного програмування:

Гравець 1

$$\bar{V} = \sum_{s=1}^S \bar{Y}_s \rightarrow \min \quad (31)$$

$$\sum_{s=1}^S F_{sk} \bar{Y}_s \geq 1 \quad (32)$$

$$k=1, 2, \dots, K$$

$$\bar{Y}_s \geq 0 \quad (33)$$

$$s=1, 2, \dots, S$$

$$\text{де, } \sum_{s=1}^S \bar{Y}_s = \frac{1}{V} \sum_{s=1}^S \tilde{Y}_s = \frac{1}{V} = \bar{V}$$

Гравець 2

$$\bar{V} = \sum_{k=1}^K \bar{P}_k \rightarrow \max \quad (34)$$

$$\sum_{k=1}^K F_{sk} \bar{P}_k \leq 1 \quad (35)$$

$$s=1, 2, \dots, S$$

$$\bar{P}_k \geq 0 \quad (36)$$

$$k=1, 2, \dots, K$$

$$\text{де } \sum_{k=1}^K \bar{P}_k = \frac{1}{V} \sum_{k=1}^K \tilde{P}_k = \frac{1}{V} = \bar{V}$$

Задачі (31)-(33) та (34)-(36) є подвійнопов'язаними. Тому достатньо встановити рішення для однієї з них. В результаті отримано точкову оцінку плану відповідного реалізації величини ΔP_j . Інтервальна оцінка, виходить, за сукупністю реалізацій описаної процедури.

Висновки

В роботі запропоновано обґрунтований підхід до вирішення завдання розстановки пасажирського флоту та удосконалення планування роботи флоту судноплавної компанії. Для цього були проаналізовані умови експлуатації пасажирського флоту; розроблені підходи, які дозволять отримати максимальне значення фінансового результату при розстановці флоту компанії з урахуванням різних видів плавання, різних напрямків роботи, розмірів суден, а також можливості поповнення флоту; запропоновано методи удосконалення планування роботи флоту судноплавної компанії.

Розроблений проект плану розвитку перевезень та роботи флоту має комплексний характер,

що враховує умови перевезень та роботи суден різних видів плавання (каботажні, міжнародні), а також різних форм використання суден. В залежності від пасажиромісткості суден (малотоннажний та великотоннажний флот) та регіону діяльності судноплавного підприємства, використовуються різні за змістом математичні моделі. Для кожного випадка обирається свій критерій оптимальності при розстановці флоту виходячи з попередньої оцінки потенційної провізної здатності. Запропонований підхід враховує неоднорідність вихідної інформації структури пасажиропотоків та дає можливість використовувати окремі типи суден на тих чи інших маршрутах (напрямах), забезпечує відповідність техніко-експлуатаційних характеристик суден умовам їхньої майбутньої роботи, а також досвід експлуатації флоту. Варіювання значеннями змінних коефіцієнтів моделі дозволяє в цілому значно звужити межі пошуку оптимального рішення задачі. Розроблений підхід враховує можливість поповнення флоту судноплавного підприємства у разі, якщо його потенційна провізна здатність не перевищує обсягу транспортної роботи.

Більш того, запропонований підхід може також бути використаний для визначення:

1. Величин планових показників інших підприємств морського транспорту – портів, судноремонтних заводів, а також нормативів транспортної роботи.

2. Програми поповнення (списання) флоту судноплавної компанії. У цьому враховуються типи суден, які можна придбати у суднобудівних заводів, куплені в інших судноплавних підприємств нашої країни чи закордоном. У результаті судна, які увійшли в оптимальний план, слід придбати. Типи суден, які відсутні у ньому, необхідно продати, передати у оренду тощо.

3. Тарифної (фрахтової) політики, пов'язаної з перевезенням пасажирів у регіоні діяльності судноплавної компанії.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Белов, О. А. Аналитический обзор факторов эффективной эксплуатации морского транспорта. [Электрон. ресурс] / О. А. Белов // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития. – 2019. – №1-1.5-9

2. Кириченко, В. О. Метод підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту на основі автоматизації процесу. [Текст] / В. О. Кириченко, І. В.

Трофименко, Ю. С. Шапран, // Телекомунікаційні та інформаційні технології - 2017. - № 2. – С. 82-86.

3. Китов А.Г., Самсонов Р.И., Чуплігін Г.Н. Проблемы оперативного управления и планирования работы флота в современных судоходных компаниях //TRANSPORT BUSINESS: 36. наук. праць. – - Вип 3. 2017 - С 35-47.

4. Тимощук Е.Н. Особенности планирования в процессе управления судоходной компанией// Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони № 3 (30)/2017. - С 99-102.

5. Кириллова Е.В. Теоретичні основи управління роботою флоту у транспортно-технологічних системах: дис.... д-ра техн. наук: 05.22. 01–транспортні системи/Кириллова Олена Вікторівна; Одес. нац. мор. ун-т

6. Вишне夫斯基 Д.О. Система формирования расписаний в линейном судоходстве // Вісник Одеського національного морського університету: 36. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, - Вип 36. - С 35-47.

7. Вишне夫斯基 Д.О. Формирование схем движения судов и расстановка флота в линейном судоходстве // Вісник Одеського національного морського університету: 36. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, - Вип 3 (39). - С 256-262.

8. Вишне夫斯基 Д.О. Обоснование состава участков для организации работы судов на линии // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции “Современные направления теоретических и прикладных исследований `2013”. – Одесса: ОНМУ 2013. – Том 1. Вип 3 - С.54-58.

9. Вишне夫斯基 Д.О. Обоснование состава флота для организации его работы на линии // Судовождение: 36. наук. праць. – Одеса: ОНМА, - Вип 22. - С 58-65.

10. Боровик, С. С. Модель задачі оптимального розподілу пасажирського флоту за маршрутами. [Текст] / С. С. Боровик. // Вісник Херсонського національного технічного університету. - 2020. - № 3 (74) – С. 11-18

11. Экономико-математические методы и модели в управлении морским транспортом: Учебник студентов морских вузов /Е.Н. Воеводский, Н.А. Коневцева, Г.С. Махуренко, И.П. Тарасова; / Под ред. Е.Н. Воеводского. - М.: Транспорт, 1988. - 384 с.

Стаття рекомендована до публікації д.физ.-мат.н., проф. Білозьоровим В. Є. (Україна)

Надійшла до редколегії 30.05.2023.

Прийнята до друку 19.06.2023.

JUSTIFICATION OF APPROACHES BEFORE PLACEMENT OF PASSENGER VESSELS IN THE DIRECTIONS OF THEIR WORK AND IMPROVING THE WORK PLANNING OF THE SHIPPING COMPANY'S FLEET

Abstract. The purpose of the article is to solve the task of arranging the passenger fleet and improving the planning of the fleet of the shipping company. To achieve the goal, the possible operating conditions of the passenger fleet were studied; developed approaches that will allow, taking into account different types of sailing, different directions of work, sizes of ships, as well as the possibility of replenishment of the fleet, to obtain the maximum value of the financial result when deploying the passenger fleet of the shipping company, which made it possible to improve the planning of the passenger fleet of the shipping company. The process of managing a shipping enterprise is a continuous development of management decisions, which largely depends on the final result of the work of any company. This is especially important for shipping, which functions in conditions of significant dynamics of both the external environment and the direct production of transport processes. The proposed solution will allow the shipping company to effectively locate its fleet, obtain the maximum financial result, taking into account the conditions of transportation and operation of vessels of various types of navigation, forms of organization of transportation, various types of vessels, routes, and also takes into account the possibility of replenishing the fleet of the shipping company in the event that its potential freight capacity does not exceed the amount of transport work. One of the most important areas of the shipping company's work is planning and optimizing the use of the company's resources. The shipping company strives for the maximum financial result from the work performed. If we consider the "external environment" as a management subject that also makes decisions corresponding to the options of the possible structure of passenger flows, then this kind of task can be formalized and presented in the form of a matrix game. A characteristic condition is that each party has no information about the decision of the other. Thus, the maximin (minimax) principle is implemented in a conflict situation. The value of the game determines the mathematical expectation of winning the first player, that is, the value of the financial result, which should be taken as planned. As a result, the forecast of the results of the shipping company will reflect the production capabilities of the "external environment" (the second player) and the conditions in which it will have to work. The proposed approach can also be used to determine the values of the planned indicators of other maritime transport enterprises - ports, ship repair plants, as well as standards of transport work; development of the replenishment (write-off) program of the shipping company's fleet; determining the tariff policy related to the transportation of passengers in the shipping company's region.

Keywords: passengers, passenger ships, fleet, shipping company.

УДК 656.224.225

М. Б. КУРГАН^{1*}, С. Ю. БАЙДАК^{2*}, М. А. ГУСАК^{3*}, Р. Б. НОВІК^{4*},
Н. П. ХМЕЛЕВСЬКА^{5*}

^{1*} Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 453 10 49, ел. пошта m.b.kurhan@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-8182-7709

^{2*} Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта s.y.baidak@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-7909-8527

^{3*} Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта m.a.husak@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-8187-7792

^{4*} Каф. Військової підготовки спеціалістів Держспецтрансслужби, Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта r.b.novik@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-2571-6641

^{5*} Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта n.p.hmelevska@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-2360-8671

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАНТАЖНИХ І ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА НАПРЯМКАХ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ ХОДАМИ

Мета. Метою роботи є визначення заходів для підвищення логістичних операцій при спеціалізації напрямків для вантажних і пасажирських перевезень шляхом передачі частини транзитного вантажопотоку на паралельні ходи. Вирішення задачі вибору раціонального розподілу вантажних й пасажирських перевезень залежно від спеціалізації напрямків дозволить оптимізувати використання пропускної й провізної спроможності та інвестицій у розвиток інфраструктури. **Методика.** Оптимізація транспортного процесу під час змішаних перевезень передбачає можливість відокремлення вантажного руху від пасажирського. Запропонована методика передбачає вирішення задачі вибору раціонального розподілу вантажних й пасажирських перевезень залежно від спеціалізації напрямків. Ідея такого розмежування базується на тому, що на мережі залізниць можна виділити станції, між якими існує декілька паралельних маршрутів курсування поїздів. Дослідження виконано на мережі залізниць, що зв'язує Львів і Київ. При вирішенні задачі розглядалися різні показники: довжина маршруту, час руху, механічна робота локомотива, навантаження на колію та інші. Крім того враховувалися граничні умови: обсяги пасажирообігу, вантажообігу, пропускна спроможність ділянок й допустима швидкість руху поїздів. **Результати.** Розроблено математичну модель перерозподілу поїздопотоків на мережі залізниць, що забезпечує раціональну роботу залізничної колії при мінімальних витратах на реконструкцію залізниць. **Наукова новизна.** Встановлено, що у випадку розділення руху, терміни проведення ремонтів можуть бути іншими через меншу інтенсивність руху, що дозволяє зосередитись на конкретних видах ремонтних робіт, а не на всіх видах робіт одночасно. Хоча загальні принципи періодичності ремонтів можуть залишатися тими ж у обох випадках, схеми періодичності можуть відрізнятися в залежності від багатьох факторів, зокрема, інтенсивності експлуатації, технічного стану транспорту, термінів проведення ремонтів та наявності спеціалізованого персоналу. **Практична значимість.** Із застосуванням запропонованих авторами нових підходів до вирішення поставлених завдань встановлені схеми раціонального розподілу вантажних і пасажирських перевезень на замкнених полігонах регіональних філій Південно-Західної й Львівської залізниць що дозволить визначити заходи для підвищення логістичних операцій та зменшити експлуатаційні витрати на перевезення вантажів і пасажирів.

Ключові слова: залізничні перевезення, спеціалізація напрямків, розподіл перевезень, вантажопотік, логістика, рухомий склад, експлуатаційні витрати, оптимізація

Вступ

Мережа українських залізниць є однією з найбільш розвинутих серед європейських країн, і за довжиною залізничних колій Україна посідає четверте місце в Європі і тринадцяте – у світі (експлуатаційна довжина – 19,8 тис. км). Українські залізниці відіграють важливу роль у реалізації транзитного потенціалу України. Близько 83% від загальної кількості перевезень вантажів

здійснюється залізницями України.

Мережа залізниць України характеризується наявністю паралельних напрямків перевезень з різною завантаженістю, по якій переміщуються поїздопотоків. Інфраструктура залізничних напрямків з паралельними ходами має різне технічне забезпечення (вид тяги, параметри плану й поздовжнього профілю, наявність бар'єрних місць та обмежень швидкості при русі по ним,

кількість головних колій на перегонах тощо).

Оптимізація транспортного процесу під час змішаних перевезень передбачає можливість відокремлення вантажного руху від пасажирського. Ідея такого розмежування базується на тому, що на мережі залізниць можна виділити станції, між якими існує декілька паралельних маршрутів курсування поїздів. В зв'язку з цим, зростає актуальність проблеми визначення раціональних параметрів пропуску поїздопотоків на залізничних напрямках з паралельними ходами з метою зменшення експлуатаційних витрат залізниць.

«Укрзалізниця» перетворилась на найважливішу логістичну компанію країни. Однак, її можливості щодо вивезення експортної продукції обмежені як фізичним браком прикордонної інфраструктури на сьогодні, так і бойовими діями – зокрема, ракетними ударами по залізничній інфраструктурі. Тому зараз середньодобове навантаження «Укрзалізниця» становить 40% від довоєнного рівня.

Основними завданнями, які стоять перед транспортною логістикою, є оптимізація транспортного процесу під час змішаних перевезень, визначення раціональних маршрутів доставки, підвищення рівня організації перевезень та управління логістичними системами. Вирішенню окремих питань окресленої проблеми присвячено цю статтю.

Постановка завдання дослідження

Спеціалізація напрямків для вантажних і пасажирських перевезень шляхом передачі частини транзитного вантажопотоку на паралельні ходи передбачає можливість відокремлення вантажного руху від пасажирського. Дослідження виконано на мережі залізниць, що поєднує Київ зі Львовом. При вирішенні задачі необхідно було розглянути й оцінити різні показники: довжина маршруту, час руху, механічна робота локомотива, навантаження на колію та інші. Крім того врахуванню підлягають такі граничні умови як обсяги пасажиро- і вантажообігу, кількість головних колій, пропускна спроможність ділянок й допустима швидкість руху поїздів. Завданням дослідження є розробка математичної моделі перерозподілу поїздопотоків на мережі залізниць при мінімальних витратах на реконструкцію паралельних напрямків. Як приклад, пропонується розглянути варіант раціонального розподілу вантажних і пасажирських перевезень на замкнених полігонах регіональних філій Південно-Західної й Львівської залізниць, а також визначити заходи з підвищення логістичних операцій при спеціалізації напрямків для

вантажних і пасажирських перевезень шляхом передачі частини транзитного вантажопотоку на паралельні ходи і дослідити можливості зменшення експлуатаційних витрат на перевезення.

Мета дослідження

Метою роботи є визначення заходів для підвищення логістичних операцій при спеціалізації напрямків для вантажних і пасажирських перевезень шляхом передачі частини транзитного вантажопотоку на паралельні ходи. Для досягнення зазначеної мети в роботі поставлено й вирішено наступні задачі:

- провести аналіз наявних методів організації руху поїздів на транспортній інфраструктурі з паралельними залізничними напрямками;

- встановити зв'язок між параметри руху поїздів та пропускною спроможністю залізничних напрямків з паралельними ходами;

- створити математичну модель і розробити методику експлуатаційної роботи залізничного напрямку з паралельними ходами;

- встановити критерії та процедуру оцінки ефективності рішення щодо розподілу вантажних і пасажирських поїздів за напрямками з паралельними ходами.

Враховуючи вище викладене, виникла потреба дослідити ефективність розмежування вантажних і пасажирських перевезень в комплексі, виходячи з вимог скорочення термінів доставки вантажів і пасажирів за умови забезпечення встановлених обсягів перевезень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз сучасних публікацій показує, що дослідження з вибору пріоритетних напрямків міжнародних перевезень включають широкий спектр питань, основними з них є обґрунтування логістичних схем перевезень і термінів доставки вантажів і пасажирів. Завдяки своєму географічному розташуванню та розвиненій транспортній інфраструктурі Україна має значний потенціал у розвитку вантажних перевезень, насамперед у міжнародних перевезеннях, зокрема як країна-транзістор у логістичному ланцюгу торгівлі між Азією та Європою [1]. Дослідження [2] включає проблеми прийняття рішень, з якими стикаються менеджери залізнично-транспортної інфраструктури в мережах залізничних доріг з виділеними коліями та коридорами загального користування. Аналізується стратегія консолідації коридорів, де колія обслуговує пасажирські та вантажні поїзди. Задаються різні характеристики пасажирських та вантажних поїздів та аналітично визначається оптимальний розподіл

колій та часу консолідації, використовуючи дві різні структури моделей. У експериментах використовуються реалістичні параметри, засновані на голландській залізничній системі. Оптимізований метод вибору маршруту поїзда для повсякденного планування вантажних поїздів запропоновано в роботі [3]. Суміщений рух поїздів на одних і тих же коліях прямо або опосередковано впливає на проектування, будівництво, експлуатацію та технічне обслуговування залізничної системи. У цьому контексті в статті [4] якісно і кількісно оцінюється вплив деяких з перерахованих характеристик на компоненти залізничної системи і наводяться елементи витрат на будівництво залізничної інфраструктури з урахуванням різних сценаріїв експлуатації.

Вибір оптимального транспортного рішення включає обґрунтування найбільш вигідних маршрутів, вибір рухомого складу відповідно до виду вантажів, режиму перевезення вантажів (при якому поетапно використовуються різні види транспорту), технологію прикордонних станцій тощо. Такі питання розглянуті в роботах [5, 6]

В роботі [7] запропоновано моделі прийняття рішень щодо оцінки ефективності транспортної системи Європа-Азія, а в роботі [8] запропонована модель розподілу транзитних вантажів на залізничній мережі в умовах конкуренції за обсяги вантажоперевезень залізничним транспортом.

У статті [9] представлені теоретичні основи й емпіричні результати аналізу і моделювання транспортних мереж в Польщі з використанням складних мереж. Описано властивості складних мереж (Scale Free і Small World) і характерні для мережі характеристики. В роботах [10, 11] описано імітаційну модель транспортної системи Польщі як інструмент сталого розвитку транспорту.

Методи дослідження та рішення поточних транспортних проблем розглядалися на Міжнародній науковій конференції Транспорт XXI століття, 9–12 червня 2019 р., Рин, Польща [12].

Більшість європейських країн протягом більше трьох десятиліть успішно вирішують проблему національних пасажиропотоків на основі істотного збільшення швидкості руху поїздів на спеціально побудованих лініях. В статті [13] наведені основні відмінності залізничної інфраструктури України і Європейських країн. Показано, що міжнародні перевезення територією України мають певні особливості. Зміна стандартів залізничної колії на кордоні з країнами Європи змушує шукати найбільш раціональні

маршрути перевезення вантажів (з урахуванням відстані, технічного стану, швидкості доставки та інших параметрів міжнародних транспортних коридорів) та раціональних технологій переміщення вантажів у прикордонних пунктах, які дозволяють вивести ці перевезення на інноваційний шлях розвитку.

В роботі [14] досліджено режим руху комбінованих різношвидкісних вантажних поїздів з розподілом пасажирського і вантажного транспорту.

При вирішенні завдань щодо підвищення пропускної й провізної спроможності залізничної розглядається як цілісна система, що складається з пристроїв та конструкцій, які через недосконалий технічний стан можуть обмежувати швидкість руху поїздів на тій чи іншій ділянці. Тому виникає необхідність по кожному бар'єрному місцю на залізниці знати швидкість руху поїздів, що допускається, а також параметри пристроїв, під які необхідно перевлаштувати залізницю, щоб реалізувати ці швидкості. Так, в роботі [15] запропонована методологія, яка дозволяє оцінювати пропускну спроможність і рівень використання залізничних систем у різних географічних масштабах і відповідно до наявності даних. Отримані результати можуть надати цінну інформацію для забезпечення ефективної експлуатації та використання залізничної інфраструктури, що враховує пріоритетність інвестицій, плату за перевезення та доступ до інфраструктури і дозволяє мінімізувати витрати для користувачів.

У світі існують транспортні коридори з високим рівнем використання різного роду перевезень: міжміські пасажирські, приміські, вантажні та навіть високошвидкісні пасажирські, що працюють на одних коліях. В статті [16] використовуються результати понад 50 попередніх досліджень виконаних в США та Європі, щоб описати різні підходи до визначення пропускної спроможності залізниці, а потім класифікувати їх на основі кожного: аналітичні методи, методи моделювання й комбінований.

Зростаючий попит на пасажирські та вантажні перевезення в поєднанні з обмеженими капітальними вкладеннями для розширення залізничної інфраструктури Сполучених Штатів (США) потребує більш ефективного використання поточної потужності ліній. Американська Інженерно-технічна асоціація (AREMA) пропонує спрощений підхід до оцінки пропускної здатності лінії який оцінює практичний потенціал шляхом множення теоретичної пропускної спроможності на ефективність диспетчеризації

лінії. Метод AREMA для розрахунку теоретичної потужності та ефективності диспетчеризації вимагає врахування різних факторів, таких як кількість колій, правила експлуатаційної роботи, характеристики траси, специфікацію поїздів (тип поїзда, довжина, маса), а також системи сигналізації та керування поїздами [16].

Для відправлень на відстань 500-1500 км більше підходить залізничний режим більш дешевих транспортних витрат і більш швидких термінів доставки. Тому поточна логістична проблема полягає в тому, як оптимізувати використання залізниць. Так, в роботі [17] відмічається, що у британській залізничній мережі за останні 20 років спостерігалось значне зростання вантажних і пасажирських перевезень, що викликає побоювання з приводу її здатності абсорбувати тривале зростання. Був реалізований ряд інфраструктурних ініціатив, спрямованих на збільшення пропускної спроможності і зменшення конфліктів. Досліджено вплив на експлуатаційні характеристики вантажних поїздів нової залізничної інфраструктури для розподілу пасажирських і вантажних перевезень. Неоднорідність в поєднанні характеристик різних типів поїздів призводить до великих затримок, ніж при однорідному русі. Аналіз, наведений в роботі [18], включав вплив на затримку різних транспортних засобів і характеристик поїздів.

Північноамериканські залізниці відчувають зростання попиту на перевезення і все частіше потребують збільшення пропускної спроможності своїх ліній; це зажадає зміни режиму роботи та інфраструктури. В роботі [19] показано, що розширення інфраструктури вимагає тривалого часу і капіталомістких операцій. В якості альтернативи, деяка додаткова потужність може бути досягнута шляхом зміни режиму експлуатаційної роботи, що часто дешевше і швидше в реалізації.

Реалізація масштабних інвестиційних проєктів (нове будівництво, реконструкція залізниць), які передбачають високі інвестиційні витрати та необхідність врахування великої кількості факторів, вимагає використання відповідних методів оцінки ефективності. Основою для оцінки ефективності проєкту є такі принципи: розгляд варіанту (проєкту) протягом всього розрахункового періоду, позитив і максимальний ефект, врахування фактору часу, вплив інфляції, невизначеності, ризику тощо. Попередня оцінка ґрунтується на методах [20-22].

Багаторічними дослідженнями встановлено,

що найменші експлуатаційні витрати з утримання залізничної колії будуть забезпечені при відповідному співвідношенні інтенсивності навантаження колії, рівня динамічного навантаження на колію від рухомого складу та потужності залізничної колії [23]. Цей принцип використано в нормативних документах Укрзалізниці. Так, наприклад, категорія залізничної колії встановлюється в залежності від вантажонапруженості та від встановленої швидкості пасажирських і вантажних поїздів. Тобто інтенсивність навантаження колії визначена вантажонапруженістю, а рівень динамічного навантаження на колію від рухомого складу - встановленою швидкістю поїздів.

У посібнику [24] надана оцінка витрат на утримання змішаних високошвидкісних пасажирських і вантажних залізничних коридорів. Відмічається, що експлуатація у змішаному русі (тобто з вантажними та приміськими поїздами) зазвичай відбувається значно нижче максимальної швидкості.

Перешкодою до переходу на інноваційний шлях розвитку в Україні стала класична форма організації руху, яка полягає у використанні інфраструктури в перевезенні як пасажирів, так і вантажів (змішаний рух). Недоліки організації такого руху – недостатній комфорт пасажирів та неможливість застосування нового прогресивного рухомого складу. При переключенні поїздопотоків на паралельні ходи, змінюється інтенсивність руху вантажних і пасажирських поїздів та інші експлуатаційні показники, що впливають на напружено-деформований стан колії, а отже на витрати, пов'язані з ремонтом і утриманням колії.

В статті [25] досліджуються питання функціонування залізничних вантажних коридорів у Словацькій Республіці та використання їх пропускної здатності при суміщеному русі пасажирських і вантажних поїздів. Автори вважають, що спільна робота (пасажирська та вантажна) на коридорах може спричинити велике споживання місткості залізничної інфраструктури. Отже, управління вантажними коридорами має включати процедури розподілу пропускної здатності інфраструктури для міжнародних вантажних поїздів, що курсують такими коридорами.

Перші кроки в цьому напрямку зроблені й в Україні: розроблена програма, відповідно до якої вантажопотоки повинні рівномірно розподілятися по всім напрямкам, а не зосереджуватись на найбільш вантажонапружених залізничних лініях, наприклад, таких, як Київ-Дніпро. З

цією метою приводяться в належний стан друго-рядні, поки-що мало задіяні ходи, на які можна буде переключати вантажопотоки. Одночасно виникає ряд проблем експлуатаційного і технічного характеру, зв'язаних із співвідношенням швидкостей вантажних і пасажирських поїздів, зменшенням провізної спроможності залізниць, на яких впроваджується швидкісний рух [26].

Ґрунтуючись на результатах зарубіжних і вітчизняних наукових розробок намічені шляхи вирішення проблеми, що стосується спеціалізації напрямків для вантажних і пасажирських перевезень шляхом передачі частини транзитного вантажопотоку на паралельні ходи.

Основний матеріал дослідження

При різних маршрутах перевезень між Києвом і Львовом були виділені південний, північний і проміжний варіанти (рис. 1).

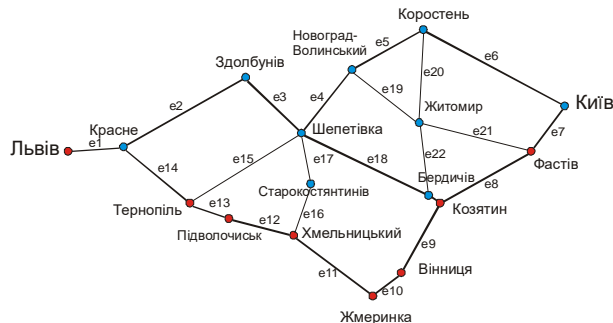


Рис. 1. Маршрути руху поїздів між Києвом і Львовом: *північний* – Київ-Коростень-Шепетівка-Здолбунів-Львів; *південний* – Київ-Жмеринка-Львів; *проміжний* – Київ-Козятин-Шепетівка-Здолбунів-Львів

Варіант 1 – Північний.

Маршрут – Київ-Коростень-Здолбунів-Львів. Довжина – 565 км.

Характеристики:

- від Львова до Шепетівки переважає вантажний рух;

- північний хід майже на 60 км коротший від південного варіанту;

- швидкісний поїзд буде цілком завантажуватися від початкової до кінцевої станції і відсутність великих обласних центрів на цьому напрямку не впливає на організацію перевезень, так як немає потреби в проміжних зупинках;

- у північному варіанті не задіяна вантажно-напружена ділянка Київ-Козятин, де курсувало більше 60 пар поїздів на добу.

Варіант 2 – Південний.

Маршрут – Київ-Жмеринка-Львів. Довжина – 622 км.

Характеристики:

- переважно пасажирський рух;

- південний хід майже на 60 км довший від північного варіанту;

- на цьому напрямку багато обласних центрів;

- після проведення реконструкції ділянки від Києва до Жмеринки, а потім на Львів, будемо мати половину готового шляху за напрямком від столиці до Одеси.

Варіант 3 – Проміжний.

Маршрут – Київ-Козятин-Шепетівка-Здолбунів-Львів. Довжина – 568 км.

Характеристики:

- за довжиною такий як північний варіант;

- використовується в основному для вантажних перевезень.

Вибір показників для оцінки конкурентних варіантів. При виборі того чи іншого варіанту слід враховувати їхній технічний стан. Так, наприклад, переключення частини вантажних перевезень на паралельний хід може призвести до необхідності збільшення його пропускної й провізної спроможності. Наприклад, ділянка Коростень-Шепетівка одноколійна з двоколійними вставками, що обмежує її пропускну спроможність у порівнянні з іншими, двоколійними ділянками.

Для оцінки варіантів повинні розглядатись кількісні, якісні й економічні показники. Зупинимося на деяких з них.

1. Пробіг поїздів (в поїздо-кілометрах і в тонно-кілометрах бруто). Ці показники відображають технічну і вантажну роботу залізниць. Пробіг поїздів в поїздо-кілометрах визначається за формулою

$$NL = N_1L_1 + N_2L_2 + \dots + N_nL_n, \quad (1)$$

Пробіг поїзда в тонно-кілометрах є сума добутків маси поїзда бруто на відстань його пробігу

$$QL = Q_1L_1 + Q_2L_2 + \dots + Q_nL_n, \quad (2)$$

де N_1, N_2, \dots, N_n - кількість поїздів; Q_1, Q_2, \dots, Q_n - маса поїздів; L_1, L_2, \dots, L_n - відповідні відстані пробігу цих поїздів.

Виходячи з існуючих обсягів перевезень по ділянці можна сказати, що північний варіант у теперішній час спеціалізується на перевезеннях вантажів, південний варіант, навпаки, – для перевезень пасажирів.

2. Швидкість руху (час руху) пасажирських поїздів. Середню швидкість руху пасажирського поїзда без урахування стоянок на проміжних станціях називають технічною швидкістю. Така швидкість визначається за формулою

$$V_{nac}^m = \sum NL_{nac} / \sum NT_{nac}, \quad (3)$$

де $\sum NL_{nac}$ - сумарний пробіг пасажирських поїздів, поїздо-км; $\sum NT_{nac}$ - сумарний час знаходження поїздів на ділянці без урахування стоянок пасажирських поїздів на проміжних станціях, год.

3. Витрати енергоресурсів. На залізничному транспорті України діє довгострокова Програма енергозбереження. За даними статистичних звітів АТ «Укрзалізниця» із загального обсягу паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) найбільші витрати припадають безпосередньо на тягу поїздів.

Для визначення факторів, які впливають на енергетичні витрати, розглянемо рівняння поїзда

$$F_k = m a + W_o + W_i + W_r. \quad (4)$$

У виразі (4) F_k - сила тяги локомотива; m - маса поїзда; a - прискорення поїзда; W_o - сила основного опору руху; W_i , W_r - сили додаткового опору руху відповідно від ухилів і кривизни колії.

Значення основного і додаткових опорів руху, визначаються для кожного рухомого складу емпірично [27].

При відомій механічній роботі локомотива (визначається програмно при виконанні тягових розрахунків, витрати електроенергії розраховуються за формулою (5))

$$E = \frac{R_m}{\eta}, \quad (5)$$

де механічна робота локомотива на ділянці довжиною L визначається як

$$R_m = \int_l F_k ds, \quad (6)$$

В формулі (5) R_m - сила тяги локомотива, що витрачається на тягу поїздів; l - частина ділянки L , на якій сила тяги локомотива $F_k > 0$.

До ділянок l відносяться ділянки розгону, а також ділянки, на яких поїзд рухається з постійною швидкістю на підйомах, площадках і спусках, якщо сила додаткового опору руху від ухилу W_i і кривизни колії W_r не перевищує величини основного опору руху, тобто $(W_i + W_r) < W_o$. η - коефіцієнт корисної дії електровоза.

Варіанти, що досліджуються, можуть оцінюватися за різними критеріями (див. п. 1, 2, 3). Вибір оптимального варіанта у такому випадку залежить від того, яким чином критерії зв'язані між собою. Існує кілька підходів для вирішення цієї задачі [11].

Метод зважених сум. У цьому методі кожному критерію призначається вага, яка відображає їх відносну важливість. Результати оцінки кожного варіанта за кожним критерієм множаться на вагу критерію і підсумовуються. Варіант з найвищою зваженою сумою вважається оптимальним

Метод аналізу ієрархій (MAI). В цьому методі критерії порівнюються попарно за їх важливістю. Шляхом зіставлення важливості критеріїв формується матриця парних порівнянь, яка потім піддається обробці для визначення ваги кожного критерію. На основі цього аналізу можна вибрати оптимальний варіант.

Метод ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité): Цей метод використовується для вирішення багатокритеріальних задач прийняття рішень. Він базується на порівнянні варіантів за кожним критерієм та прийнятті рішення на основі ранжування та елімінації варіантів.

Також існують інші методи, такі як методи простору Парето, метод TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), метод вагових коефіцієнтів тощо. Кожен з цих методів має свої переваги та обмеження.

Важливо враховувати контекст задачі та вимоги проекту, так як вони можуть визначати, які критерії є найважливішими і як вони пов'язані між собою.

Розробка математичних моделей раціонального розподілу поїздопотоків. Для вирішення задачі оптимального розподілу поїздопотоків між початковим і кінцевим пунктами, мережа залізниць була представлена у вигляді графа $G(V, E)$, де станції - це вершини графа (множина V), а ділянки між ними - ребра графа (множина E). Потік поїздів задається у вигляді матриці P_{ij} , $i, j = \overline{1, n}$, де n - кількість станцій, а P_{ij} - кількість поїздів з пункту i в пункт j .

Враховуючи те, що від однієї станції до іншої можна потрапити різними шляхами, відповідно до графа між пунктами i й j існує W_{ij} простих шляхів. Кожне ребро $e \in E$ буде характеризуватися трьома параметрами: $d(e)$ - довжина ребра e ; $t(e)$ - час руху поїзда по ребру

e ; $m(e)$ – механічна робота при русі поїзда по ребру e .

Позначимо через $X_{i,j,w}$ кількість поїздів, що рухаються із пункту i в пункт j по w -му простому шляху з переліку W_{ij} . Тоді

$$P_r = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sum_{w \in W_{ij}} P(w) X_{i,j,w} \rightarrow \min, \quad (7)$$

де $P(w)$ – сумарне значення показника простого шляху w з переліку W_{ij} .

Мінімальне значення P_r визначаємо з урахуванням поїздопотоків, тобто

$$\sum_{w \in W_{ij}} X_{i,j,w} = P_{ij}; \quad i = \overline{1, n-1}; \quad i+1 \leq j \leq n. \quad (8)$$

До даних обмежень додається обмеження за пропускною спроможністю кожного ребра:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sum_{w \in W_{ij}} I_w(e) X_{i,j,w} \leq N(e); \quad e \in E; \quad (9)$$

де $I_w(e)$ – індикатор ребра e для шляху w ,

$$\begin{cases} I_w(e) = 1, e \in w; \\ I_w(e) = 0, e \notin w, \end{cases} \quad (10)$$

$N(e)$ – пропускна спроможність ребра e .

Розглядалися різні показники оптимізації: поїздо-кілометри (P_1), поїздо-години (P_2), механічна робота локомотива (P_3). Як було вище зазначено, поїздо-кілометри і тонно-кілометри відображають технічну і вантажну роботу залізниць, поїздо-години – середню швидкість руху поїздів, а механічна робота локомотива – витрати електроенергії.

Сформулюємо задачі, які підлягають вирішенню, табл. 1.

Задачі (1–3) можна вирішувати як задачі лінійного програмування. Задачі (4 – 7) вирішуються як задачі векторної оптимізації у лінійній постановці.

На прикладі мережі залізниць, що поєднує Львів і Київ, було виконано дослідження з визначення раціонального розподілу пасажирських та вантажних поїздів. Для розв’язання задачі відповідно до мережі шляхів (рис. 1) створювалась математична модель у вигляді графа $G(V, E)$ – рис. 2, та матриця потоку поїздів

(рис. 3), яка відображає кількість поїздів, що приймають з початкової до кінцевої станції.

Таблиця 1

Умови для задач, які підлягають вирішенню

№ задачі	Умова
1	$P_1 \rightarrow \min \quad P_2 \leq \overline{P_2}; \quad P_3 \leq \overline{P_3};$
2	$P_2 \rightarrow \min \quad P_1 \leq \overline{P_1}; \quad P_3 \leq \overline{P_3};$
3	$P_3 \rightarrow \min \quad P_1 \leq \overline{P_1}; \quad P_2 \leq \overline{P_2};$
4	$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad P_3 \leq \overline{P_3};$
5	$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_3 \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad P_2 \leq \overline{P_2};$
6	$\begin{pmatrix} P_2 \\ P_3 \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad P_1 \leq \overline{P_1};$
7	$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{pmatrix} \rightarrow \min$

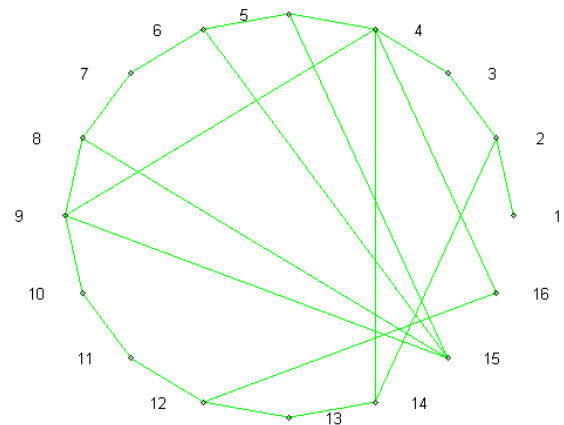


Рис. 2. Математична модель мережі у вигляді графа $G(V, E)$

$$P_p := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 1 & 37 & 0 & 0 & 1 & 11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 6 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 37 & 0 & 2 & 0 & 0 & 3 & 0 & 15 & 0 & 0 & 13 & 9 & 0 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 11 & 0 & 1 & 0 & 0 & 6 & 13 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 9 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Рис. 3. Матриця потоку поїздів

Кожне ребро графа (рис. 2) характеризується довжиною, часом руху та механічною роботою. При цьому задається обмеження за пропускною спроможністю ребра в залежності від кількості колій на ділянці та обмеження за довжиною маршруту.

Результати розрахунків за різними показниками оптимізації для пасажирських поїздів представлені в табл. 2. Використання розробленої авторами математичної моделі раціонального розподілу поїздопотоків і методики

визначення раціональних параметрів плану на напрямках пасажирського, суміщеного й вантажного руху дозволяють вирішувати поставлені Укрзалізницею завдання.

Як впливає з табл. 2 маршрути слідування пасажирського поїзда за різними показниками оптимізації поїздо-кілометри (P_1), поїздо-години (P_2), механічна робота локомотива (P_3) відрізняються (задачі 1-3).

Таблиця 2

Маршрут слідування пасажирського поїзда за різними показниками оптимізації

Показник	Маршрут слідування
Поїздо-км (парний і непарний напрямки)	Львів-Красне-Здолбунів-Шепетівка-Новоград-Волинський-Коростень-Київ
Поїздо-час (парний і непарний напрямки)	Львів-Красне-Здолбунів-Шепетівка-Бердичів-Фастів-Київ
Поїздо-ткм (парний напрямок)	Львів-Красне-Тернопіль-Шепетівка-Новоград-Волинський-Коростень-Київ
Поїздо-ткм (непарний напрямок)	Львів-Красне-Здолбунів-Шепетівка-Козятин-Фастів-Київ

Розподіл поїздопотоків за показником сумарної роботи сил, що діють на колію. Переключення перевезень на паралельні ходи призводить до зміни інтенсивності руху вантажних і пасажирських поїздів, що впливає на напружено-деформований стан колії, а в кінцевому результаті на експлуатаційні витрати, ремонт і утримання колійної інфраструктури.

Для підтвердження сказаного, на рис. 4 показано графік зміни механічної роботи сили тяги локомотива

уздовж ділянки. З рисунку видно, що значення цього фактору суттєво змінюються по довжині лінії і залежить від параметрів позовжнього профілю, плану, наявності обмежень швидкості, режиму ведення поїзду, швидкості руху тощо. Отже і вплив на знос колійної інфраструктури на таких ділянках буде різний, що й було враховано в подальшому.

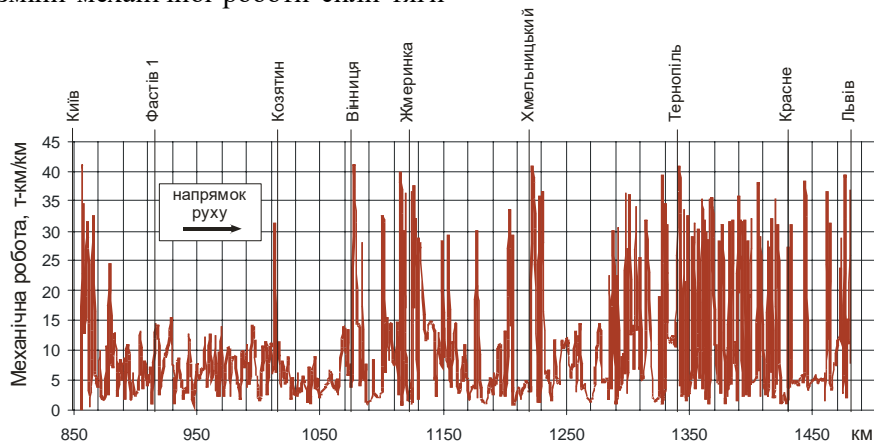


Рис. 4. Графік зміни механічної роботи сили тяги локомотива при русі пасажирського поїзда від Києва до Львова

При розмежуванні вантажного й пасажирського руху змінюється структура поїздопотоків, тому представляє інтерес дослідження основних факторів на знос колійної інфраструктури на паралельних ходах – напрямках вантажного й пасажирського руху. Для вирішення такої задачі було використано комплексний показник, який

дозволяє порівнювати різні варіанти за сумарною дією на колію потоку поїздів протягом встановленого терміну експлуатації. Оптимальним будемо вважати такий маршрут, по якому можна доставити вантаж в найкоротші терміни з мінімальними витратами.

Загальну дію рухомого складу D , що призводить до зносу колійної інфраструктури, можна представити як роботу поздовжньої $D_{\text{позд}}$, поперечної $D_{\text{нон}}$ і вертикальної $D_{\text{верт}}$ сил

$$D = \sqrt{D_{\text{позд}}^2 + D_{\text{нон}}^2 + D_{\text{верт}}^2}, \quad (11)$$

Кожна з названих сил визначається як добуток відповідного прискорення $\alpha_{\text{позд}}$, $\alpha_{\text{нон}}$, $\alpha_{\text{верт}}$ на масу рухомого складу, а робота сил – як добуток сили на переміщення у відповідній площині.

Робота поздовжніх сил визначалась через поздовжні прискорення, які були отримані при виконанні тягових розрахунків, як зміна швидкості руху поїзда за одиницю часу

$$\alpha_{\text{позд}} = \frac{dV}{dt}.$$

Робота поздовжніх сил від дії рухомого складу на колію була представлена як сума механічної роботи локомотива та роботи сил гальмування і з достатньою точністю для кожної категорії поїздів визначалась за формулою

$$D_{\text{позд}} = \frac{Q \cdot L}{1000} \cdot \left(a + \frac{b \cdot Q + c \cdot l_{\text{пер}}}{1000} \right), \quad (12)$$

де Q - маса поїзда, т; L - довжина ділянки, км; $l_{\text{пер}}$ - середня довжина ділянки між пунктами зупинки поїздів, км; a, b, c - коефіцієнти апроксимації (табл. 3).

В результаті проведеного факторного аналізу встановлено, що найбільш тісні зв'язки існують між факторами, що призводять до зносу залізничної колії: робота сил опору і гальмівних сил, робота бокових і вертикальних сил. Впливають

на знос також вид тяги, типи поїздів, складність плану й профілю, швидкість руху і маса поїздів, довжина перегону.

Отримані розрахунком коефіцієнти апроксимації a, b, c для різних категорій поїздів та різних умов профілю і плану лінії наведені в табл. 3.

Для зменшення похибки апроксимації були, по-перше, відокремлені тепловозна та електрична тяги. По-друге, окремо розглядалися вантажні, приміські, пасажирські поїзди та експреси, по-третє, в окремі групи були виділені ділянки за середнім ухилом поздовжнього профілю $i_{\text{середн.}}$ за такою градацією: $i_{\text{середн.}} < 4\text{‰}$ – легкий профіль; $4\text{‰} \leq i_{\text{середн.}} \leq 8\text{‰}$ – середній профіль; $i_{\text{середн.}} > 8\text{‰}$ – важкий профіль. Для пасажирських поїздів та експресів крім того введено розподілення за складністю плану лінії через середній радіус: $R_{\text{середн.}} \geq 2000 \text{ м}$ – легкий план; $2000 \text{ м} > R_{\text{середн.}} \geq 1000 \text{ м}$ – середній план; $R_{\text{середн.}} < 1000 \text{ м}$ – важкий план.

Фактором, який враховує динамічне навантаження, є робота вертикальних сил, яка визначається як добуток динамічної вертикальної сили, що діє на рейку, на прогин рейко-шпальної решітки під впливом цієї сили. Методика визначення роботи вертикальних сил, що діють на колію, викладена в роботі [29].

Для визначення роботи вертикальних сил ($\text{кН} \cdot \text{м}$) підчас моделювання руху поїзда по ділянці за програмою MoveRW [30] були отримані аналітичні залежності. Наприклад, для електровоза ДЕ1 $D_{\text{верт.}} = 0,117V + 14,381$, для ДСЗ $D_{\text{верт.}} = 0,073V + 10,153$ і т. д.

Таблиця 3

Коефіцієнти апроксимації (тяга електрична)

Категорія поїздів	Складність профілю	Складність плану	a	b	c
Вантажні	легкий	Будь-яка	14,264	-0,774	-115,3
	середній		16,037	-1,103	-120,5
	важкий		18,522	-1,578	-108,9
Пасажирські	легкий	Легкий	31,319	-8,240	-332,7
	середній		32,607	-8,728	-328,2
	важкий		34,994	-9,857	-314,8
	легкий	Середній	32,858	-9,714	-329,7
	середній		34,089	-10,138	-325,4
	важкий		36,231	-11,123	-311,7
	легкий	Важкий	28,280	-8,985	-222,7
	середній		29,560	-9,299	-221,8
	важкий		31,797	-10,030	-215,8

Визначення роботи непогашених відцентрових сил і підвищень, які були б оптимальними за критерієм мінімуму роботи, передбачені у програмі RWPlan [31]. Розрахунки виконуються наступним чином.

1. В програму RWPlan вводяться дані, що відтворюють існуючий план (за даними поздовжнього профілю або за результатами зйомки)

2. За програмою MoveRW виконуються тягові розрахунки для різних категорій поїздів, що обертаються на ділянці

3. У програмі RWPlan задаються поїздопоток для існуючого стану, а швидкості руху поїздів в кривих за результатами тягових розрахунків.

4. Для заданого поїздопоток визначається робота непогашених відцентрових сил для існуючого стану і знаходяться підвищення, які для

цього поїздопоток забезпечать максимально допустимі швидкості і мінімум зносу колії.

5. Для пасажирського руху за спеціальною методикою в програмі RWPlan виконуються розрахунки перевлаштування плану в межах земляного полотна, яка забезпечить максимальні швидкості пасажирських поїздів.

6. На основі результатів тягових розрахунків формуються нові структури поїздопотоків і знаходяться підвищення для проектного плану лінії за умови мінімуму роботи непогашених відцентрових сил і забезпечення встановлених швидкостей руху.

За наведеною технологією були виконані розрахунки на різних напрямках. Для прикладу в табл. 4 наведені дані для ділянок Київ-Коростень, Київ-Козятин, Козятин-Шепетівка і Шепетівка-Коростень.

Таблиця 4

Результати розрахунків дії непогашених відцентрових сил R_{eid} на колію

Ділянки	G , млн. т	Q , тонн	N , поїздів	Значення R_{eid} , тис. ткм			
				Поїздопотік за h_{icn}		Поїздопотік за h_{onm}	
				парний	непарний	парний	непарний
Київ - Коростень	4,0	4000	1500	18934	19820	11963	12788
Київ - Козятин	51,8	4600	19500	128901	91221	61760	68721
Козятин - Шепетівка	41,7	4600	17888	134535	130087	85941	85337
Шепетівка - Коростень	3,0	3600	1150	7507	7720	4214	4203

Переваги вище описаного підходу полягають в тому, що визначається робота непогашених відцентрових сил R_{eid} (прототип роботи поперечних сил D_{non}) не тільки для існуючого стану параметрів плану залізниці, але й для проектних параметрів кривих, які пропонується встановити після модернізації колії. Тобто визначається раціональне підвищення зовнішньої рейки в кривих для заданого поїздопоток, при якому буде найменша сумарна робота непогашених відцентрових сил.

Наступним кроком є знаходження раціонального розподілу поїздів між паралельними ходами за критерієм відношення загальної роботи всіх сил, що діють від поїздів на колію, до часу руху кожної категорії поїздів. За результатами розрахунків на рис. 5 показано розподіл пасажирських поїздів, які прямують з Києва до Львова. Такі ж розрахунки були виконанні для вантажних поїздів.

Окремі результати дослідження доповідалися на Всеукраїнській науковій конференції «Логістика і транспортна безпека: проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів, загроз» [32]. Рекомендації подальшого дослідження стосуються визначенню

такого комплексного показника, який би враховував логістику транспортного процесу під час змішаних вантажних перевезень і мобільність пасажирських перевезень. Встановлено, що поставлена проблема може вирішуватись як математична багатокритеріальна оптимізаційна задача [26].

Висновки

1. На основі результатів проведеного дослідження запропоновано математичну модель раціонального розподілу поїздопотоків, застосування якої дозволяє обґрунтовано обирати найбільш придатний варіант як за одним, так і за декількома критеріями одночасно. Раціональний розподіл дає змогу вирішувати поставлені Укрзалізницею завдання, скоротивши час руху поїздів і зменшивши при цьому витрати на пробіг поїздів, ремонт і утримання залізничної колії.

2. Запропоновано способи зменшення дії непогашених відцентрових сил в кривих ділянках колії. Розрахунки показали, що влаштування підвищення зовнішньої рейки в кривих за умови мінімуму роботи непогашених відцентрових сил дозволяє для ділянок, що розглядалися, зменшити цю роботу на 10-15 %.

3. Запропоновано способи зменшення дії роботи поздовжніх сил за рахунок встановлення раціональної швидкості руху поїздів та зменшення роботи вертикальних сил за рахунок відокремлення вантажного руху від пасажирського, що дозволяє на 12-21 % скоротити витрати на ремонт колії та рухомого складу.

4. На пасажирських і вантажних напрямках значно скорочується кількість обгонів поїздів, що призводить до зменшення експлуатаційних витрат, пов'язаних з гальмуванням, зупинками і розгоном поїздів, зменшується коефіцієнт зняття вантажних поїздів пасажирськими, що позитивно впливає на пропускну спроможність.

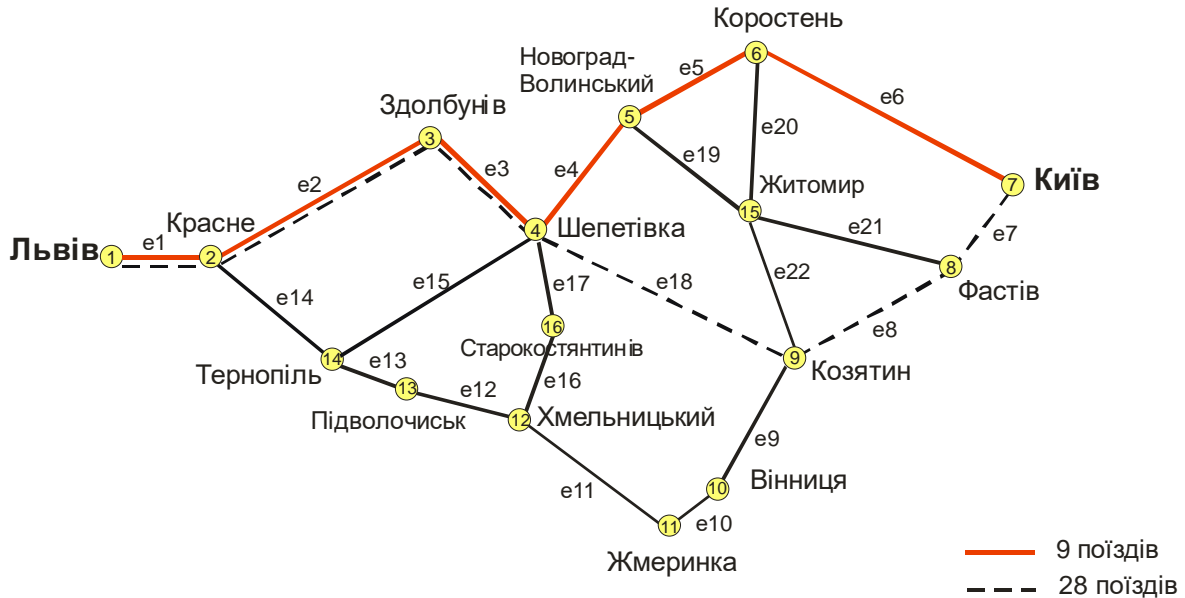


Рис. 5. Раціональний розподіл пасажирських поїздів, що слідують зі Львова до Києва між паралельними ходами

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- Kurhan M., Kurhan D. Problems of providing international railway transport // *Matec*. – 2018. – Vol. 230. pp. 01007. doi: 10.1051/mateconf/201823001007.
- Evrin Ursavas, Stuart X. Zhu (2017). Integrated Passenger and Freight Train Planning on Shared-Use Corridors. *Transportation Science* 52(6). DOI:10.1287/trsc.2017.0796
- Shengdong Li, Hongxia Lv, Changan Xu, Tao Chen, Congcong Zou (2020). Optimized Train Path Selection Method for Daily Freight Train Scheduling. *IEEE Access* (8), 40777-40790. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2976904
- Christos Pyrgidis, Evangelos Christogiannis. The Problems of the Presence of Passenger and Freight Trains on the Same Track // *Transport Research Arena – Athens*. <https://www.researchgate.net/publication/271889462>
- Chornopyska, N.; Stasiuk, K. (2020). Logistics Potential of the Railway as a Key for Sustainable and Secure Transport Development, *Transport Means*, 421-425. Available from: https://www.researchgate.net/publication/346427093_Logistics_Potential_of_the_Railway_as_a_Key_for_Sustainable_and_Secure_Transport_Development [accessed May 03 2023].
- Kurhan M., Kurhan D., Černiauskaitė L. (2019). Rationale of priority areas of rail operation in north-eastern Europe // *Transport Means*, 1439-1444.
- M. Szkoda, A. Tulecki (2008). Decision models in effectiveness evaluation of Europe-Asia Transportation

- Systems. World Congress on Railway Research (WCRR), Seoul, Korea/ <https://www.sparkrail.org/Lists/Records/DispForm.aspx?ID=3772>
- Kozachenko D.; Skalozub V.; Gera B.; Hermaniuk Y.; Korobiova R.; Gorbova A. (2019). A model of transit freight distribution on a railway network, *Transport Problems* 14(3), 17-26. DOI:10.20858/tp.2019.14.3.2
- Tarapata Z. (2015). Modelling and analysis of transportation networks using complex networks: Poland case study. *The Archives of Transport*. 36 (4), 55-65. DOI: 10.5604/08669546.1185207
- Marianna Jacyna, Mariusz Wasiak, Konrad Lewczuk & Michał Kłodawski (2015). Simulation model of transport system of Poland as a tool for developing sustainable transport. *Archives of Transport*, 31(3), 23-35. DOI: 10.5604/08669546.1146982
- Scientific and Technical Support Development Railway Transport in International Traffic [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/10482_jgbcfyj
- Mirosław Siergiejczyk, Karolina Krzykowska-Piotrowska (2019). Research Methods and Solutions to Current Transport Problems Proceedings of the International Scientific Conference Transport of the 21st Century, 9– 12th of June 2019, Ryn, Poland: Proceedings of the International Scientific Conference Transport of the

21st Century, 9– 12th of June 2019, Ryn, Poland. DOI:10.1007/978-3-030-27687-4, 494 s.

13. Mykola Kurhan, Viktor Verbitskii, Dmytro Kurhan (2019). Difference research of Ukrainian and European railway infrastructure. *Science and Transport Progress Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport* 5(83), 52-70. DOI:10.15802/stp2019/184497

14. Zhipeng Huang, Niu Huimin (2012). The Mode of Combined Multi-speed Freight Trains under Separation of Passenger and Freight Transport. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 43(6), 709–717. DOI:10.1016/j.sbspro.2012.04.144

15. Rotoli Francesco, Malavasi Gabriele & Ricci Stefano (2016). Complex railway systems: capacity and utilisation of interconnected networks. *European Transport Research Review* 8(4), 21-29. DOI:10.1007/s12544-016-0216-6

16. Hamed Pouryousef, Pasi Lautala, Thomas White (2015). Railroad capacity tools and methodologies in the U.S. and Europe. *Journal of Modern Transportation*. 23(1), 30–42. DOI 10.1007/s40534-015-0069-z

17. Allan Woodburn (2017). The impacts on freight train operational performance of new rail infrastructure to segregate passenger and freight traffic. *Journal of Transport Geography*, 176-185. DOI:10.1016/j.jtrangeo.2016.12.006

18. Dinger M, Lai YC, Barkan C. (2009) Impact of train type heterogeneity on single-track railway capacity. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 41–49. <https://doi.org/10.3141/2117-06>

19. Lai YC, Lin YJ, Cheng YF (2014) Assessment of capacity charges for shared-use rail lines. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 62–70. DOI:10.3141/2448-08

20. Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects [online cit.: 2021-06-27]. Available from: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf. doi:10.2776/97516

21. Dac Criteria for Evaluating Development Assistance [online cit.: 2021-06-27]. Available from: <https://www.oecd.org/dac/evaluation/49756382.pdf>

22. Results-Based Management approach as applied at UNESCO [online cit.: 2021-06-27]. Available from: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000177568>

23. Kurhan D., Kurhan M. (2019). Modeling the Dynamic Response of Railway Track. *IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering*. Vol. 708. – p. 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/708/1/012013.

24. Dinger M, Lai YC, Barkan C (2009) Impact of

train type heterogeneity on single-track railway capacity. *Transportation Res. Record: J. Transportation Res. Board* 2117, 41–49.

25. Ján Ližbetin, Ján Ponický, Vladislav Zitrický (2016). The Throughput Capacity of Rail Freight Corridors on the Particular Railways Network. Ukupan izravni kapacitet koridora željezničkog prijevoza na posebnim mrežama željeznica. «*Naše more*» 63(3), 161-169. DOI 10.17818/NM/2016/SI16

26. Kurhan M., Kurhan D., Husak M., Hmelevska N. (2022). Increasing the Efficiency of the Railway Operation in the Specialization of Directions for Freight and Passenger Transportation. *Acta Polytechnica Hungarica* 19(3), 231-244. DOI: <http://dx.doi.org/10.12700/APH.19.3.2022.3.18>

27. Гетьман Г. К. Теорія електричної тяги. Монографія у 2 т. / Г. К. Гетьман – Дн-вськ: Вид. Маковецький, 2011. Т. 1.- 456 с.

28. Артемчук, В. В. Необхідні умови в задачі векторної оптимізації для функціоналів стосовно відновлювальних технологій / В. В. Артемчук, А. А. Босов // Вісн. нац. техн. ун-ту «ХП». Серія : Нові рішення в сучасних технологіях: сб. наук. пр. – Харків, 2012. – Вип. 34. – С. 41–49. <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/16292>

29. Курган Д. М. Вплив стану залізничної ділянки і структури поїздопоту на життєвий цикл колії / Д. М. Курган, І. О. Бондаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип.19. – С. 78-83.

30. Корженевич І. П. Знайомство з роботою в програмі MowerRW [Електронний ресурс] / І. П. Корженевич. – 2011. – 12 с. – Режим доступу: http://www.brailsys.com/MoveRW_0.htm

31. Корженевич І. П. Знайомство з роботою в програмі RWPlan [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://brailsys.com/>, http://www.brailsys.com/RWPlan_0.htm

32. Гусак М.А., Новік Р.Б., Хмелевська Н.П., Мунтян А.О. Визначення раціональних маршрутів для підвищення рівня організації перевезень та управління логістичними системами: збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської наукової конференції «Логістика і транспортна безпека: проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів, загроз» (с. 32-36). 28 жовтня 2022 р. – УДУНТ, Дніпро: 2022.

Надійшла до редколегії 26.04.2023.

Прийнята до друку 12.05.2023.

INCREASING THE EFFICIENCY OF CARGO AND PASSENGER TRANSPORTATION ON LINES WITH PARALLEL RUNS

Purpose. The purpose of the work is to determine measures to improve logistics operations with the specialization of directions for cargo and passenger transportation by transferring part of the transit cargo flow to parallel routes. Solving the problem of choosing a rational distribution of freight and passenger transportation depending on the specialization of directions will allow to optimize the use of throughput and transportation capacity and investments in infrastructure development. **Method.** Optimization of the transport process during mixed transportation involves the possibility of separating cargo traffic from passenger traffic. The proposed method involves solving the problem of choosing a rational distribution of cargo and passenger transportation depending on the specialization of directions. The idea of such demarcation is based on the fact that on the railway network it is possible to distinguish stations between which there are several parallel train routes. The research was carried out on the railway network connecting Lviv and Kyiv. When solving the problem, various indicators were considered: the length of the route, the time of movement, the mechanical operation of the locomotive, the load on the track, and others. In addition, the boundary conditions were taken into account: the volume of passenger traffic, cargo traffic, the carrying capacity of sections and the permissible speed of train movement. **Results.** A mathematical model of the redistribution of train flows on the railway network has been developed, which ensures the rational operation of the railway track with minimal costs for the reconstruction of the railway. **Scientific novelty.** It has been established that in the case of traffic separation, the timing of repairs may be different due to lower traffic intensity, which allows you to focus on specific types of repair work, and not on all types of work at the same time. Although the general principles of the periodicity of repairs may remain the same in both cases, periodicity schemes may differ depending on many factors, in particular, the intensity of operation, the technical condition of the vehicle, the timing of repairs and the availability of specialized personnel. **Practical significance.** With the application of the new approaches proposed by the authors to solving the tasks, schemes for the rational distribution of cargo and passenger transportation at the closed landfills of the regional branches of the South-Western and Lviv Railways were established, which will allow determining measures to improve logistics operations and reduce operating costs for the transportation of cargo and passengers.

Key words: railway transportation, transportation specialization, distribution of transportation, cargo flow, logistics, rolling stock, operational expenses, optimization

УДК 656.225 : 656.615

М. І. БЕРЕЗОВИЙ^{1*}, Я. В. БОЛЖЕЛАРСЬКИЙ^{2*}, С. В. ГРЕВЦОВ^{3*}, С. В. БОРИЧЕВА^{4*}

^{1*} Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, ел. пошта: m.i.berezoviy@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-6774-6737

^{2*} Каф. «Залізничного транспорту», Інститут механічної інженерії і транспорту Національного університету «Львівська політехніка», вул. Професорська, 1, м. Львів, Україна, 79000, тел. +38 (050) 678 15 03, ел. пошта: Yaroslav.V.Bolzhelarskiy@lpnu.ua, ORCID 0000-0002-4787-1781

^{3*} Каф. «Транспортних технологій», Інститут механічної інженерії і транспорту Національного університету «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 32, м. Львів, Україна, 79052, тел. +38 (067) 771 77 59, ел. пошта: serhii.v.hrevtsov@lpnu.ua, ORCID 0000-0003-2925-4293

^{4*} Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 677 37 57, ел. пошта: s.v.borycheva@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-2064-6621

АНАЛІЗ ЛОГІСТИЧНИХ РИЗИКІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ ЗЕРНОВОЇ ГРУПИ В ЄВРОПЕЙСЬКІ ПОРТИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОНТРЕЙЛЕРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Мета. З початком повномасштабної агресії росії проти України наша держава втратила існуючі налагоджені маршрути експорту зернових вантажів. Експорт зерна та продуктів перемелу базувався на доставці зерна сухопутними видами транспорту та в незначних обсягах річковим транспортом до морських портів з подальшою перевалкою на морський транспорт. Традиційними ринками збуту українського зерна та продуктів перемелу є Азія, Африка та Близький Схід. Обмеженість європейського ринку зерна вимагає пошуку нових шляхів доставки зернових вантажів до ринків збуту. У якості альтернативних морських портів для перевалки зернових вантажів розглядаються польські порти Гданськ, Гдиня, Щецин та румунський порт Констанца. На фоні проблем перетину кордону залізничним та автомобільним транспортом та необхідності мінімізації транспортно-логістичних витрат виникає задача пошуку альтернативних варіантів перевезення з мінімальною тривалістю перетину кордонів і одним з варіантів є застосування контрейлерної технології перевезень. Метою дослідження є оцінка логістичних ризиків використання контрейлерної технології для підвищення ефективності мультимодального процесу перевезення зернових вантажів. **Методи.** Комплексний аналіз технічного оснащення та технології роботи залізничного транспорту у взаємодії з автомобільним, інфраструктури прикордонних переходів та технології їх перетину при виконанні вантажних перевезень, статистичний аналіз. **Результати.** На підставі аналізу основних схем перетину кордону при перевезенні зернових вантажів та логістичних ризиків, що при цьому виникають, було обрано наступну схему. Зерно автомобільним транспортом доставляється до залізничної станції Хирів, до якої заходить суміщена колія 1435-1520 мм, а також є колії шириною 1435 мм, де здійснюється завантаження автопоїздів на платформи контрейлерного поїзда системи Ro-La. Подальше перевезення здійснюється залізничним транспортом до порту без перевантаження та зміни візків. Час перевезення автопоїздів може бути суміщеним з відпочинком водія у відповідності з режимом роботи за тахографом. **Практична значимість.** Організація на станції Хирів РФ «Львівська залізниця» пункту навантаження автопоїздів на залізничні платформи системи Ro-La дозволить прискорити термін доставки зернових вантажів з України до одного з портів Чорного чи Балтійського морів та скоротити загальні логістичні витрати.

Ключові слова: зерно, заміна візків, перевантаження, мультимодальні перевезення, контрейлерний поїзд, система Ro-La, морський порт, перетин кордону.

Вступ

З початком повномасштабної агресії росії проти нашої держави і блокування чорноморських морських портів питання експорту зернових набуло критичного значення не лише для України, але й для багатьох країн світу. Повноцінної реалізації Чорноморської зернової угоди досягти не вдалося. За інформацією мультимедійної платформи іномовлення України «Укрінформ»

[1] з 29 квітня до кінця травня цього року жодному судну не було надано дозвіл на захід в порт «Південний», хоча це один з трьох портів перевалки зерна, що передбачений зерною угодою.

За інформацією Української зернової асоціації (УЗА) Україна через простій суден у чергах так званого «зернового коридору» зазнала збитків, що перевищують 1 млрд доларів США [2].

Негативним результатом у т.ч. наведених

вище проблем стало зниження фактичних обсягів експорту Україною зерна за 2022/2023 маркетинговий рік (липень 2022 – червень 2023) у порівнянні з минулим маркетинговим роком. Станом на 21 квітня 2023 року експорт зерна склав 40,557 млн тонн, що на 10,8%, або на 4,918 млн тонн менше, ніж за минулорічний аналогічний період [3].

Як відомо основний обсяг експорту зерна з України спрямовується на ринки Азії, Африки та Близького Сходу через морські порти Великої Одеси, Херсон та Миколаїв. Експорт через західні сухопутні переходи був незначним, а його обсяги обмежувались внутрішніми потребами країн Євросоюзу.

Намагання українських експортерів зерна з початком військової агресії росії спрямувати вантажопотоки зернових та продуктів перемелу у напрямку західних сухопутних переходів та встановлення демпінгових цін призвели до введення Євросоюзом тимчасових заборон на експорт. Такі заборони спрямовані, перш за все на захист європейських аграріїв, що зіштовхнулися зі значним рівнем конкуренції з боку українських експортерів сільгосппродукції та намаганням її збуту безпосередньо в Європі, зокрема країнах Східної Європи. Так, виконавчий орган ЄС Європейська комісія, з 2 травня заборонила постачання пшениці, кукурудзи, ріпаку та насіння соняшнику з України до п'яти країн – Болгарії, Угорщини, Польщі, Румунії та Словаччини. Заборона діє до 5 червня. Слід відзначити, що транзит української сільськогосподарської продукції через перелічені вище країни дозволений. Таким чином, зернова продукція може бути реалізована в країнах Західної Європи чи за межами європейського континенту [4].

У зв'язку з цим та, зважаючи на обмеженість європейського ринку зерна, особливо гостро постало питання пошуку нових шляхів перевезення зернових вантажів на експорт саме через європейські морські порти і одним з можливих варіантів є перевалка зерна із сухопутного транспорту на морський у портах Європейського Союзу.

Морськими портами в Польщі, через які можлива організація транзиту українського зерна до традиційних ринків збуту є порти Гданськ, Гдиня, Щецин, у Румунії – порт Констанца. Морські порти у Північному морі розташовані на такій відстані від кордонів України, яка через високу вартість перевезення може нанести серйозної шкоди економіці експорту продукції.

У зв'язку з цим залишається актуальною про-

блема зменшення витрат протягом всього логістичного ланцюга доставки. Однією з найважливіших є ланка перетину кордону.

Слід відзначити, що після початку воєнних дій експортні вантажні потоки, що традиційно рухалися через морські порти, було спрямовано у напрямку західних сухопутних переходів, причому це стосується не тільки зернових вантажів. На фоні обмеженої пропускної здатності пунктів перестановки вагонів та перевантажувальних терміналів зросли черги із завантажених вагонів в очікуванні перетину кордону та виконання вантажних операцій.

Автомобільні перевезення з однієї сторони є у приведеному розрахунку більш дорогими у порівнянні із залізничними, з іншої – залежать від пропускної спроможності пунктів перетину кордону, яка теж виявилось недостатньою для підвищених обсягів вантажопотоків та пасажиропотоків.

Постановка завдання дослідження

Одним із ефективних способів прискорення доставки зернових вантажів та зменшення її вартості є використання контрейлерних технологій. На території України на суміжних із східно-європейськими територіями є певна мережа залізничних колій шириною 1435 мм та суміщеної колії 1520-1435 мм. Це дає можливість організації мультимодальних залізнично-автомобільних перевезень. При цьому територією України зернові вантажі перевозяться автомобільним транспортом до пункту постановки автомобілів з напівпричепами чи напівприцепів на європейські залізничні платформи, та далі – територією Європи залізничним транспортом.

Завданням дослідження, результати якого наведені у даній статті, є аналіз використання можливих контрейлерних технологій, а саме варіантів перевантаження та використання вагонного парку для здійснення мультимодальних перевезень. Супутнім завданням є аналіз логістичних ризиків, що можуть призводити до збільшення вартості та терміну доставки вантажу в залежності від схеми доставки та вибору технології вантажних робіт.

Мета дослідження

Підвищення ефективності мультимодального перевізного процесу зернових вантажів у міждержавному сполученні шляхом оцінки логістичних ризиків при виборі технології перетину Державного кордону України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розглядаючи внесок вітчизняних вчених у сфері організації перевезень зернових вантажів необхідно, в першу чергу, відзначити роль наукової школи Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна та його правонаступника – Українського державного університету науки і технологій. Вченими згаданих вишів за останні роки опубліковано понад 100 робіт, присвячених тим чи іншим аспектам перевезень зернових вантажів залізничним транспортом.

Ці наукові праці присвячені широкому колу питань – новим технологіям перевезень зернових вантажів, конструкції вантажних механізмів та технології навантаження зерна у залізничні вагони на вузлових елеваторах, технології міжнародних перевезень тощо.

Так, у роботі [5] розглянуто перспективи використання технології транспортування зернових вантажів у контейнерах, проаналізовано проблеми, що виникають, і надано оцінку економічної ефективності залізничних контейнерних перевезень зерна у порівнянні з технологією його перевезення у вагонах-зерновозах. В сучасних умовах застосування наведеної технології на залізничному транспорті не дасть якогось помітного ефекту через неможливість обійти перевантажувальні прикордонні термінали чи пункти перестановки вагонів. Перевезення таких контейнерів автомобільним транспортом є неефективним через неповне використання вантажопідйомності контейнерів і черги на кордонах.

Роботи [6, 7] присвячені бімодальній технології перевезення зерна. Теоретичні дослідження існуючої структури парку вагонів-зерновозів, особливостей функціонування припортових залізничних станцій при організації перевезень зерна кільцевими маршрутами, а також оцінка можливості підвищення конкурентоспроможності бімодальних перевезень дозволили сформулювати певні висновки:

- бімодальні технології перевезення зерна є конкурентними на відстанях 200-500 км;
- застосування бімодальної технології у вказаному діапазоні відстаней дозволяє зменшити собівартість перевезень на 10-15 %;
- маршрутизація перевезень є ефективною за наявності рухомого складу та інфраструктури для формування маршрутів;
- ефективною є технологія формування маршрутів із бімодальних платформ з контейнерами на площадках у безпосередньому наближенні до зерносховищ виробників.

Однак можливість застосування бімодальної

технології в Україні в найближчій перспективі є досить сумнівною. З однієї сторони це потребуватиме значних інвестицій, з іншої – бімодальні напівпричепа не сертифіковані в Україні, що вимагає певного часу, крім того необхідно забезпечити дозволені в Україні навантаження на вісь при автомобільних перевезеннях.

Заслужують уваги дослідження, результати яких наведені в роботі [8]. Стаття присвячена створенню експортно-орієнтованої мережі елеваторів в Україні. Метою даної роботи є пошук шляхів підвищення ефективності експортних залізничних перевезень зернових вантажів в Україні за рахунок впровадження відправницької маршрутизації й концентрації навантаження зерна на вузлових елеваторах. На основі сучасного математичного апарату авторами розроблена методика вибору вузлових станцій та районів концентрації навантаження зернових вантажів на мережі залізниць України з урахуванням економічної ефективності процесу. Однак розглянуті напрямки перевезень базуються на традиційній технології експортування зерна – через морські порти, яка, як було сказано раніше, не може бути реалізована в даний час.

Як відомо, перші регулярні контрейлерні поїзди на українських залізницях були запущені ще в 2003 році. У довоєнний час АТ «Укрзалізниця» декларувала можливість здійснення контрейлерних перевезень у міжнародному сполученні двома поїздами – «Вікінг» (Литва – Білорусь – Україна – Болгарія/Молдова/Румунія/Грузія – Азербайджан) та «Ярослав» (Україна – Польща). Однак фактично контрейлерні перевезення на вказаних маршрутах не виконувалися. Причиною цього стала недосконалість технології перевізного процесу та висока вартість перевезень. Не дивлячись на те, що одним зі стратегічних напрямків Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року [9] є розвиток ефективної конкурентоспроможної мультимодальної національної транспортної системи, саме контрейлерні перевезення як у внутрішніх, так у міждержавних сполученнях розвитку не отримали.

Таким чином, аналіз наукових джерел, присвячених проблемі перевезень зернових вантажів, показав, що не дивлячись на значну кількість робіт, присвячених цьому питанню, взаємозв'язок між вимогами інтеперабельності та трансграничними перевезеннями висвітлено недостатньо.

Основний матеріал дослідження

Правова база міжнародних контрейлерних перевезень.

Основоположним документом, що регламентує основні принципи комбінованих перевезень у країнах ЄС, є Директива 92/106/ЕЕС від 7 грудня 1992 року [10].

В Директиві [10], зокрема, вказано, що зростання внутрішнього ринку ЄС призводить до зростання обсягів перевезень та необхідності забезпечення оптимального управління транспортними ресурсами. Акцентовано увагу на проблемах перевантаження автодоріг, охороні навколишнього середовища та безпеці дорожнього руху і, як наслідок, потребі подальшого розвитку комбінованих перевезень у якості альтернативи автомобільним перевезенням.

Директивою [10] передбачене державне регулювання мультимодальних перевезень, наприклад, відшкодування податків на транспортні засоби, пропорційно відстані, яку вказані засоби долають за допомогою залізничного або автомобільного транспорту та звільнення автоперевізників від певної частини податків за участь у комбінованих перевезеннях.

В Україні перевезення контрейлерів у міжнародному сполученні здійснюються згідно з пунктом 16 розділу III Правил перевезень вантажів (додаток 1 до СМГС).

У рамках імплементації Директиви [10] в Україні прийнято Закон «Про мультимодальні перевезення» [11], а стаття 6 Закону узгоджена з Директивою [10].

Основні схеми перетину кордону при перевезенні зернових вантажів Україна – ЄС.

Таким чином, перетин Державного кордону України завантаженими транспортними засобами можливий за наступними принциповими схемами:

- схема №1. Залізничні перевезення територією України до прикордонної станції з подальшою заміною візків 1520 мм на 1435 мм і подальше перевезення до пункту призначення в українських вагонах;

- схема №2. Залізничні перевезення територією України до прикордонного перевантажувального пункту з подальшим перевантаженням в європейські вагони і подальше перевезення до пункту призначення в європейських вагонах;

- схема №3. Автомобільні перевезення від пункту навантаження зерна в Україні до пункту призначення в Європі без перевантаження на шляху прямування;

- схема №4. Автомобільні перевезення від пу-

нкту навантаження зерна в Україні до прикордонного перевантажувального пункту з подальшим перевантаженням в європейські вагони і подальше перевезення до пункту призначення в європейських вагонах;

- схема №5. Автомобільні перевезення від пункту навантаження зерна в Україні до прикордонної станції, навантаження напівпричепів чи автопоїздів у повному складі на європейські залізничні платформи і подальше перевезення до пункту призначення в європейських вагонах.

Аналіз основних схем перетину кордону при перевезенні зернових вантажів Україна – ЄС.

Схема №1 є найпростішою з точки зору організації перевізного процесу і однією з двох схем, що використовуються на даний час. Основними ризиками такої схеми перевезень є необхідність відбору вагонів з габаритом рухомого складу, який би дозволив їх пропуск європейськими залізницями та обмежена пропускна спроможність пунктів перестановки.

Наразі на українському ринку вагонів є певна пропозиція зерновозів моделі 19-752, з габаритом рухомого складу 1-ВМ, що може експлуатуватися на залізницях країн Євросоюзу, з конструкцією гальмової системи, що відповідає вимогам ЄС та адаптована до ведення в поїздах європейськими локомотивами. Існують також і пропозиції оригінальних вагонних візків колії 1435 мм серії Y25Ls, що повністю адаптовані для їх постановки під українські вагони.

Складніша ситуація з пунктами перестановки вагонів: зараз в експлуатації лише 4 такі пункти з сумарною добовою пропускною спроможністю близько 270 вагонів.

Схема №2 не потребує заміни візків. Одним із ризиків такої схеми є обмежена переробна спроможність перевантажувальних зернових терміналів, яка в сумі не перевищує 730 вагонів на добу або близько 15...16 млн т зерна на рік.

Однак необхідно враховувати і можливості приймаючої сторони. До ризиків транспортування зернових вантажів залізницями Євросоюзу необхідно віднести дефіцит поїзних локомотивів та вагонів зерновозів. Залізничні адміністрації країн Європи дуже важко переконувати у необхідності збільшення парку транспортних засобів.

Необхідно відзначити, що дана схема також використовується на теперішній час, але має слабкі перспективи до реального нарощування обсягів перевезень.

Схема №3 є найдорожчою за вартістю доста-

вки однієї тонни вантажу, причому саме при пересуванні автодорогами країн Євросоюзу вартість одиниці транспортної роботи значно вища, ніж в Україні. До ризиків використання такої схеми перевезень необхідно віднести важко прогнозовані простой при перетині кордону, пов'язані як з чергами, так і з акціями протесту з боку європейських фермерів, що спрямовані на захист власного ринку збуту зернових.

Схема №4 пов'язана з ризиками, характерними для схеми №2, тобто навантажувальними можливостями прикордонних терміналів. Збільшення обсягів заводу вантажу на прикордонні зерносклади обмежуються максимально можливими обсягами відправлення зернових у європейських вагонах.

Використання **схеми №5** також пов'язане з ризиками, наведеними нижче.

Як відомо контрейлерна технологія може передбачати так звані «вертикальну» та «горизонтальну» схеми перевантаження. Перша з них потребує використання для вантажних операцій кранового устаткування і є досить сумнівною для впровадження в найближчому майбутньому через необхідність значних інвестицій в будівництво перевантажувальних терміналів та значного часу на реалізацію проекту. Супутніми проблемами є обмежена кількість вагонів з «кишенями» для встановлення коліс напівпричепів, так званих вагонів «rocket wagon». Деякі європейські виробники, наприклад французька компанія FLEISCHMANN на теперішній час припинили виробництво таких вагонів, наявна кількість вагонів недостатня для освоєння нових обсягів перевезення зерна.

В пункті призначення виникає ще одна проблема – потрібна додаткова кількість автомобільних тягачів для подавання напівпричепів під розвантаження та повернення їх до інтермодального терміналу.

Використання українських платформ для перевезення напівпричепів наражається на необхідність заміни візків, про що було сказано раніше.

Якщо розглядати контрейлерні технології з «горизонтальним» перевантаженням, то найбільш прийнятною з нашої точки зору є система Ro-La – скорочення від німецького терміну Rol-lende Landstrasse («шосе, що котиться»).

Технічна характеристика контрейлерної системи Ro-La.

Система Ro-La базується на використанні спеціалізованих восьмиосних платформ з низьким рівнем підлоги Saadkms (рис. 1). Поїзд складається із однотипних залізничних платформ, які утворюють суцільний настил, висота якого від головок рейок становить для різних конструкцій 300...450 мм. Основні технічні характеристики платформ Saadkms наведено в табл.1.

Таблиця 1

Основні параметри платформи Saadkms

Параметр	Значення
Довжина вагону між осями зчепів, мм	190000
Ширина кузова, мм	2 520
Висота платформи, мм,	310
Вантажопідйомність, т	44
Маса тари вагону, не більше, т	18,5
Кількість осей	8
Діаметр коліс, мм	370
Конструкційна швидкість, км/год	160
Строк служби, років	30

Автопоїзди своїм ходом заїжджають на поїзд та закріплюються. Водії під час руху поїзда знаходяться в пасажирському вагоні, включеному в состав поїзда. Заїзд автомобілів на платформи при завантаженні здійснюється з однієї сторони составу, а зїзд при розвантаженні – з іншої.



Рис. 1. Зовнішній вигляд вагону Saadkms

Основні параметри пасажирського вагону супроводження моделі 305Ad2

Параметр	Значення
Довжина вагону між буферами, мм	26 400
Ширина кузова, мм	2824
База вагону, мм,	19 000
Габарит	UIC
Маса тари вагону, не більше, т	60,5
Кількість місць для пасажирів, шт.	30
Кількість купе для пасажирів, шт.	10
Кількість службових купе, шт.	1
Кількість купе відпочинку провідників, шт.	1

Під час вантажних операцій використовуються пересувні рампи, які можуть бути встановлені вилочними автонавантажувачами. Саме використання вагонів з низьким рівнем підлоги, утворення суцільного настилу для проїзду автомобілів та пересувні рампи є ключовими технологічними рішеннями. Навантажувально-розвантажувальні роботи на європейських залізницях здійснюються за принципом FIFO (First In First Out), тобто перший завантажений на поїзд автомобіль першим розвантажувється на терміналі призначення.

До автомобілів також висуваються габаритні обмеження для дотримання габариту навантаження європейських залізниць. Повна висота автопоїзда не повинна перевищувати 4000 мм, ширина – 2600 мм, а довжина – 18750 мм.

У якості вагону для проїзду водіїв автомобілів може бути обраний спальний вагон моделі 305Ad2, що будується в Польщі.

Вказаний вагон призначений для внутрішнього і міжнародного сполучення коліями 1435 і 1520 мм зі швидкостями 200 і 160 км/год відповідно. Основні параметри вагону наведено в табл. 2.

Таким чином кількість платформ у складі контейнерного поїзда може бути обмежена кількістю спальних місць у вагоні супроводження, довжиною складу чи силою тяги поїзного локомотива в сукупності з профілем колій за маршрутом слідування.

Існуючі на європейських залізницях термінали Ro-La розташовуються, як правило, з примиканням навантажувально-розвантажувальної колії до головної колії, мають зручні автомобільні під'їзди та оснащені стоянками для транспортних засобів, які очікують навантаження.

Кількість вагонів у складі контейнерних поїздів, що експлуатуються на залізницях ЄС, не перевищує, як правило, 20-22 вагонів. Така кількість вагонів відповідає кількості спальних місць за умови розташування в купе двох осіб, довжина поїзда не перевищує довжину приймально-відправних колій, маса поїзда дозволяє у більшості випадків використовувати один поїзний односекційний шестивісний локомотив.

Принципова схема терміналу Ro-La [12] наведена на рис. 2.

Однією із суттєвих переваг контейнерної технології Ro-La є скорочення терміну доставки вантажів шляхом суміщення відпочинку водія з перевезенням автопоїзда залізницею.

Загальний опис контейнерного маршруту та коротка історична довідка.

Далі наведено один з можливих варіантів перевезення зернових вантажів до польського морського порту Гданськ. При цьому розглядається наступна схема перевезення.

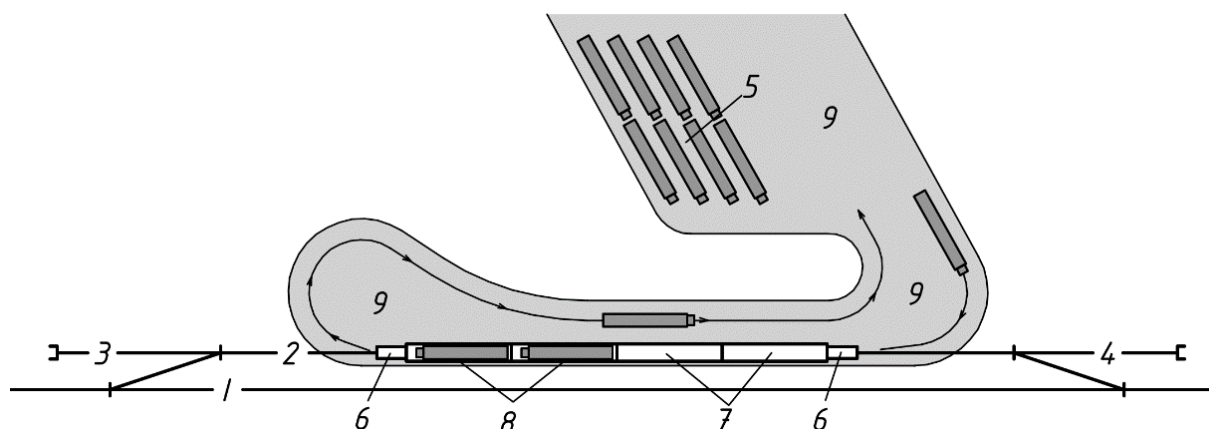


Рис. 2. Термінал Ro-La

1 – головна колія; 2 – навантажувально-розвантажувальна колія; 3, 4 – тупикові колії відстою поїзного локомотива з пасажирським вагоном для водіїв; 5 – стоянка автопоїздів, що очікують вантажні операції; 6 – торцева рамп; 7 – порожні платформи; 8 – завантажені платформи; 9 – автомобільні проїзди

Зернові вантажі автомобільним транспортом доставляються до міста Хирів Самбірського району Львівської області – парку Хирів-Посада залізничної станції Хирів Регіональної філії «Львівська залізниця», де буде здійснюватися завантаження автопоїздів на залізничні платформи контейнерного поїзда.

Прикордонний і митний контроль буде проводитися під час завантаження митним постом і пунктом пропуску через державний кордон «Хирів», що саме і розташований у парку Хирів-Посада.

На станції Нижанковичі Регіональної філії «Львівська залізниця», що розташована у безпосередній близькості до кордону з Республікою Польща, необхідно передбачити зупинку поїзда для проведення огляду прикордонною службою перед перетином кордону. На станції Перемишль-Баконьчице Польських державних залізниць (РКР), яка є першою залізничною станцією після перетину поїздом кордону, буде проводитися прикордонний і митний контроль відповідними службами республіки Польща й далі поїзд буде слідувати до порту Гданськ за маршрутом, розробка якого не входить в обсяг даного дослідження.

Станція Перемишль-Баконьчице введена в експлуатацію в 1872 році, в теперішній час виконує функцію бази відстою пасажирських вагонів поїздів РКР Intersity. На станції розташоване локомотивне депо, в якому виконуються контрольні технічні обслуговування вантажних та пасажирських локомотивів.

Залізничні станції Нижанковичі та Хирів побудовані в 1872 році у ході будівництва Першої Угорсько-Галицької залізниці, яка з'єднувала польське місто Перемишль з містом Хирів і далі, через залізничну станцію Старжава Регіональної

філії «Львівська залізниця», Лупківський перевал з Угорщиною.

Загальна характеристика станції Хирів та прилеглих до станції підходів.

Загальна схема взаємного розташування станції Хирів, підходів та прикордонних переходів наведена на рис. 3.

На ділянці довжиною 13 км від станції Баконьчице до станції Нижанковичі укладена колія 1435 мм, на ділянці Нижанковичі – Хирів довжиною 24 км укладена суміщена чотирьохрейкова колія 1520 – 1435 мм. В парку Хирів-Посада укладено одну суміщену колію і по дві колії шириною 1435 та 1520 мм. Між парками Хирів-Посада та Хирів укладено дві головні з'єднувальні колії шириною 1435 та 1520 мм.

В парку Хирів укладено одну суміщену, дві колії шириною 1435 мм і три колії шириною 1520 мм. Від парку Хирів у бік Державного кордону до станції Старжава укладено суміщену чотирьохрейкову колію.

У безпосередній близькості від початку маршруту – станції Хирів – розташовані митний термінал Перемишль і залізничний пункт пропуску Перемишль, а також митний пункт і залізничний пункт пропуску Хирів, що дозволить проводити митне оформлення вантажів та прикордонний огляд.

Таким чином, наявна залізнична інфраструктура дозволяє приймати контейнерні поїзди зі станції Перемишль-Баконьчице Польських державних залізниць у парк Хирів-Посада, здійснювати навантажувально-розвантажувальні операції та відправляти поїзди у зворотному напрямку у бік станції Баконьчице.

До парків Хирів і Хирів-Посада примикають підходи зі станції Самбір Регіональної філії «Львівська залізниця».

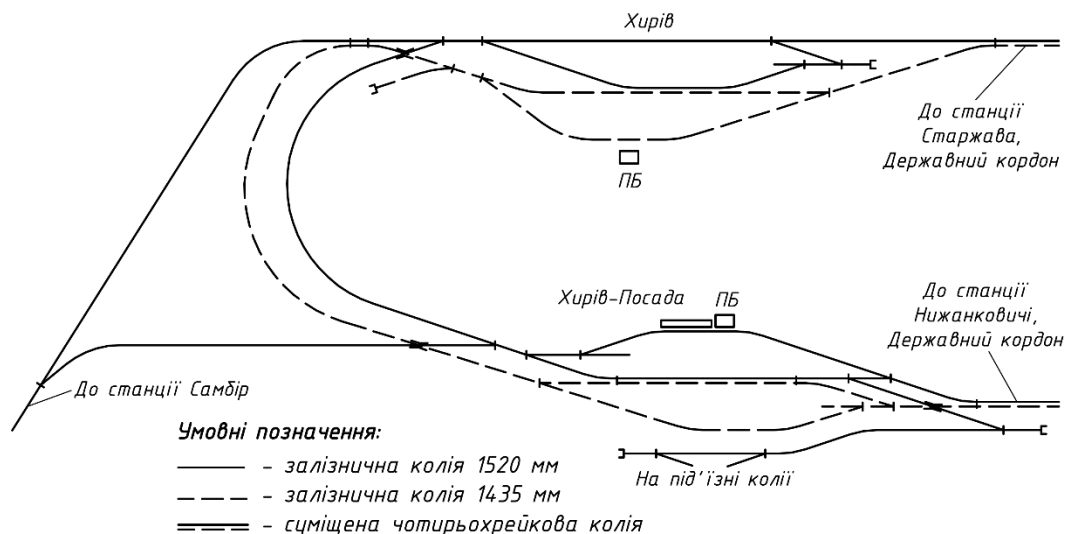


Рис. 3. Схема станції Хирів та прилеглих підходів

Станція Хирів та прилеглі дільниці в даний час являються малодіяльними і обслуговуються тепловозною тягою. Вантажний та пасажирський рух здійснюється нерегулярно та епізодично.

У той же час організація на станції контрейлерного терміналу дозволить з мінімальними

витратами забезпечувати як вантажні операції, так і перетин Державного кордону контрейлерними поїздами.

Розробка технології роботи контрейлерного терміналу Ro-La на станції Хирів.

Схема парку Хирів-Посада станції Хирів наведена на рис. 4.

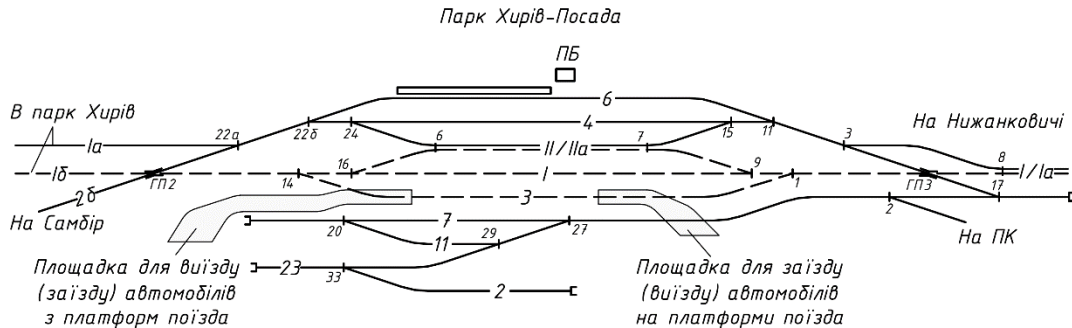


Рис. 4. Схема колійного розвитку парку Хирів-Посада

Контрейлерний поїзд системи Ro-La формується з постановкою пасажирського вагону супроводження в голові складу за поїзним локомотивом. В залежності від особливостей маршруту до поїзда можуть бути висунуті вимоги по постановці автомобілів напівпричепом у напрямку руху.

Прийом контрейлерного поїзда доцільно організувати на колію №3 для забезпечення найзручнішого з'їзду та заїзду автопоїздів. Для цього необхідно підготувати дві площадки в одному рівні з головкою рейки, мінімальна відстань між якими має бути не більша, ніж довжина поїзда. Для постановки пересувних рампи достатньо мати один автотранспортувач, що буде переміщувати рампи спочатку в голові чи хвості поїзда у залежності від схеми розстановки автомобілів.

Слід також забезпечити постановку поїзда для виїзду та заїзду автомобілів на прямій ділянці колії.

Окрім цього на прилеглій до станції території необхідно відповідно облаштувати зону відстою автомобілів в очікуванні митних та прикордонних операцій та в очікуванні прибуття поїзда.

Для підвищення ефективності перевізного процесу рух поїздів необхідно здійснювати за графіком з плануванням підведення автомобілів для навантаження на контрейлерний поїзд.

Послідовність технологічних операцій з обробки контрейлерного поїзда на станції Хирів наступна.

Після прибуття, встановлення та закріплення поїзда поїзний локомотив виїздить з колії разом з пасажирським вагоном на колію №1б і осаджує

вагон на колію №1а суміщеної чотирьохрейкової колії.

В цей час в залежності від схеми встановлення автомобілів на вагонах встановлюється рампа в голові чи хвості поїзда для виїзду автомобілів, а потім з іншої сторони складу для заїзду автомобілів.

Поїзний локомотив по головній колії №1 переставляється через горловину з боку станції Нижанковичі на колію №1а, де знаходиться пасажирський вагон супроводження.

По завершенню вантажних операцій рампи прибираються з колії, а під склад подається поїзний локомотив з пасажирським вагоном через головну суміщену чотирьохрейкову колію №1а.

Передбачається, що митні операції з автомобілями будуть здійснюватися до навантаження автомобілів на поїзд та після вивантаження автомобілів, що прибули.

Відправлення поїзда виконується після вантажних операцій, закріплення автомобілів, технічного обслуговування та комерційного огляду складу і випробування автогальм.

Визначення маси складу контрейлерного поїзда.

Маса складу поїзда визначається за формулою:

$$Q = n_{пл} (T_{пл} + P_{пл}) + T_{пас}, \quad (1)$$

де $n_{пл}$ – кількість платформ у поїзді, прийнято 20 платформ;

$T_{пл}$ – маса тари платформи, т;

$P_{пл}$ – вантажопідйомність платформи, т;

$T_{пас}$ – маса тари пасажирського вагону супроводження, т.

Для напрямку Україна – ЄС маса составу становитиме

$$Q = 20 \cdot (18,5 + 44) + 60,5 = 1311 \text{ т.}$$

Отриманий результат підтверджує можливість перевезення автопоїздів одним шестівісним локомотивом контрейлерного поїзда системи Ro-La між станцією Хирів та морським портом Гданськ.

Висновки

В результаті виконаних досліджень логістичних ризиків перевезення зернових вантажів з України до порту Гданськ на польському узбережжі Балтійського моря отримано наступні висновки.

1. У якості кінцевої станції контрейлерного маршруту на території України може бути обрана станція Хирів Регіональної філії «Львівська залізниця», що має зв'язок з Польськими державними залізницями колією шириною 1435 мм.

2. З точки зору мінімальних капітальних вкладень на кінцевій станції маршруту доцільно обрати систему контрейлерних перевезень Ro-La. При цьому необхідно обладнати площадку відстою автомобілів в очікуванні виконання митних та прикордонних операцій і прибуття поїзда. Для виконання вантажних операцій слід на колії №3 парку Хирів-Посада обладнати площадки в одному рівні з головою рейки, придбати один автонавантажувач та дві пересувні рами.

3. Состав контрейлерного поїзда складається з 20-ти спеціалізованих платформ та одного пасажирського вагону супроводження. Маса составу становить 1311 т. Між станціями Хирів та Перемишль-Баконьчице для тяги пропонується використовувати односекційний тепловоз ST44, що є польською модифікацією тепловоза М62.

4. Вантажні операції на кінцевій станції контрейлерного маршруту Хирів та графік руху поїздів слід здійснювати за графіком.

5. Режим роботи поїзного локомотива Польських державних залізниць повинен забезпечувати перевезення поїзда від станції Перемишль-Баконьчице до станції Хирів і в зворотному напрямку з урахуванням вантажних, митних та прикордонних операцій за проміжок часу, що не перевищує тривалість неперервної роботи локомотивної бригади.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Свобода Р. Тимчасова заборона ЄС на експорт з України чотирьох видів агропродукції набрала чинності. *Радіо Свобода*. URL:

<https://www.radiosvoboda.org/a/news-zaborona-exportu-agroprodukciji-es/32389624.html>

2. Україна знизилася експорт зерна на 10,8% до 40,6 млн тонн з початку 2022/2023. *Agravery.com – аграрне інформаційне агентство*. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/ukraina-znizila-eksport-zerna-na-108-do-406-mln-tonn-z-pocatku-20222023>.

3. Ukrinform. Збитки України від простою суден у чергах «зернового коридору» перевищили \$1 мільярд - УЗА. *Укрінформ - актуальні новини України та світу*. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3713909-zbitki-ukraini-vid-prostou-suden-u-nergah-zernovogo-koridoru-perevisili-1-milard-uz.html>

4. Ukrinform. Попри заяви Росії зернова ініціатива повноцінно не працює - ЗМІ. *Укрінформ - актуальні новини України та світу*. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3714765-popri-zaavi-rosii-zernova-iniciativa-povnocinno-ne-pracue-zmi.html>

5. Перспективи експортних перевезень зернових вантажів у контейнерах / Р. В. Вернигора та ін. *Транспортні системи і технології перевезень: зб. наук. пр. Дніпров. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. 2018. № 16. С. 22–30.

6. Совершенствование зерновой логистики за счет внедрения бимодальных технологий / С. В. Мямлин та ін. *Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. 2017. № 17. С. 69–77.

7. Коробйова Р. Г., Рустамов Р. Ш., Гревцов С. В. Внедрение бимодальных технологий перевозки зерновых грузов в Украине. *Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. Лазаряна*. 2015. № 9. С. 29–34.

8. Kozachenko D., Vernigora R., Rustamov R. Creation of Export-Oriented Network of Grain Elevators in Ukraine. *Наука та прогрес транспорту*. 2017. No. 2 (68). P. 56–70.

9. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р : станом на 7 квіт. 2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-p#Text>

10. Directive 92/106/EEC. *Lexpacency.org*. URL: <https://lexpacency.org/eu/31992L0106/>

11. Про мультимодальні перевезення : Закон України від 17.11.2021 р. № 1887-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1887-20#Text>

12. Вісницький Б. Аналіз роботи терміналу комбінованих перевезень. Бидгощ : Фонд Європ. регіон. розвитку, 2020. 73 с.

Надійшла до редколегії 09.06.2023.

Прийнята до друку 20.06.2023.

ANALYSIS OF LOGISTIC RISKS OF TRANSPORTATION OF GRAIN GROUP LOADS TO EUROPEAN PORTS USING PIGGYBACK TECHNOLOGY

Purpose. Since the beginning of Russia's full-scale aggression against Ukraine, our state has lost the existing established routes for the export of grain cargoes. The export of grain and grinding products was based on the delivery of grain by land transport and, in small volumes, by river transport to seaports with subsequent transshipment to sea transport. The traditional sales markets for Ukrainian grain and grinding products are Asia, Africa and the Middle East. The limitation of the European grain market requires the search for new ways of delivering grain cargoes to sales markets. The Polish ports of Gdansk, Gdynia, Szczecin and the Romanian port of Constanta are being considered as alternative seaports for the transshipment of grain cargoes. Against the background of the problems of crossing the border by rail and road transport and the need to minimize transport and logistic costs, the task of finding alternative transportation options with the minimum duration of border crossing arises, and one of the options is the use of piggyback transportation technology. The purpose of the study is the estimation of the logistic risks of using piggyback technology to improve the efficiency of the multimodal process of grain cargo transportation. **Methods.** A comprehensive analysis of the technical equipment and work technology of railway transport in interaction with road transport, the infrastructure of border crossings and the technology of crossing them during cargo transportation, statistical analysis. **The results.** On the basis of the analysis of the main schemes of crossing the border during the transportation of grain cargoes and the logistic risks that arise, the following scheme was chosen. Grain is delivered by road to the Khyriv railway station, which is connected by a combined track of 1435-1520 mm, and there are also tracks with a width of 1435 mm, and where road trains are loaded onto the platforms of the Ro-La system piggyback train. Further transportation is carried out by rail transport to the port without overloading and changing carts. The time of transportation of road trains can be combined with the driver's rest in accordance with the working mode of the tachograph. **Practical significance.** The organization of a loading point for road trains on railway platforms of the Ro-La system at the Khyriv station of regional branch of «Lviv Railway» will allow to speed up the delivery of grain cargoes from Ukraine to one of the ports of the Black or Baltic Seas and reduce the overall logistic costs.

Keywords: grain, change of carts, transshipment, multimodal transportation, piggyback trains, Ro-La system, sea port, border crossing.

УДК 656.073:004.9

Є. Б. ДЕМЧЕНКО^{1*}, А. С. ДОРОШ^{2*}, І. Я. СКОВРОН^{3*}, В. О. БАЛАНОВ^{4*}

^{1*}Каф. «Транспортні вузли», ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 799 16 75, ел. пошта: e.b.demchenko@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-1411-6744

^{2*}Каф. «Транспортні вузли», ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 927 84 62, ел. пошта: a.s.dorosh@ust.edu.ua, ORCID-0000-0002-5393-0004

^{3*}Каф. «Транспортні вузли», ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (095) 230 50 34, ел. пошта: i.y.skovron@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-0697-2698

^{4*}Каф. «Управління експлуатаційною роботою», ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (063) 749 95 04, ел. пошта: v.o.balanov@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-9242-9802

ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ ТА СУЧАСНІ ЕЛЕКТРОННІ СЕРВІСИ У СФЕРІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Мета. Діджиталізація бізнес-процесів та впровадження прозорих і ефективних електронних сервісів для надання адміністративних послуг є одним з ключових державних пріоритетів України, реалізація якого сприяє євроінтеграційним процесам та сталому розвитку країни за рахунок зниження корупційних ризиків в усіх галузях економіки та соціальної сфери. Одним з головних завдань, що постає при вирішенні даної проблеми, є запровадження та використання сучасних інформаційних технологій і електронного документообігу на автомобільному транспорті. В цьому зв'язку в роботі виконано аналіз функціоналу існуючих на ринку автомобільних перевезень України інформаційних систем та розглянуто порядок їх використання при організації перевезень. **Методика.** Під час виконання дослідження використані методи аналізу та експертної оцінки для вивчення основного функціоналу та порядку застосування інформаційних систем під час організації вантажних автомобільних перевезень. **Результати.** В теперішній час в Україні для організації автомобільних перевезень успішно реалізовано та експлуатується ряд електронних сервісів та систем, таких як: Шлях, eЧерга, WiM. На завершальному етапі впровадження знаходиться система електронного документообігу e-ТТН. **Наукова новизна.** Отримані результати аналізу функціоналу та порядку використання сучасних інформаційних систем з організації автомобільних перевезень вантажів дозволяють виконати наукове та економічне обґрунтування вибору програмних продуктів для вирішення оперативних логістичних задач та підвищення ефективності транспортного процесу. **Практична значимість.** Представлені результати досліджень можуть бути використані для організації та оптимізації процесу перевезень вантажів автомобільним транспортом України.

Ключові слова: електронний сервіс, інформаційна система, електронний документообіг, e-ТТН, WiM, eЧерга, кабінет перевізника

Вступ

Одним із пріоритетів державної політики, що передбачені Угодою про Асоціацію між Україною та ЄС [1], є діджиталізація процесів і забезпечення надання адміністративних послуг в електронному вигляді. З цією метою з 2016 року в Україні за підтримки Агентства США з міжнародного розвитку (USAID) та Фонду UK aid Міністерства іноземних справ Великої Британії реалізується проєкт *TAPAS (Transparency and Accountability in Public Administration and Services – Прозорість та підзвітність у державному управлінні та послугах)*, який спрямовано на подолання корупції в державі за рахунок забезпечення доступу до відкритих даних та впровадження електронних послуг в ключові сфери економіки та державне управління [2].

Транспорт є одною з провідних галузей економіки, що забезпечує стаке функціонування та розвиток держави. Відповідно до цього Національною транспортною стратегією України до 2030 року [3] передбачається запровадження і використання у перевізному процесі сучасних інформаційних технологій та електронного документообігу (ЕДО).

Формування та реалізація державної політики у сфері цифрової економіки та інновацій, надання електронних та адміністративних послуг, розвитку національних електронних інформаційних ресурсів та інтеперабельності, електронної комерції і бізнесу покладається на Міністерство цифрової трансформації України. В результаті його діяльності Україною запроваджено ряд інноваційних рішень в сфері діджиталізації

держави. Основою для таких інновацій стали Закони України [4, 5], якими встановлено засади обігу електронних документів, використання кваліфікованих електронних підписів (КЕП) та надання відповідних електронних довірчих послуг. З 2019 року в Україні створений і успішно функціонує Єдиний державний вебпортал електронних послуг «Дія» [6], що дозволяє отримати ряд послуг громадянам та бізнесу, в тому числі і в транспортній сфері.

Реалізацію державної політики на наземному транспорті загалом здійснює Державна служба України з безпеки на транспорті (ДСБТ), пріоритетами діяльності якої на 2021-2023 роки [7] визначено наступні завдання:

- удосконалення надання адміністративних послуг;
- цифрова трансформація ДСБТ;
- забезпечення безпеки на дорогах та безпеки дорожньої інфраструктури.

В теперішній час в Україні в сфері вантажного автомобільного транспорту успішно реалізовано та експлуатується ряд електронних сервісів, зокрема: система «Шлях» – для спрощення та автоматизації надання адміністративних послуг автомобільним перевізникам; електронна черга перетину вантажними автомобілями державного кордону «Черга»; система комплексного збору інформації про рух транспортних засобів автомобільними шляхами *WiM*. Крім того, триває робота над впровадженням системи *e-TTN*, що забезпечить ЕДО для внутрішніх автомобільних вантажних перевезень, з наступною її інтеграцією до єдиної системи електронної товарно-транспортної накладної *ЕС – e-CMR*. В даній роботі виконано аналіз функціональних можливостей вказаних систем та розглянуто порядок їх використання при організації вантажних автомобільних перевезень.

Система «Шлях»

З метою оптимізації процесів інформаційної взаємодії на рівні загальнодержавних

електронних інформаційних ресурсів та підвищення ефективності надання адміністративних послуг в режимі онлайн суб'єктам господарювання у сфері наземного транспорту в 2021 році створено систему «Шлях» [8], яка об'єднала в єдиний комплекс інформаційні системи ДСБТ.

За структурою інформаційно-комунікаційна система «Шлях» являє собою сукупність різних реєстрів, автоматизованих систем, програмно-інформаційних комплексів, програмних і технічних засобів комунікації. Користувачами системи є фізичні особи, фізичні особи-підприємці, юридичні особи, а також уповноважені особи апарату ДСБТ, її територіальні органи та інші державні органи.

Авторизація користувача в системі «Шлях» [9] відбувається з використанням системи електронної ідентифікації *ID.GOV.UA* (рис. 1). Після першого входу до системи користувач отримує роль Здобувач і має доступ лише до робочого столу «Ліцензування» (рис. 2) з розділом «Заяви», що передбачає подання заяви на отримання ліцензії за такими видами господарської діяльності [10]:

- 1) внутрішні перевезення пасажирів на таксі;
- 2) внутрішні перевезення пасажирів легковими автомобілями на замовлення;
- 3) внутрішні перевезення пасажирів автобусами;
- 4) внутрішні перевезення небезпечних вантажів та небезпечних відходів вантажними автомобілями;
- 5) міжнародні перевезення пасажирів на таксі;
- 6) міжнародні перевезення пасажирів легковими автомобілями на замовлення;
- 7) міжнародні перевезення пасажирів автобусами;
- 8) міжнародні перевезення небезпечних вантажів та небезпечних відходів вантажними автомобілями;
- 9) міжнародні перевезення вантажів вантажними автомобілями (крім перевезення небезпечних вантажів та небезпечних відходів).

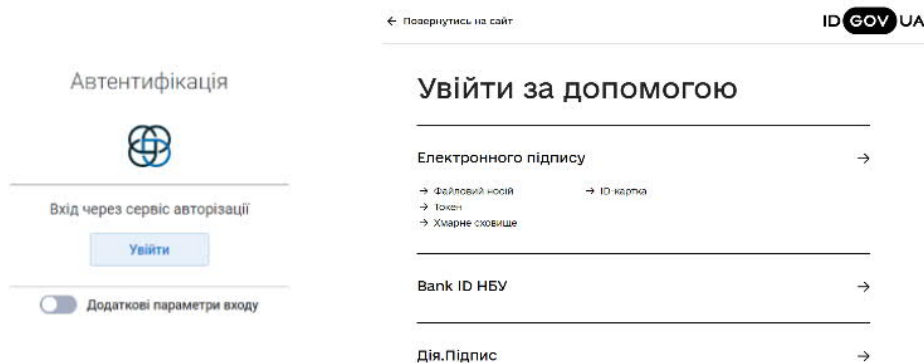


Рис. 1. Авторизація в системі Шлях

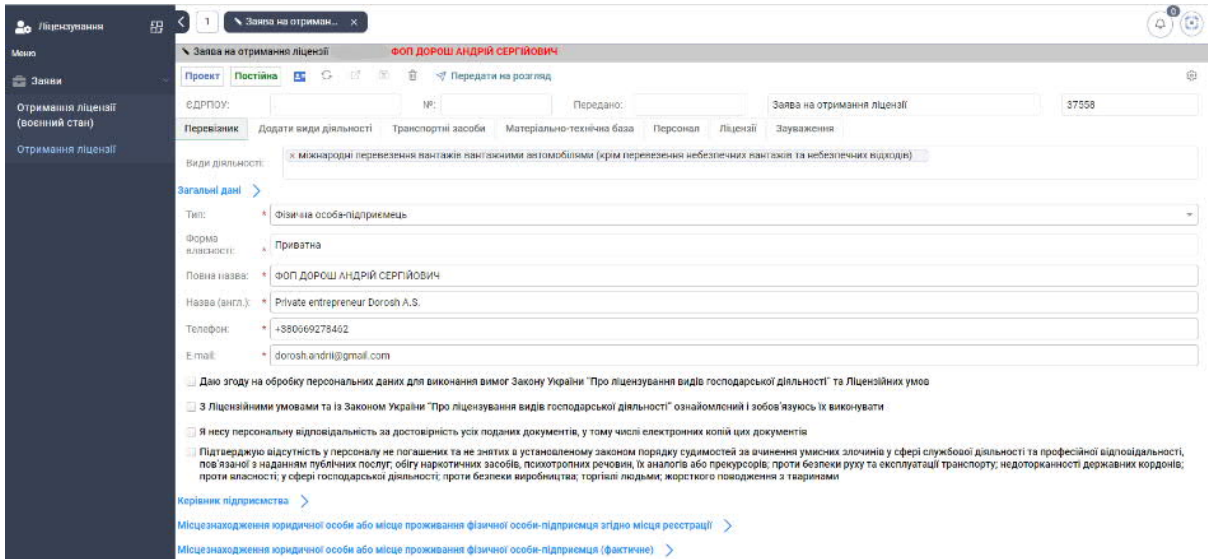


Рис. 2. Створення заяви на отримання ліцензії

Подача електронної форми заяви на отримання постійної ліцензії передбачає заповнення даних за такими розділами:

1) Перевізник – містить інформацію про реєстраційні дані (рис. 2);

2) Види діяльності – обираються види господарської діяльності для провадження яких планується отримати ліцензію (рис. 3, а);

3) Транспортні засоби – вказують реєстраційні дані та підставу використання транспортного засобу для провадження господарської діяльності (рис. 3, б);

4) Матеріально-технічна база – вказують інформацію про наявні службові приміщення, інфраструктуру і обладнання для технічного обслуговування, ремонту і зберігання транспортних засобів, можливість медичної перевірки стану водіїв (рис. 3, в);

5) Персонал – вказують дані про наявний персонал (медичний, технічний, уповноважений з питань перевезення небезпечних вантажів, фахівці з організації міжнародних перевезень) та форму трудових відносин з ними (рис. 3, г).

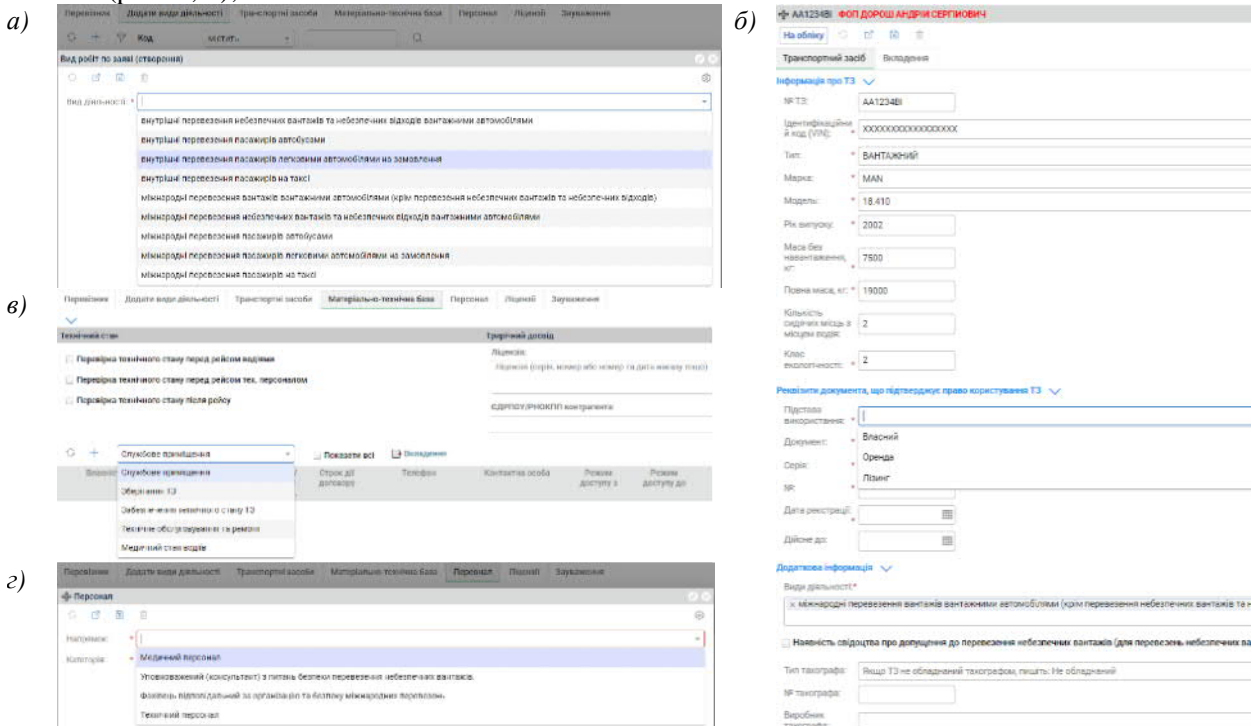


Рис. 3. Заповнення розділів заяви на отримання ліцензії

а) види діяльності, б) транспортні засоби, в) матеріально-технічна база, г) персонал

Слід відмітити, що з початком широкомасштабного вторгнення російської федерації на територію України і введенням правового режиму воєнного стану передбачено спрощену процедуру отримання тимчасової ліцензії за певними видами господарської діяльності, яка не вимагає заповнення даних про матеріально-технічну базу та персонал Здобувача ліцензії. Подання заяви за такою процедурою доступне в розділі «Заяви» → «Отримання ліцензії (воєнний стан)» (див. рис. 2).

В особистому кабінеті системи «Шлях» Здобувач має змогу відслідковувати статус надісланої заяви до моменту її остаточного схвалення або відхилення органом ліцензування (ДСБТ). У разі позитивного рішення ДСБТ Здобувач оплачує вартість ліцензії, після чого вона з'явиться у відповідному розділі, а Здобувач отримує статус Ліцензіат, активований кабінет і доступ до робочого столу «Перевізник» (рис. 4). У випадку негативного рішення органу ліцензування наявні зауваження чи причини відхилення заяви будуть опубліковані у розділі «Зауваження».

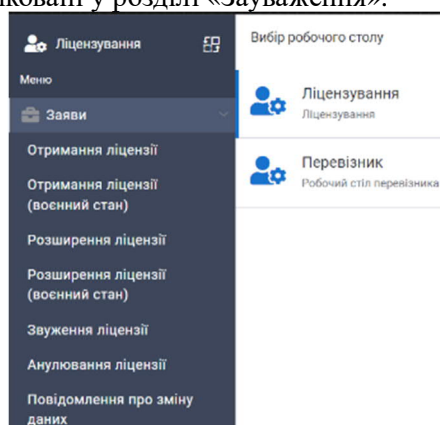


Рис. 4. Вигляд кабінету у системі «Шлях» після отримання ліцензії

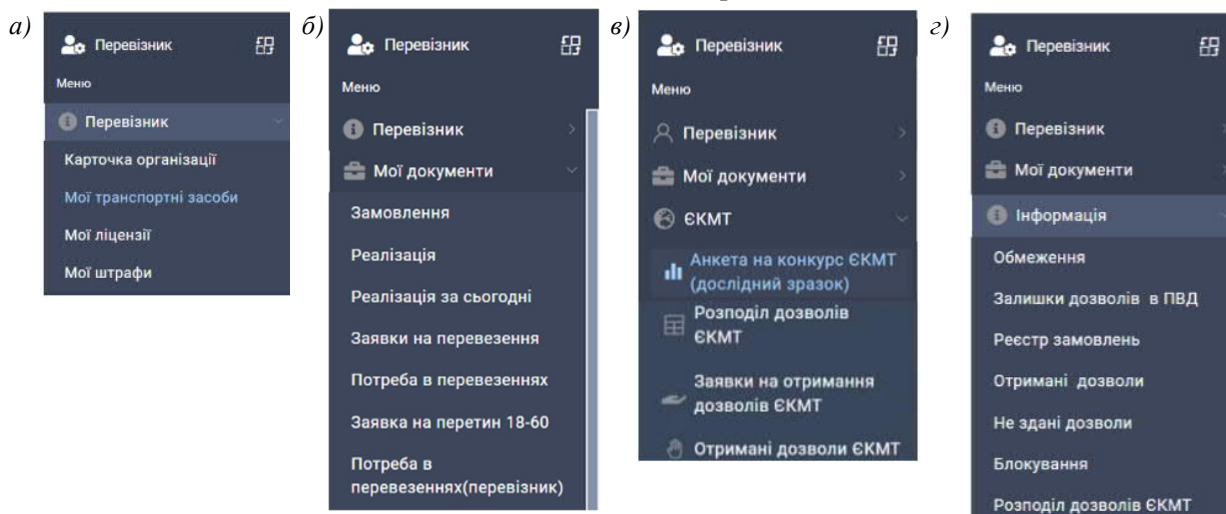


Рис. 5. Розділи меню робочого столу «Перевізник» у системі «Шлях»
а) перевізник, б) мої документи, в) ЕКМТ, з) інформація

В системі «Шлях» для діючих Ліцензіатів в розділі «Заяви» робочого столу «Ліцензування» доступна можливість внесення змін (наприклад, додавання або видалення транспортних засобів, зміна реєстраційних даних), розширення, звуження або анулювання ліцензій.

Подальша взаємодія користувача з системою «Шлях» здійснюється переважно в меню робочого столу «Перевізник», яке складається з таких розділів:

- перевізник – містить інформацію про організацію та її транспортні засоби, діючі ліцензії та штрафи (рис. 5, а). В даному розділі можливо отримати в електронному вигляді витяг про видачу ліцензії українською та англійськими мовами;

- мої документи – містить інформацію про створені і вже отримані разові дозволи на міжнародні перевезення, заявки на перетин державного кордону «18-60» тощо (рис. 5, б). Крім того, водії або волонтери можуть дізнатись про статус і термін дії заявки «18-60» на електронному ресурсі «В Шляху» [11], а для перевірки потрібно ввести лише серію та номер закордонного паспорту.

- ЕКМТ – містить заявки на отримання багаторазових дозволів ЕКМТ та вже отримані дозволи, інформацію про їх розподіл, а також дослідний зразок анкети на участь у такому розподілі (рис. 5, в). Дослідну експлуатацію анкети було завершено восени 2022 року, після чого було розпочато прийом заявок від перевізників і здійснено розподіл дозволів ЕКМТ 2023 року.

- інформація – містить певні звіти та аналітику щодо створених замовлень, їх оплати, отриманих дозволів, залишків разових дозволів в пунктах видачі дозволів (ПВД), діючих обмежень тощо (рис. 5, г).

Впровадження і поступове збільшення переліку послуг в системі «Шлях» дозволило їй увійти до ТОП-5 найактивніших державних сервісів за результатами 2022 року. Так, у 2022 році видано 13 055 ліцензій на провадження господарської діяльності в сфері автомобільних перевезень вантажів і пасажирів, серед яких 99,6 % було видано за заявками, надісланими в електронній формі через систему «Шлях». Для порівняння у 2021 році видано лише 2 898 ліцензій, а подано заявок в електронному вигляді лише 47,8 %. Крім того, середній термін розгляду заявки скоротився до трьох днів у 2022 році проти одного місяця у 2021 році, а обсяг надходжень до державного бюджету України за видані ліцензії склав 33,5 млн грн (6,8 млн грн у 2021 році).

єЧерга

В 2022 році розпочато роботу над ще одним масштабним і амбіційним цифровим проектом з

організації управління чергами вантажних автомобілів на перетин державного кордону України – електронна черга перетину кордону (єЧерга). Метою цього проекту є підтримка у забезпеченні бронювання та адміністрування місця у черзі очікування, а також допуск транспортних засобів до міжнародних пунктів пропуску для автомобільного сполучення.

Роботу над проектом єЧерга розпочато наприкінці літа 2022 року, а вже 31 жовтня цього ж року в пункті пропуску «Ягодин - Дорогуськ» розпочато тестування веб-сайту єЧерга [12] і ознайомлення водіїв з процедурою реєстрації в електронній черзі. У квітні 2023 року команда проекту розробила застосунок для мобільних телефонів на базі Android та IOS, що дозволило водіям вантажівок більш зручно та ефективно планувати поїздку до пункту пропуску, а також оперативно моніторити просування черги, свій статус в черзі та очікуваний час заїзду до пункту пропуску (рис. 6).

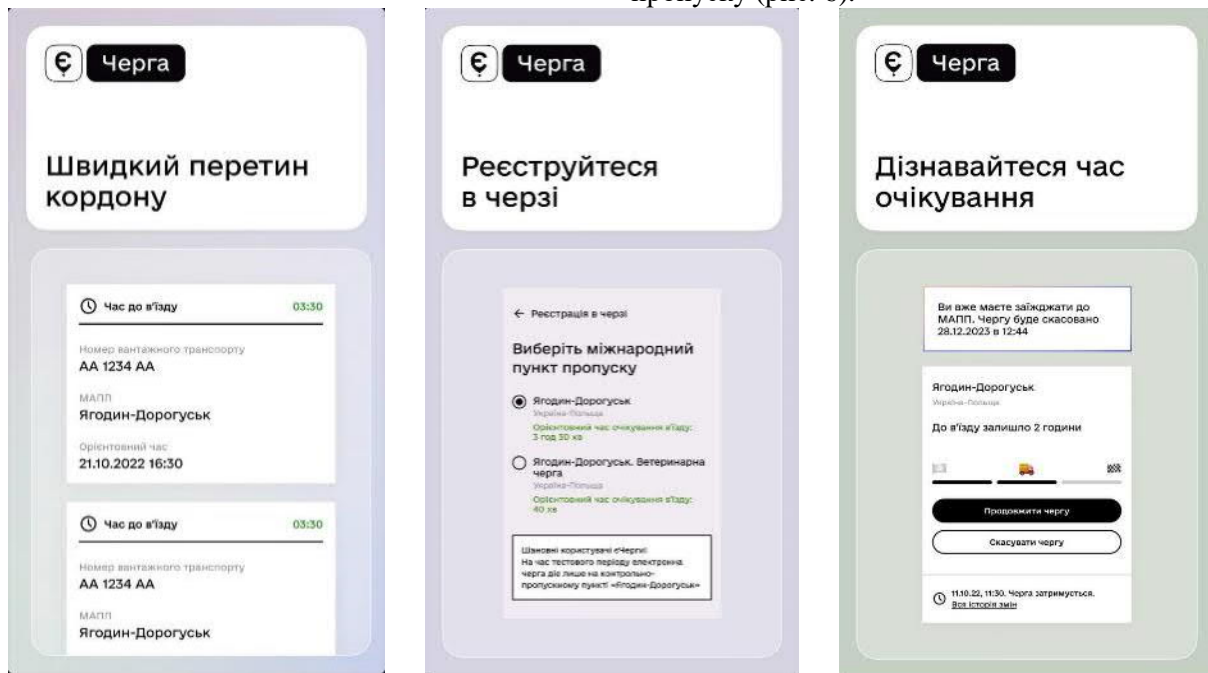


Рис. 6. Сторінки меню мобільного застосунку єЧерга

За підсумками тестового періоду було доопрацьовано єЧергу і вже 8 травня 2023 року відбулось її масштабування на всі 16 міжнародних пунктів пропуску з європейськими країнами. З цього моменту здійснити перетин кордону вантажівкам з масою від 7,5 т можна лише після запису в електронну чергу.

В процесі масштабної експлуатації проект єЧерга постійно зазнає змін та оновлень. Так, за дорученням Міністерства відновлення було додано можливість пропуску автомобілів з товарами, що мають пріоритетне право на перетин кордону відповідно до Митного кодексу

України. Наразі до цієї групи входить 119 товарів, що, як правило, мають обмежений термін зберігання та особливі вимоги до температурного режиму транспортування. Рух автомобілів з такими вантажами в електронній черзі здійснюється за правилом 1 вантажівка з пріоритетним вантажем, 5 – без пріоритетного.

Крім того, для товарів 1-24 груп УКТЗЕД, в тому числі і тих, що підлягають ветеринарному контролю, в пунктах пропуску «Ягодин – Дорогуськ», «Рава-Руська – Гребенне» та «Краківець – Корчова» діють окремі електронні черги (рис. 7). В пунктах пропуску «Устилуг – Зосин»

та «Нижанковичі – Мальховіце», що на кордоні з Польщею, здійснюється пропуск виключно порожніх транспортних засобів (рис. 7). Однією з переваг еЧерги є прозорість її функціонування. На сайті або у застосунку відображається інформація про загальну кількість транспортних засобів у черзі та їх державні номерні знаки

(рис. 8). Крім того, стати фізично у чергу замість іншої особи чи перепродати своє місце в черзі неможливо, оскільки змінити інформацію про водія, вантажівку та митну декларацію після реєстрації неможливо, до того ж самі представники перевізників можуть бути включені до моніторингових груп.

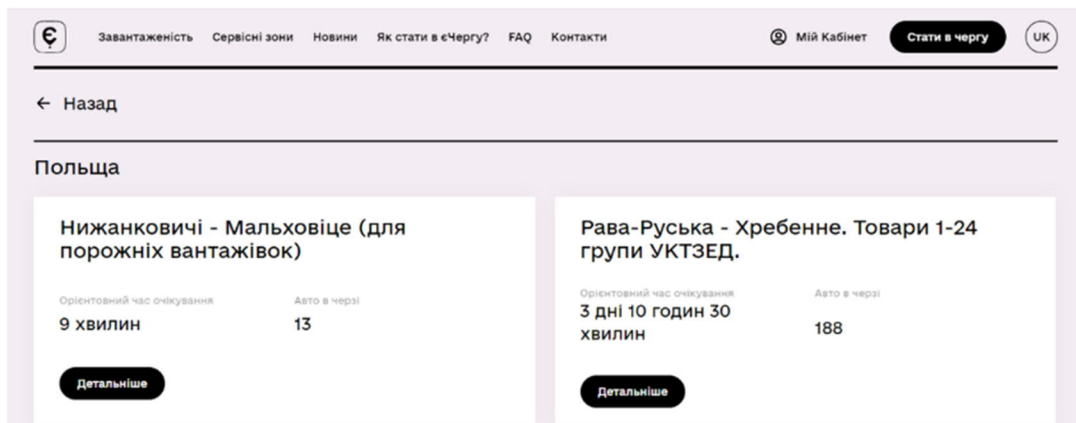


Рис. 7. Вибір електронної черги для запису

Номер вантажівки	Орієнтовний час в'їзду	Скасування черги
Приготуватися до в'їзду		
AE 457* **		13 липня 05:05
CB 589* **	12 липня 12:39	12 липня 17:03
AA 828* **	12 липня 12:39	12 липня 17:08
AX 099* **	12 липня 12:39	12 липня 17:08
AI 428* **	12 липня 12:39	12 липня 17:25

Пріоритетний вантаж
 Паливоцистерна
 Продовжена черга
 Виявлено новий вантаж
 Без вантажу

Рис. 8. Інформація про транспортні засоби в електронній черзі

Впровадження еЧерги має безумовні переваги як для перевізників, так для бізнесу і держави. Головною перевагою для перевізників є те, що тепер водію, незалежно від місця свого перебування, достатньо ввести необхідні дані на сайті або в застосунку еЧерга та спланувати прибуття в пункт пропуску у визначений системою час, а не чекати кілька днів своєї черги в кілометрових заторах перед кордоном. Перевага для бізнесу від впровадження електронної черги полягає в тому, що прогнозовано зменшаться непередбачувані та додаткові витрати на фізичний простій транспортних засобів перед кордоном, що, на думку авторів, дозволить стабілізувати ціни на міжнародні вантажні перевезення. Для держави безумовною перевагою запровадження еЧерги є більш швидка та прозора процедура перетину кордону за рахунок виключення людського фактору та корупційних ризиків. За даними ДСБТ за травень 2023 року середній час

очікування перетину кордону з країнами ЄС скоротився майже в 4 рази, і становить не більше 2-3 діб. До того ж, завдяки еЧерзі у профільних міністерств з'являється можливість виконувати аналіз транспортних потоків та приймати рішення щодо розбудови прикордонної, транспортної і сервісної інфраструктури.

Анонсовано, що влітку 2023 року використання еЧерги буде поширено на водіїв автобусів і легкових автомобілів.

Зважування в русі

Одним із завдань ДСБТ є реалізація державної політики з питань безпеки на наземному транспорті загального користування, в тому числі автомобільному, шляхом здійснення контролю габаритно-вагових норм (ГВН) транспортних засобів. В розвинутих країнах Європи, США і Канаді для здійснення такого контролю широко

використовуються комплекси *Weight-in-Motion* (*WiM*) – система комплексного збору інформації про рух транспортних засобів автомобільними шляхами, що дозволяє швидко ідентифікувати перевантажені транспортні засоби без обмеження руху.

Ініціативою впровадження таких комплексів в Україні стало оголошення на початку 2018 року урядом України міжнародного тендеру на першу партію *WiM*-комплексів [13], а вже у 2019 році розпочалась реалізація пілотного проекту, який передбачав будівництво 6 комплексів на під'їздах до Києва. Позитивні результати його реалізації дозволили сформувати стратегію поступового оснащення основних транспортних коридорів України сучасними та високоточними *WiM*-комплексами. За даними ДСБТ та

Державного агентства з відновлення та розвитку інфраструктури на початку 2022 року в різних регіонах України вже функціонувало 102 *WiM*-комплекси (рис. 9), а на початок 2023 року мало працювати понад 150 таких комплексів.

WiM-комплекси обладнані набором встановлених в дорожнє полотно датчиків, що фіксують загальну масу транспортного засобу і її розподілення на кожну вісь, а також камерами, радаром і лазерними сканерами для автоматичного розпізнавання номерного знаку, швидкості руху і габаритів транспортного засобу. Комплекси зважування в русі працюють в цілодобовому режимі 365 днів на рік, але зважування автомобілів може відбуватись при швидкості їх руху до 120 км/год і в температурному режимі від -30 до +40°C.

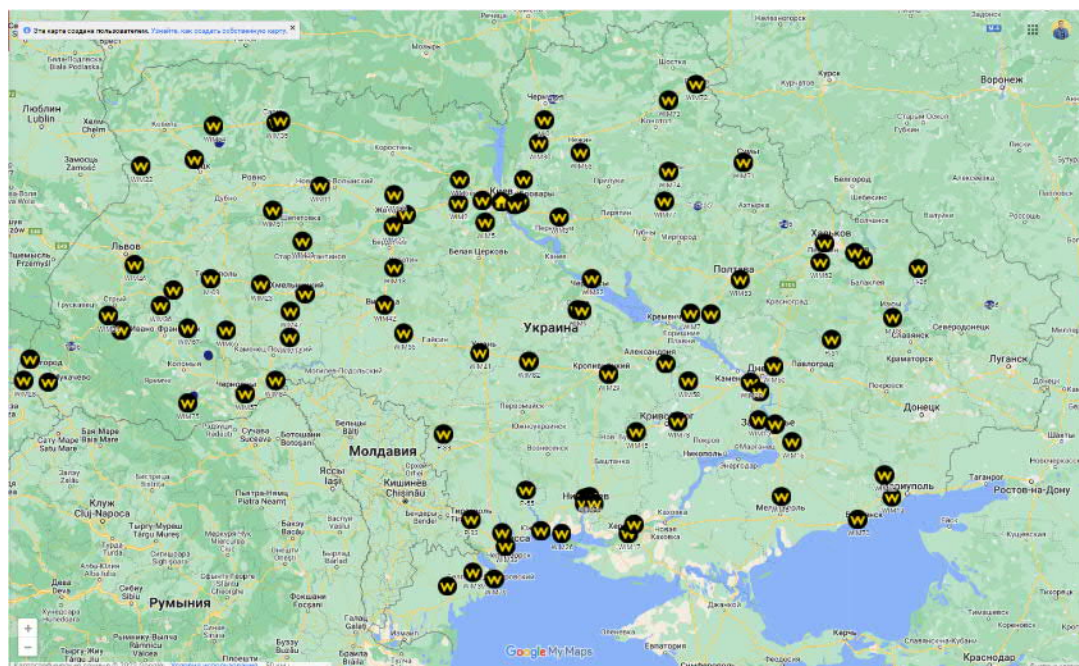


Рис. 9. Комплекси *WiM* на дорогах України (початок 2022 року)

Для забезпечення повноцінної роботи *WiM*-комплексів в 2021 році вступили в силу необхідні законодавчі зміни, що дозволили автоматизувати фіксацію порушень ГВН. Дані про порушення з *WiM*-комплексів передаються та опрацьовуються в Центрі обробки даних ДСБТ, після чого інспектор перевіряє дані, формує постанову про адміністративне правопорушення, накладає електронний підпис та надсилає її порушнику – власнику транспортного засобу. За даними ДСБТ така процедура займає не більше 5 хвилин від моменту зважування *WiM*-комплексом до винесення постанови про порушення. Слід відмітити, що після введення автоматичної фіксації порушень ГВН їх кількість зменшилась у 30 разів.

З початком широкомасштабного вторгнення російських військ в Україну було скасовано контроль ГВН, і, відповідно, припинено роботу *WiM*-комплексів та заблоковано доступ до відповідних систем і реєстрів. Проте вже 16 травня 2022 року ДСБТ відновила роботу *WiM*-комплексів, а з 23 травня відновлено адміністративну відповідальність за порушення ГВН.

На початку травня 2023 року кількість працюючих *WiM*-комплексів становила 53, з яких лише 44 працює в режимі фіксації порушень. За весь період функціонування *WiM*-комплексів було зафіксовано понад 16 тисяч порушень ГВН на загальну суму понад 331 млн грн.

Таким чином, впровадження *WiM*-комплексів дозволить вирішити завдання збереження

автомобільних доріг від руйнування великогабаритним транспортом, а автоматизація збору даних і фіксації порушень мінімізує корупційні ризики та усуває будь-які зловживання чи людський фактор.

Система е-ТТН

Іншою важливою задачею на шляху до діджиталізації транспортного ринку є запровадження ЕДО у сфері автомобільних вантажних перевезень. Згідно з [14] єдиним для всіх учасників транспортного процесу документом, за яким виконується приймання-здача та перевезення вантажів, здійснюються взаємні розрахунки та проводиться складський і бухгалтерський облік, є товарно-транспортна накладна (ТТН).

З 2019 р. в Україні реалізується проєкт переходу від паперової товарно-транспортної накладної до її електронного аналогу (е-ТТН). З цією метою наприкінці 2022 р. завершено розробку системи е-ТТН, яка включає наступні елементи [15]:

1) Єдиний реєстр ТТН – спеціалізована електронна центральна база даних (ЦБД), яка разом із вебсервісами утворює серверну частину системи, що призначена для збереження основних даних про перевезення та забезпечує електронну взаємодію між учасниками транспортного процесу.

2) Особистий кабінет – вебінтерфейс, через який зареєстрований користувач системи підключається до ЦБД та виконує операції з е-ТТН;

3) Кабінет інспектора – вебінтерфейс, наданий посадовій особі ДСБТ для здійснення перевірки транспортної документації.

Доступ до особистого кабінету здійснюється через платформу одного з провайдерів послуг ЕДО, що пройшли відповідну технічну перевірку. На теперішній час до системи приєдналось 20 провайдерів ЕДО [16], два з яких *EDIN* [17] та Птах [18] пройшли тестування та готові забезпечувати повний спектр операцій з е-ТТН.

В системі передбачаються наступні учасники транспортного процесу:

- вантажовідправник;
- перевізник;
- вантажоодержувач;
- замовник – особа, що уклала з перевізником договір про перевезення вантажів, але не виступає в ролі вантажовідправника або вантажоодержувача;
- треті особи – учасники мультимодальних перевезень в т.ч. експедитори, працівники митних служб, представники портових терміналів.

Вказаним учасникам транспортного процесу та їх представникам надається різний рівень доступу до виконання дій з е-ТТН відповідно до одної з ролей користувача (див. табл. 1).

Основною дією в системі є підписання електронного документа за допомогою кваліфікованого електронного підпису (КЕП). Як видно з табл. 1, право підпису мають тільки окремі користувачі; при цьому для підпису можуть використовуватись тільки визначені КЕП:

- водій – КЕП фізичної особи або компанії-учасника (третьої юридичної особи);
- відповідальна особа – КЕП компанії-учасника.

Підписання е-ТТН здійснюється у визначеній послідовності, що характеризує життєвий цикл накладної (див. рис. 10).

Таблиця 1

Можливі дії з документом в системі е-ТТН

Роль користувача	Дія з документом							Від якого імені здійснюється					
	створення	перегляд	редагування	скасування	видалення	відхилення	підписання	власного	відправник	перевізник	одержувач	замовник	треті особи
Водій	+	+	+	+	+	+	+	+		+			
Експедитор	+	+	+	+	+	+	+	+		+			
Відповідальна особа	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Оператор	+	+							+	+	+	+	
Переглядач		+							+	+	+	+	+



Рис. 10. Життєвий цикл е-ТТН

В загальному випадку е-ТТН в ході свого життєвого циклу проходить наступні етапи:

1) е-ТТН створюється вантажовідправником, який заносить дані про учасників транспортного процесу (основна частина), відомості про вантаж та інформацію про навантажувальні роботи (статус «Створено», який не фіксується в ЦБД).

2) Після завершення завантаження відправки у автомобіль вантажовідправником на е-ТТН накладається КЕП. При цьому в ЦБД фіксується статус «Підписано Вантажовідправником», а підписана е-ТТН надсилається перевізнику.

3) Факт передачі вантажу для перевезення та правильність його завантаження у автомобіль підтверджується накладанням на е-ТТН КЕП представника перевізника (водія, експедитора). При цьому статус е-ТТН в ЦБД змінюється на «Підписано Перевізником на завантаженні».

4) Після того, як вантаж доставлено до пункту призначення, вивантажено та перевірено вантажоодержувач заносить в е-ТТН відомості про

операції розвантаження та накладає КЕП. При цьому статус е-ТТН в ЦБД змінюється на «Підписано Вантажоодержувачем».

5) Факт передачі вантажу одержувачу фіксується в е-ТТН накладанням КЕП перевізника, після чого перевезення вважається виконаним, а вантаж доставленим. При цьому статус е-ТТН в ЦБД змінюється на «Підписано Перевізником на розвантаженні».

6) Перевізником разом з підписаною е-ТТН надається рахунок замовнику для виконання остаточних розрахунків та платежів за надані послуги.

Користувачі мають право відмовитись від підписання документа – відхилити документ; при цьому статус документа змінюється відповідно до етапу на: «Скасовано Вантажовідправником», або «Відхилено Перевізником», або «Примусово завершено». Схема інформаційного обміну між елементами системи е-ТТН представлена на рис. 11.



Рис. 11. Схема інформаційних потоків в системі е-ТТН (за матеріалами [17])

a)

ТОВАРНО-ТРАНСПОРТНА НАКЛАДНА

№ 1st_ORDER від 2023-03-14 13:57

Автомобіль: Mercedes Actros 1846, Седельний тягач, Білий, АА00006А

Принцип/напрям: Відвезти реєстраційний номер та забрати принцип / напрям (везти номер, тип реєстраційного коду)

Контейнер: Належить на коштування та заповнити дані про контейнер

Вид перевезень: міжміська

Автомобільний перевізник: TOB "Леревин_УЗ" (ЄДРПОУ: 32131212), Україна, 45852, м. Київ, Бандеря, (GLN: 9864232596110)

Відповідальна особа замовника

Відвезти дані контактної / відповідальної особи

Вантажодержавник

EDIN-Test supplier 1 (ЄДРПОУ: 12345678), Україна, 69114, Запорізька обл, Запорізький р-н, м. Запоріжжя, вул. Воронезька, 26-Б, (GLN: 986...

Відповідальна особа вантажодержавника

Відвезти дані контактної / відповідальної особи

Експедитор

Відвезти дані контактної / відповідальної особи

Відповідальна особа експедитора

Відвезти дані контактної / відповідальної особи

Вантажодержувач

TOB "Смакна ківа" - торговельна точка (ЄДРПОУ: 34554863), Україна, 31331, м. Київ, м. Київ, м. Київ, Адрес, (GLN: 986423234065)

Відповідальна особа вантажодержувача

Відвезти дані контактної / відповідальної особи

Пункт завантаження

Україна, 21012, Вінницька обл, Вінницький р-н, м. Вінниця, бульвар Свободи, 7

Пункт розвантаження

Україна, 66001, Тернопільська обл, Тернопільський р-н, м. Тернопіль, вул. Грушевського, 50

Проміжний склад

Відвезти дані контактної / відповідальної особи

Відповідальна особа проміжного складу

Відвезти дані контактної / відповідальної особи

б)

ВІДОМОСТІ ПРО ВАНТАЖ

№ з/п	Найменування вантажу (номер контейнера, у разі перевезення небезпечних вантажів; клас небезпечних речовин, до якого віднесено вантаж)	Одиниця виміру	Кількість місць	Ціна без ПДВ за одиницю, грн.	Загальна сума з ПДВ, грн.	Вид пакування	Документи з вантажем	Маса бруто, кг
1	Молоко 2.5% ультрапастеризоване Селянське тип 900*	штучка	120	24.80000				
	Штрихкод: 482003981847; Артикул продажів: 17260; Ціна з ПДВ за одиницю, грн.: 29.76; Загальна сума без ПДВ, грн.: 3224.00;							
2	МОЛОКО 3.2% УЛЬТРАПАСТЕРИЗОВАНЕ РОДИННЕ СЕЛЯНСЬКЕ ТИП 1500*	штучка	800	67.85000				
	Штрихкод: 482003981777; Артикул продажів: 72909; Ціна з ПДВ за одиницю, грн.: 81.18; Загальна сума без ПДВ, грн.: 54120.00;							
3	МОЛОКО 2.5% ПАСТЕРИЗОВАНЕ СЕЛЯНСЬКЕ ТИП 900*	штучка	400	45.80000				
	Штрихкод: 4820039486345; Ціна з ПДВ за одиницю, грн.: 54.96; Загальна сума без ПДВ, грн.: 18320.00;							

в)

ВАНТАЖНО-РОВАНТАЖУВАЛЬНІ ОПЕРАЦІЇ

Операція	Маса бруто, кг	Дата і час прибуття	Дата і час вибуття	Час простоя
Невантаження	18600	2023-03-14 13:03	2023-03-16 14:00	
Здав (відповідальна особа вантажодержавника)		Прийняв водій		Прийняв експедитор
Скадренко Микола Іванович, (987654123456), 38858555555, Тел. Бульвар		Кашуба Станіслав Михайлович, (123456789), водій		
Операція		Маса бруто, кг	Дата і час прибуття	Дата і час вибуття
Розвантаження	19800	2023-03-14 14:14	2023-03-14 14:55	
Прийняв (відповідальна особа вантажодержувача)		Здав водій		Здав експедитор
Іванова Ірина Іванівна, (123456789), 36699141241, комерсант		Кашуба Станіслав Михайлович, (123456789), водій		

ДОДАТКОВІ ДАНІ

Рис. 12. Інтерфейс для роботи з е-ТТН на платформі EDIN:
 а) основна частина; б) відомості про вантаж; в) дані про вантажні операції

Електронна ТТН представляється в системі у вигляді *xml*-документа встановленої структури; при цьому полям е-ТТН поставлені у відповідність визначені теги. Згідно з п. 11.1 Правил [19], в разі оформлення е-ТТН супровідні документи (сертифікати, свідоцтва тощо) також додаються в електронній формі – у форматі *pdf*. Особливо слід зазначити, що у ЦБД для загальної групи товарів будуть зберігатися лише основні метадані ТТН: учасники процесу перевезень, пунктів навантаження та розвантаження, група товару та його вага. Безпосередньо електронні

транспортні документи (ТТН та супровідні документи) зберігаються у провайдерів ЕДО, яких самостійно обирають учасники транспортного процесу. Для доступу до цих документів в ЦБД зберігатимуться відповідні посилання на платформи ЕДО.

Вебінтерфейс особистого кабінету користувача для роботи з е-ТТН на платформі EDIN представлено на рис. 12. Для організації підписання (відхилення) е-ТТН водієм компанією EDIN розроблено мобільний додаток, інтерфейс якого представлено на рис. 13.

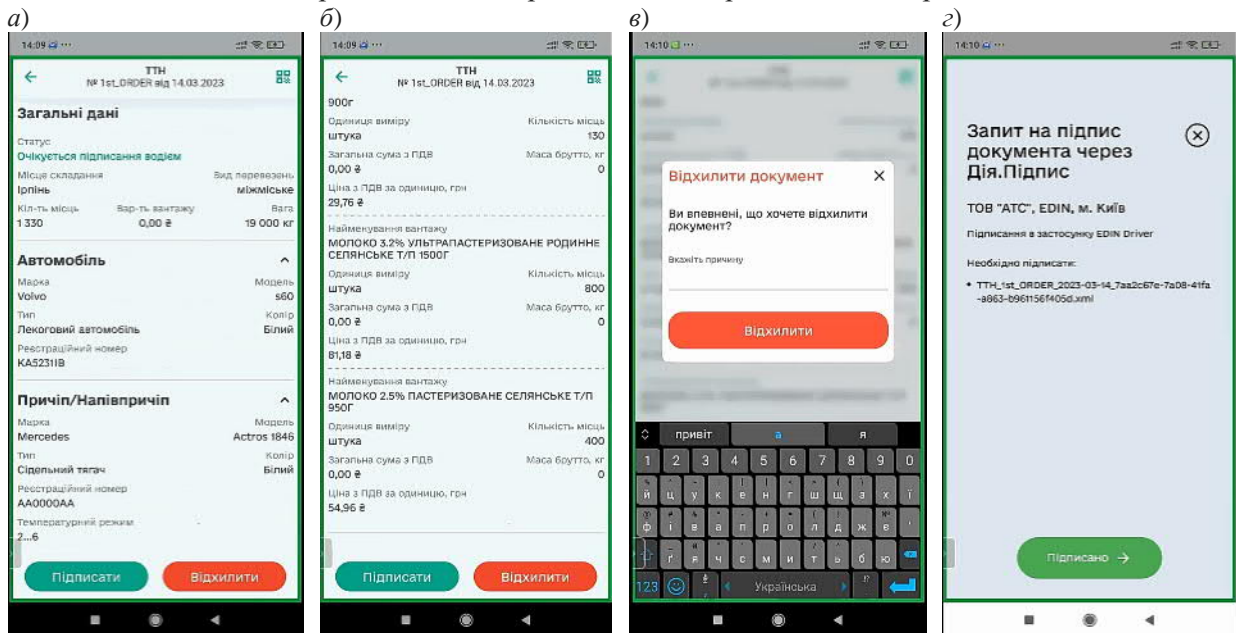


Рис. 13. Інтерфейс для роботи водія з е-ТТН в мобільному додатку EDIN: а) основна частина; б) відомості про вантаж; в) відмова від підпису; г) накладання КЕП

Система на окремих етапах життєвого циклу е-ТТН допускає її коригування, для чого створюються відповідні акти:

1) Акт про відмову вантажити – для відміни е-ТТН через виявлення непридатності рухомого складу для перевезення вантажу (створюється та реєструється в ЦБД вантажовідправником; підписується перевізником). Після успішного завершення акта е-ТТН автоматично переходить у статус «Скасовано Вантажовідправником».

2) Акт коригування – для виправлення помилок в е-ТТН. Акт складається будь-яким учасником транспортування, що ініціює зміни в е-ТТН та підписується всіма іншими учасниками. Системою не допускається повна заміна будь-якого учасника, пункту призначення, одиниць вантажу, в т.ч. додавання чи видалення товарних позицій.

3) Акт перевантаження – складається у разі повного (без розділення відправки) на шляху прямування в інший автомобіль; при цьому можлива заміна перевізника. Акт створює

перевізник, що здає вантаж, та підписує перевізник, який приймає вантаж. Права для операцій з е-ТТН передаються новому перевізнику. У користувачів старого перевізника залишається можливість переглядати е-ТТН та супровідні документи.

4) Акт розвантаження (завантаження) на проміжному складі – для оформлення тимчасового зберігання всієї відправки вантажу на складі перевізника (без залучення третіх осіб). Після успішного завершення акта розвантаження дані про водія та його автомобіль видаляються з е-ТТН та залишаються пустими до внесення нових відомостей в результаті реалізації акта завантаження на новий автомобіль. В процесі тимчасового зберігання вантажу на складі е-ТТН переводиться у статус «На складі тимчасового зберігання».

5) Акт перепломбування – для заміни пломби в процесі доставки збірних вантажів або багатоетапного перевезення (підписується замовником та перевізником);

6) Акт про заміну пункту призначення вантажу – для заміни пункту призначення вантажу або вантажоодержувача. Акт формується вантажоодержувачем, який відмовляється прийняти вантаж та підписується новим вантажоодержувачем, перевізником та замовником. У разі небажання вантажоодержувачем скласти акт, він може бути складений будь-яким іншим учасником е-ТТН, який ініціює переадресування вантажу. Усі права на дії з е-ТТН, що належали старому вантажоодержувачу, переходять до нового вантажоодержувача. При цьому у старого вантажоодержувача залишається можливість перегляду е-ТТН з усіма супровідними документами та актами.

7) Акт розбіжностей про вантаж – складається вантажоодержувачем під час приймання вантажу в пункті розвантаження у випадках наявності нестачі, псування вантажу або для фіксації інших розбіжностей між перевізником і вантажоодержувачем, які можуть слугувати підставою для матеріальної відповідальності. Акт підписується вантажоодержувачем та перевізником, опціонально і відправником. Після успішного завершення акта значення в е-ТТН не змінюються.

8) Акт примусового завершення е-ТТН – для ручного закриття е-ТТН у разі неможливості успішного її завершення відповідно до життєвого циклу документа (підписується замовником та перевізником). Після реалізації акта е-ТТН переводиться у статус «Примусово завершено».

При реєстрації е-ТТН системою виконується валідація наступних даних: кодів ЄДРПОУ/ДРФО учасників е-ТТН (кількість знаків та контрольна сума), кодів КОАТУУ пунктів навантаження та розвантаження (кількість знаків та відповідність класифікатору [20]), автомобільних номерних знаків (за кількістю та типом символів) та КЕП підписувачів (відповідність ЄДРПОУ/РНОКПП).

Доступ до ЦБД працівників ДСБТ для проведення контролю транспортної документації надається через кабінет інспектора. При цьому для перевірки доступні лише ті е-ТТН, що перебувають у статусі «Підписано Перевізником на завантаженні». Пошук таких е-ТТН в ЦБД відбувається за реєстраційним номером автомобіля. Для перегляду доступна повна інформація за е-ТТН разом із усіма супровідними документами та актами.

Як зазначає автор [21], впровадження е-ТТН матиме ряд таких позитивних ефектів:

1) Збільшення прозорості на ринку автомобільних вантажних перевезень за рахунок

унеможливлення використання фіктивних документів та недопущення спотворення даних в них.

2) Покращення конкурентних умов ринку автомобільних вантажних перевезень за рахунок виведення з тіні недобросовісних перевізників, що ухилялися від декларування господарської діяльності та відповідної сплати податків.

3) Недопущення порушень ГВН, що дозволить більш ефективно протидіяти руйнуванню доріг, які спричинені перевезеннями з перевищенням допустимих навантажень від коліс на дорожнє полотно. Крім того система е-ТТН буде інтегрована із системами *WiM*, що дозволить створити теплову карту перевезень, яка визначатиме найбільш завантажені напрямки та, відповідно, пріоритетні ділянки доріг для ремонту.

4) Підвищення ефективності боротьби з перевезеннями нелегальних вантажів за рахунок інтеграції системи е-ТТН з іншими державними системами, наприклад, *еАкциз*, що дозволить відстежувати переміщення підакцизних товарів – тютюнових виробів та алкоголю.

5) Забезпечення інтеграції з ринком ЄС за рахунок впровадження на основі е-ТТН електронної міжнародної транспортної накладної *e-CMR*. Так, в квітні 2023 р. Україна успішно пройшла відбір для участі у пілотному проєкті *EU4Digital* з приєднання до системи *e-CMR*.

Планується, що протягом 2023 року буде розроблена дорожня карта з інтеграції платформи електронних вантажних перевезень України та ЄС [22].

В той же час, слід зазначити, що на поточний момент не внесено необхідних змін у законодавство України, якими би повністю були врегульовані питання використання е-ТТН. Зокрема, відповідний проєкт Закону № 6534 «Про внесення змін до Закону України «Про автомобільний транспорт» щодо запровадження товарно-транспортної накладної в електронній формі» профільним комітетом Верховної Ради України 13.04.23 р. було направлено на доопрацювання [23]. Крім того, до теперішнього часу на офіційному сайті проєкту [16] не опублікований розмір плати за користування послугами ЦБД системи е-ТТН. Вказані обставини ставлять під загрозу введення е-ТТН в обов'язкове використання в Україні з 01.08.2023 р.

Висновки

Виконані дослідження показали, що в теперішній час в Україні впроваджено та ефективно експлуатується ряд сучасних інформаційних систем і електронних сервісів в сфері

автомобільних вантажних перевезень. Вказані інформаційні системи мають широкий функціонал, який дозволив цифровізувати основні технологічні операції процесу перевезень, налагодити обмін електронними даними між його учасниками та прискорити взаємодію органів державної влади з представниками бізнесу. Подальше об'єднання даних транспортних сервісів з іншими державними та міжнародними системами і реєстрами сприятиме сталому економічному розвитку України та прискорить її інтеграцію до Європейського Союзу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони: Угода Україна від 27.06.2014 р. : станом на 25 жовт. 2022 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text (дата звернення: 01.06.2023).

2. TAPAS. TAPAS. URL: <https://tapas.org.ua/> (дата звернення: 01.06.2023).

3. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р : станом на 7 квіт. 2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-r#Text> (дата звернення: 01.06.2023).

4. Про електронні довірчі послуги : Закон України від 05.10.2017 р. № 2155-VIII : станом на 1 січ. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2155-19#Text> (дата звернення: 03.06.2023).

5. Про електронні документи та електронний документообіг : Закон України від 22.05.2003 р. № 851-IV : станом на 1 серп. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/851-15#Text> (дата звернення: 03.06.2023).

6. Дія – Державні послуги онлайн. *Державні послуги онлайн | Дія*. URL: <https://diia.gov.ua/> (дата звернення: 01.06.2023).

7. Пріоритети діяльності Державної служби України з безпеки на транспорті на 2021-2023 роки. *Державна служба України з безпеки на транспорті*. URL: https://dsbt.gov.ua/sites/default/files/imce/_pdf/priorityety_dsbt.pdf (дата звернення: 01.06.2023).

8. Повідомлення про оприлюднення проекту постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про Єдиний комплекс інформаційних систем у сфері безпеки на наземному транспорті та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України». *Державна служба України з безпеки на транспорті*. URL: <https://dsbt.gov.ua/uk/storinka/povidomlennya-pro-oprylyudnennya-proyektu-postanovy-kabinetu-ministriv-ukrayiny-pro> (дата звернення: 02.06.2023).

9. Шлях – DSBT URL: <https://shlyah.dsbt.gov.ua/> (дата звернення: 02.06.2023).

10. Про затвердження Ліцензійних умов провадження господарської діяльності з перевезення пасажирів, небезпечних вантажів та небезпечних відходів автомобільним транспортом, міжнародних перевезень пасажирів та вантажів автомобільним транспортом. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1001-2015-p> (дата звернення: 03.06.2023).

11. Пошук заявки у ШЛЯХу. *Державна служба України з безпеки на транспорті*. URL: <https://vshlyahu.dsbt.gov.ua/sheet/page/checkApplication> (дата звернення: 03.06.2023).

12. єЧерга. Електронна черга перетину кордону. *єЧерга. Електронна черга перетину кордону*. URL: <https://echerha.gov.ua/> (дата звернення: 03.06.2023).

13. Уряд України оголосив міжнародний тендер на першу партію комплексів зважування в русі (Weight-in-Motion, або WiM), - Володимир Омельян. *Міністерство інфраструктури України*. URL: <https://mtu.gov.ua/news/30028.html> (дата звернення: 03.06.2023).

14. Про автомобільний транспорт : Закон України від 05.04.2001 р. № 2344-III : станом на 23 берез. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text> (дата звернення: 03.06.2023).

15. Про затвердження Порядку реалізації експериментального проекту щодо впровадження електронного документообігу електронної товарно-транспортної накладної : Наказ М-ва інфраструктури України від 07.05.2020 р. № 301. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0644-20#Text> (дата звернення: 04.06.2023).

16. Портал проекту «Електронна товарно-транспортна накладна». е-TTN. URL: <https://ettm.miu.gov.ua/> (дата звернення: 05.06.2023).

17. Електронний документообіг в Україні EDIN - Сучасні системи ЕДО | EDIN. *EDIN*. URL: <https://edin.ua/> (дата звернення: 05.06.2023).

18. ПТАХ. ПТАХ. URL: <https://edi.com.ua/uk> (дата звернення: 05.06.2023).

19. Про затвердження Правил перевезень вантажів автомобільним транспортом в Україні : Наказ М-ва трансп. України від 14.10.1997 р. № 363 : станом на 12 лип. 2019 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0128-98#Text> (дата звернення: 05.06.2023).

20. Кодифікатор адміністративно-територіальних одиниць та територій територіальних громад. *Міністерство інфраструктури України*. URL: <https://mtu.gov.ua/content/kodifikator-administrativnoteritorialnih-odinic-ta-teritoriy-teritorialnih-gromad.html> (дата звернення: 05.06.2023).

21. Чому варто переходити на електронні ТТН. Центр транспортних стратегій. URL: https://cfts.org.ua/blogs/chomu_varto_perekhoditi_na_elektronni_ttn_670?fbclid=IwAR3EAfe5370Vp0E

KUfrphq2vc9wQxLsYB_KrCgNz5iBkyEO-5X4JfIgOARs (дата звернення: 05.06.2023).

22. Україна готова приєднатися до системи електронної товарно-транспортної накладної ЄС. Міністерство інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/news/34208.html> (дата звернення: 05.06.2023).

23. Запровадження електронної товарно-транспортної накладної: законопроект рекомендують доопрацювати | ЮРЛІГА. ЮРЛІГА.

URL: https://jurliga.ligazakon.net/news/218899_zaprovadzheniya-elektronno-tovarno-transportno-nakladno-zakonoproekt-rekomenduyut-dopratsyuvati (дата звернення: 05.06.2023).

Надійшла до редколегії 17.06. 2023

Прийнята до друку 26.06.2023

YE. DEMCHENKO, A. DOROSH, I. SKOVRON, V. BALANOV

DIGITALIZATION AND MODERN ELECTRONIC SERVICES FOR ROAD TRANSPORTATION

Purpose. Digitalization of business processes and implementation of transparent and effective electronic services for the provision of administrative services is one of the key state priorities of Ukraine, the realization of which contributes to European integration processes and sustainable development of the country by reducing corruption risks in all sectors of the economy and social sphere. One of the main tasks that arises when solving this problem is the introduction and use of modern information technologies and electronic document management in road transport. In this regard, the paper analyzes the functionality of the existing information systems on the road transport market of Ukraine and considers the procedure for their use in the organization of transportation. **Methodology.** During the research, methods of analysis and expert evaluation were used to study the main functionality and the order of application of information systems for the organization of road freight transportation. **Results.** Currently, a number of electronic services and systems, such as Shlyah, eChherga, WiM, have been successfully implemented and operated in Ukraine for the organization of road transport. The e-TTN electronic document management system is at the final stage of implementation. **Scientific novelty.** The obtained results of the analysis of the functionality and the order of use of modern information systems for the organization of road transportation of goods allow to perform a scientific and economic evaluation of the choice of software products for solving operational logistics problems and improving the efficiency of the transport process. **Practical significance.** The presented research results can be used to organize and optimize the process of cargo transportation by road transport of Ukraine.

Keywords: electronic service, information system, electronic document management, e-TTN, WiM, eChherga, carrier's office

УДК 656.2

Д. М. КОЗАЧЕНКО^{1*}, М. П. БОЖКО^{2*}, М. І. БЕРЕЗОВИЙ^{3*}, В. В. МАЛАШКІН^{4*}

^{1*}Кафедра «Управління експлуатаційною роботою», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, г. Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта kozachenko@upp.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{2*}Кафедра «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 480-41-71, ел. пошта prbojko@gmail.com

^{3*}Кафедра «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, ел. пошта mykola_berezovyi@diit.edu.ua, ORCID 0000-0001-6774-6737

^{4*}Кафедра «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (068) 409-61-85, ел. пошта viacheslav.malashkin@gmail.com, ORCID 0000-0002-5650-1571

АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ПОЛОЖЕННЯ ГРАНИЧНОГО СТОВПЧИКА МІЖ СУМІЖНИМИ КОЛІЯМИ РІЗНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Мета дослідження, що полягає у розробці відповідних алгоритмів і процедур, які використовуються при імітаційному моделюванні переміщення розрахункового вагона по суміжних коліях. Вказані алгоритми дозволять автоматизувати процес розрахунку положення граничного стовпчика між суміжними коліями різної конструкції з заданою точністю та дотриманням вимог безпеки руху. **Методика.** В процесі дослідження використані методи імітаційного моделювання для моделювання переміщення розрахункового вагону по суміжним коліям. Для визначення основних геометричних характеристик вагону щодо взаємного його положення відносно осі колії використані методи аналітичної геометрії. **Результати.** В результаті виконаних досліджень отримані наступні висновки. Багатоваріантність конструкції суміжних колій у плані не дає можливості створення універсального аналітичного виразу для визначення положення граничного стовпчика. Існуючі методи розрахунку положення граничного стовпчика передбачають максимальне поширення габариту у кривих ділянках, що призводить в результаті до надлишкової відстані між граничним стовпчиком та стрілочним переводом і неефективного використання корисної довжини колій. Розроблені алгоритми та процедури визначення положення граничного стовпчика є універсальними і дозволяють автоматизувати процес розрахунку положення граничного стовпчика між суміжними коліями різної конструкції у плані навіть при зміні технічних нормативів чи параметрів розрахункових вагонів. При цьому змін потребують лише вихідні дані для розрахунку. **Наукова новизна.** Наукова новизна полягає у розробці алгоритмів та процедур для формалізації конструкції суміжних колій та імітаційного моделювання переміщення розрахункового рухомого складу по ним. **Практична значимість.** Розроблені алгоритми і процедури можуть бути реалізовані у вигляді програмного комплексу для автоматизованого розрахунку положення граничного стовпчика з високою точністю. Також одержані результати розрахунків можуть бути використані при аналізі та створенні аналітичного опису положення граничного стовпчика для складних конструкцій суміжних колій.

Ключові слова: граничний стовпчик, розрахунковий вагон, план колії, поширення габаритної відстані, алгоритм, автоматизований розрахунок, безпека руху.

Вступ

Граничний стовпчик (ГС) є важливим елементом залізничної інфраструктури, оскільки відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки руху. Відомо, що ГС повинен встановлюватися в міжколійї на відстані 2,05 м від осі колії з урахуванням поширення габаритної відстані в кривих [1, 2].

Розрахунок положення граничного стовпчика (ГС) між суміжними коліями є не тривіальною задачею, складність якої значно залежить від складності конструкції у плані суміжних колій, між якими він встановлюється. Багатоваріантність конструкції суміжних колій у плані не дає можливості створення універсального

аналітичного виразу для визначення положення граничного стовпчика, хоча у роботі [3] автори намагалися досягти зазначеної мети. Разом з тим у [4] виконані дослідження визначили недосконалості у запропонованих аналітичних виразах, які були запропоновані для автоматизації розрахунку положення ГС.

Також слід зазначити, що результати всебічного наукового аналізу методів визначення положення ГС, отримані у [4], стали основою для подальших досліджень. Отже, представлені у даній роботі результати наукових досліджень є логічним продовженням вказаної роботи.

Мета та завдання дослідження

У зв'язку із складністю аналітичного опису у практичних розрахунках положення граничного стовпчика для різноманітності конструкцій суміжних колій сформульована мета дослідження, що полягає у розробці відповідних алгоритмів і процедур, які використовуються при імітаційному моделюванні переміщення розрахункового вагона по суміжних коліях. Вказані алгоритми можуть бути реалізовані у вигляді програмного комплексу, який дозволить автоматизувати процес розрахунку положення граничного стовпчика між суміжними коліями різної конструкції з заданою точністю та дотриманням вимог безпеки руху.

Основна частина

Використання методів імітаційного моделювання для моделювання переміщення розрахункового вагона по суміжним коліям, які у плані мають різну конструкцію, дозволяє з високою точністю розраховувати положення граничного стовпчика з урахуванням поширення габаритної відстані у кривих ділянках. Для цього розроблена модель розрахункового вагона, яка формалізує його потрібні геометричні характеристики, що задаються вихідними параметрами. Під час імітаційного моделювання переміщення вагона обчислюються розрахункові параметри моделі, які змінюються на кожному кроці. Характеристика вихідних і розрахункових параметрів моделі вагона наведена у табл. 1, а взаємне положення розрахункових параметрів у плані зображено на рис. 1.

Таблиця 1

Параметри моделі вагона

Тип даних	Позначення	Найменування
Вихідні	L	Довжина вагона
	B	База вагона
	d	Торцевий вихід вагона
	p	Габаритна відстань від осі колії
Розрахункові	x_{Z1}, y_{Z1}	Абсциса і ордината точки Z_1
	x_{Z2}, y_{Z2}	Абсциса і ордината точки Z_2
	x_{U1}, \dots, x_{U4}	Абсциси кутових точок вагона
	y_{U1}, \dots, y_{U4}	Ординати кутових точок вагона
	V	Абсолютний кут положення у плані поздовжньої осі вагона

Розрахункові параметри моделі вагона визначаються з використанням методів аналітичної геометрії [5] залежно від заданої абсциси x_{Z1} положення переднього за напрямком переміщення

шквореня (якщо можна так висловитися стосовно 2-вісного вагона) наступними кроками.

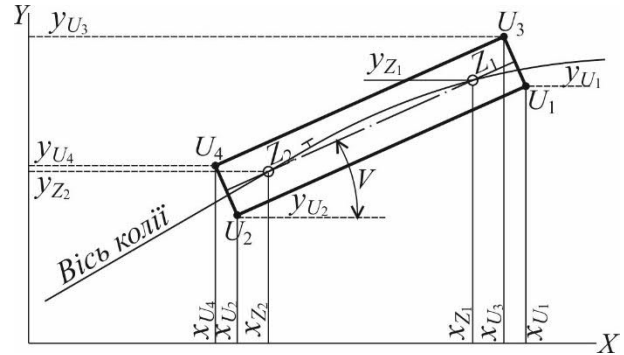


Рис. 1 Розрахункові параметри моделі вагона

Алгоритм визначення положення вагона відносно осі колії

Крок 1. За даними плану колії визначається елемент, на якому знаходиться точка Z_1 . Порядковий номер i цього елемента на колії j відповідає умові

$$x_{п.i} \leq x_{Z1} < x_{к.i}, \quad i = 1..n_j. \quad (3)$$

Крок 2. Розраховується ордината точки Z_1 :
– для прямої ділянки

$$y_{Z1} = y_{п.i} + (x_{Z1} - x_{п.i}) \operatorname{tg} F_{п.i};$$

– для кривої ділянки

$$y_{Z1} = y_0 - \sqrt{R^2 - (x_{Z1} - x_0)^2} \operatorname{sign}(\varphi_i).$$

Крок 3. Визначається елемент i плану, на якому знаходиться точка Z_2 вагона, що відповідає умові:

$$D = \sqrt{(x_{Z1.i} - x_{п.i})^2 + (y_{Z1.i} - y_{п.i})^2} \geq B, \quad i = 1..n_j \quad (4)$$

Положення точки Z_2 відповідає точці перетину кривої радіусом B (центр в точці Z_1) з траєкторією відповідного елемента: прямою ділянкою (див. рис. 2, а) або кривою (рис. 2, б).

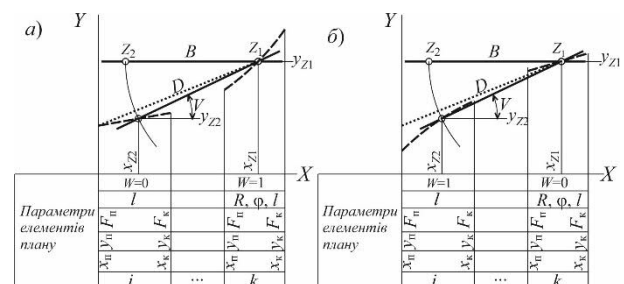


Рис. 2. Схема розрахунку положення точки Z_2 вагона

Координати точки Z_2 у плані визначаються за допомогою аналітичних виразів:

– загальні

$$dx = x_{Z1} - x_{0,i}; \quad dy = y_{Z1} - y_{0,i};$$

$$D = \sqrt{dx^2 + dy^2};$$

$$k_1 = \frac{|dX|}{D}; \quad k_2 = \frac{|dY|}{D};$$

$$b = \frac{D^2 + B^2 - R_i^2}{2D}; \quad h = \sqrt{B^2 - b^2};$$

– для $dx < 0$

$$\Delta x = k_2 h - k_1 b;$$

$$\Delta y = k_1 h + k_2 b;$$

$$x_{Z2} = x_{Z1} - \Delta x;$$

$$y_{Z2} = y_{Z1} - \Delta y \cdot \text{sign}(dY)$$

– для $dx > 0$

$$\Delta x = k_2 h + k_1 b;$$

$$\Delta y = k_1 h - k_2 b;$$

$$x_{Z2} = x_{Z1} - \Delta x;$$

$$y_{Z2} = y_{Z1} + \Delta y \cdot \text{sign}(dY).$$

Отримані в результаті виконаних розрахунків координати точок Z_1 і Z_2 дозволяють визначити положення в плані осі вагона:

$$V = \arcsin \frac{y_{Z1} - y_{Z2}}{B}. \quad (5)$$

Крок 4. Визначаються координати кутових точок вагона (див. рис. 1):

– передньої нижньої

$$x_{U1} = x_{Z1} + d \cos V + p \sin V,$$

$$y_{U1} = y_{Z1} + d \sin V - p \cos V;$$

– передньої верхньої

$$x_{U3} = x_{Z1} + d \cos V - p \sin V,$$

$$y_{U3} = y_{Z1} + d \sin V + p \cos V;$$

– задньої нижньої

$$x_{U2} = x_{Z2} - d \cos V - p \sin V,$$

$$y_{U2} = y_{Z2} - d \sin V - p \cos V;$$

– задньої верхньої

$$x_{U4} = x_{Z2} - d \cos V + p \sin V,$$

$$y_{U4} = y_{Z2} - d \sin V + p \cos V.$$

За встановленими параметрами положення вагона на плані колії розраховуються (див. рис. 3):

1) ординати будь-яких точок на бокових гранях вагона в окремій абсцисі $x_{зад}$ координатної площини:

$$– \text{верхня грань } y_2 = y_{U1} - (x_{U1} - x_{зад}) \text{tg} V;$$

$$– \text{нижня грань } y_{ТН} = y_{U3} - (x_{U3} - x_{зад}) \text{tg} V.$$

2) відстані S до цих точок від передніх кутових точок U_1 і U_3

$$S_{Н(В)} = \frac{x_{U1(U3)} - x_{зад}}{\cos V}.$$

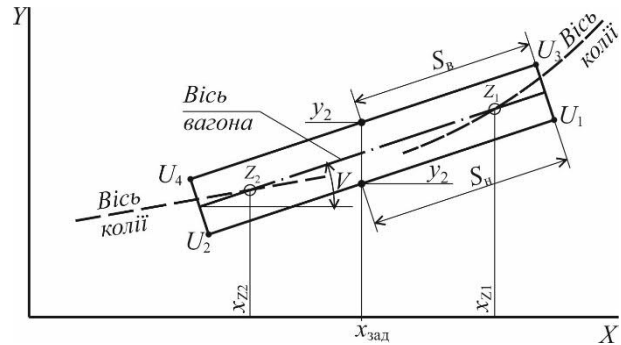


Рис. 3. Схема розрахунку параметрів контрольних точок вагона

Алгоритм визначення положення об'єктів відносно осі колії

Основна задача полягає у визначенні в заданій абсцисі плану колійного розвитку $x_{зад}$ (див. рис. 4) максимального зміщення вагонів відносно колії, тобто мінімальної ординати $y_{1,min}$ серед усіх точок нижньої бокової грані вагона №1 на колії №1 і максимальної ординати $y_{2,max}$ серед точок верхньої бокової грані вагона №2 на колії №2.

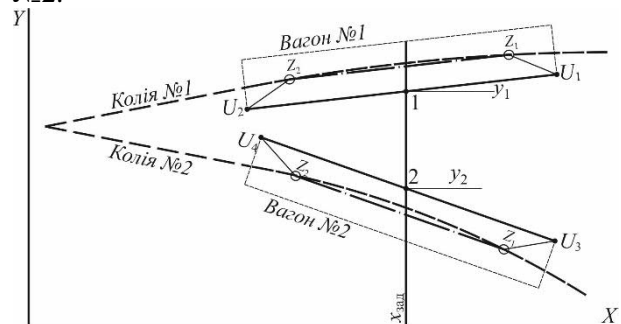


Рис. 4. Схема розміщення вагонів на суміжних коліях

Принцип визначення цих точок полягає у послідовному переміщенні двох моделей вагонів суміжними коліями і знаходження на плані точки, яка відповідає умовам безпечного розташування вагонів. Згідно з наведеною на рис. 4

схемою окремого довільного положення вагонів, очевидно, що розрахунки параметрів вагонів достатньо виконувати для тих елементів, які знаходяться поміж коліями: для вагона №1 на колії №1 – точок Z_1, Z_2, U_1, U_2 , для вагона №2 на колії №2 – точок Z_1, Z_2, U_3, U_4 .

З використанням моделей суміжних колій і розрахункового вагона для окремого значення абсциси $x_{зад}$, що задається ітераційним методом в межах $(x_{min} \dots x_{max})$ для шквореня Z_1 здійснюються розрахунки викладених вище параметрів вагонів. Шляхом переміщення моделі вагона від початкового положення $x_{Z1} = x_{min}$ (як показано на рис. 5 на прикладі вагона №1 на колії №1) до кінцевого положення $x_{Z1} = x_{max}$ з деяким кроком $\Delta x < 0,01$ м, визначаються ординати точок нижньої бокової грані вагона $y_{1,i}$, фіксується її мінімальне значення і відповідні параметри положення вагона. Ця процедура показана на прикладі 4-х положень вагона, з яких мінімальне $y_{1,min}$ (визначено графічно) отримано у кінцевому положенні. Отже, розрахункова точка з координатами $(x_{зад}, y_{1,min})$ має необхідне відхилення від осі колії №1, і відповідає вимогам до розміщення ГС.

Аналогічно здійснюється визначення положення таких розрахункових точок на колії №2. При цьому розрахунки $y_{1,max}$ здійснюються для точок, що мають відхилення у бік міжколійного простору, тобто знаходяться на верхній боковій грані вагона.

Для більш спрощеного сприйняття, пошук потрібної точки можна пояснити наступним чином: якщо умовно поблизу колії на відстані r помістити жердину, що може пересуватися по осі Y , то пропускаючи повз неї вагон з параметрами нормативних габаритів (для прямих ділянок), отримаємо після його проходу жердину в положенні, що забезпечує безпечний прохід вагонів. Таким чином, не розраховуючи величини зміщення, що є складним процесом, отримаємо бажаний результат.

Сукупність точок $y_{1,min}$ і $y_{2,max}$, отриманих для різних $x_{зад}$, утворюють для відповідної колії лінію $y_i = f(x)$ допустимого розташування ГС (чи іншого об'єкта). Вказані результати наведені схематично на рис. 6.

При моделюванні переміщення вагону здійснюється визначення $y_{1,min}$ і $y_{2,max}$ в окремій абсцисі x_i для кожного вагона на відповідній колії, і на кожному кроці визначається їх різниця $\Delta y = y_{2,max} - y_{1,min}$. У випадку зміни знаку Δy на поточному кроці, у проміжку $(x_{i-1} \dots x_i)$ ітераційно здійснюється пошук $x_{ГС}$ за умови $\Delta y = 0$.

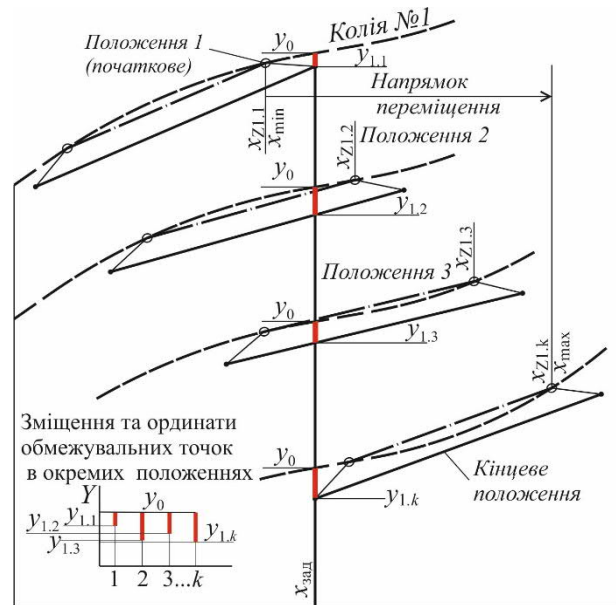


Рис. 5. Принцип визначення максимального зміщення вагона в окремій абсцисі плану колії

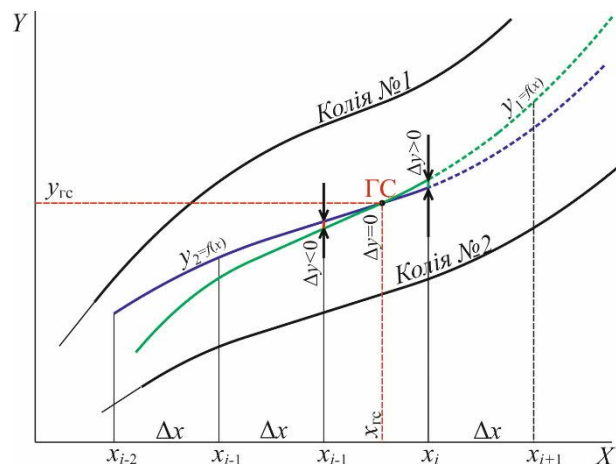


Рис. 6. Принцип визначення положення ГС

Процес моделювання завершується при досягненні вагонами кінця маршруту x_{max} на обох коліях. При цьому будуть виявлені усі точки, що відповідають умові $\Delta y = 0$.

Результатами розрахунків є координати точок, що відповідають умові $\Delta y = 0$ і параметри вагонів в місці розташування ГС або інших об'єктів.

Порядок визначення прив'язки положення ГС до осей суміжних колій

Наступною задачею після розрахунку координати ГС або іншого об'єкта є задача його прив'язки до колій, тобто визначення відстані від початку елемента плану до точки проєкції об'єкта на цей елемент. Для вирішення цієї задачі розглянемо відповідну розрахункову схему, що наведена на рис. 7.

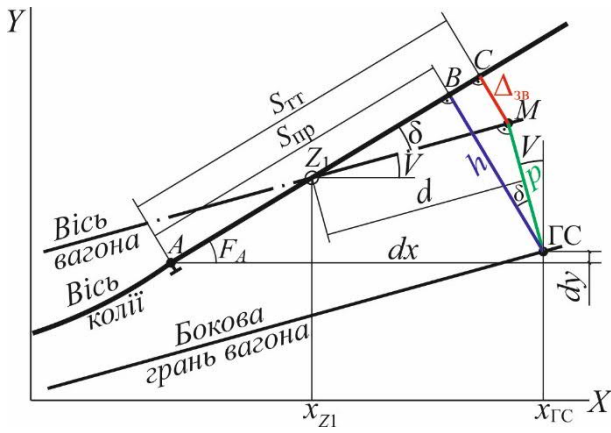


Рис. 7. Розрахункова схема для визначення прив'язки положення ГС до прямої ділянки колії

Представимо, що за допомогою вищенаведених алгоритмів і процедур розраховані координати (x, y) точок ГС, А, кути нахилу елемента профілю F та осі вагона V . У випадку, коли проекція ГС знаходиться на прямому елементі (рис. 7), практичні відстані для розбивки на місцевості ($S_{пр}$, h) визначаються за виразами:

$$dx = x_{ГС} - x_A; \quad dy = y_{ГС} - y_A;$$

$$S = \Delta y \sin F + \Delta x \cos F; \quad h = \Delta x \sin F - \Delta y \cos F.$$

З іншого боку, як видно з рис. 7, величина h дорівнює

$$h = \Delta_{зв} + p \cos \delta,$$

де δ – різниця між кутами елемента плану і вагона, $\delta = F - V$.

Оскільки при моделюванні величина $\Delta_{зв}$ в явному вигляді не визначалась, тепер її можна визначити за допомогою виразу

$$\Delta_{зв} = h - p \cos \delta.$$

При цьому значення величини δ визначається на етапі моделювання переміщення розрахункового вагону. Таким чином, моделювання вказаного процесу дозволяє отримати параметри, які аналітично розрахувати дуже складно.

З метою узагальнення, розглянемо розрахунок результатів у випадку, коли проекція ГС попадає на криву ділянку, за розрахунковою схемою на рис. 8. Порядок розрахунку складається з декількох кроків.

Крок 1. Розрахунок кута φ :

$$dx = x_{ГС} - x_o; \quad dy = y_o - y_{ГС}; \quad \varphi = \arctg \frac{dx}{dy}.$$

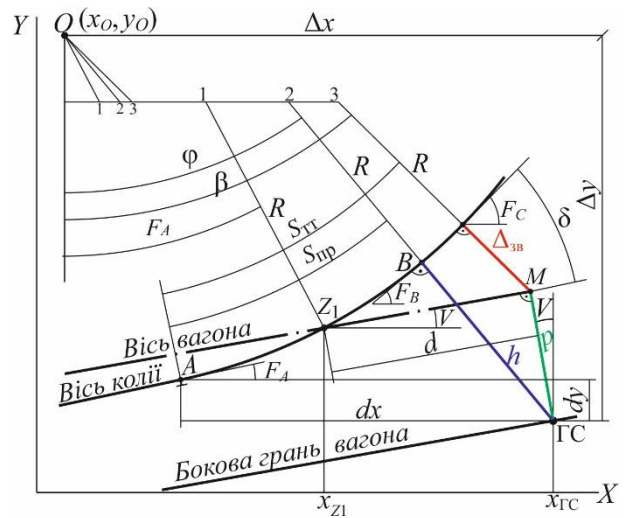


Рис. 8. Розрахункова схема для визначення прив'язки ГС до кривої ділянки колії

Крок 2. Розрахунок $S_{пр}$:

$$L_{О-ГС} = \sqrt{dx^2 + dy^2};$$

$$h = L_{О-ГС} - R; \quad S_{пр} = \frac{\pi R(\varphi - F_{п})}{180}.$$

Крок 3. Розрахунок координат точки М:

$$x_M = x_{ГС} - p \sin V; \quad y_M = y_{ГС} + p \cos V.$$

Крок 4. Розрахунок $S_{тт}$.

$$dx = x_M - x_o; \quad dy = y_o - y_M; \quad \beta = \arctg \frac{dx}{dy};$$

$$L_{ОМ} = \sqrt{dx^2 + dy^2};$$

$$\Delta_{зв} = L_{ОМ} - R; \quad S_{тт} = \frac{\pi R(\beta - F_{п})}{180}.$$

Таким чином, розроблені алгоритми і процедури є універсальними і дозволяють автоматизувати процес розрахунку положення граничного стовпчика між суміжними коліями різної конструкції у плані навіть при зміні технічних нормативів чи параметрів розрахункових вагонів. При цьому змін потребують лише вихідні дані для розрахунку.

Приклад розрахунку положення граничного стовпчика

Для прикладу розглянемо порядок визначення положення граничного стовпчика для наведеної на рис. 9 схеми колійного розвитку за наступними вихідними даними:

– стрілочний перевід марки 1/6 симетричний;

- стрілочний кут $\alpha = 9^{\circ}27'45''$,
- $\alpha / 2 = 4^{\circ}43'52,5''$;
- радіус кривої $R = 200$ м;
- міжколійна відстань $E = 5,3$ м.

Розрахункові параметри кінцевого сполучення:

- тангенс кривої

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4} = 200 \operatorname{tg} \frac{9^{\circ}27'45''}{4} = 8,262 \text{ м};$$

- довжина прямої ділянки

$$l = \frac{E}{2 \sin(\alpha / 2)} - T = \frac{5,3}{2 \sin(4^{\circ}43'52,5'')} - 8,262 = 23,866 \text{ м};$$

- міжколійна відстань на початку кривих ділянок

$$C = 2l \sin(\alpha / 2) = 2 \cdot 23,866 \cdot \sin(4^{\circ}43'52,5'') = 3,937 \text{ м}.$$

Граничний стовпчик потрапляє в зону кривих ділянок, тому визначимо максимальну величину поширення

$$\Delta = \frac{36}{R} = \frac{36}{200} = 0,180 \text{ м}.$$

Отримане значення наведено на розрахунковій схемі, яка представлена на рис. 9, а. За даною схемою визначаємо:

$$\begin{aligned} \beta &= \arccos \frac{R - E / 2}{R - p - \Delta} = \\ &= \arccos \frac{200 - 5,3 / 2}{200 - 2,05 - 0,180} = \\ &= \arccos(0,997876) = 3,735^{\circ}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{ГС}} &= (l + T) \cos(\alpha / 2) + T - (R - E / 2) \operatorname{tg} \beta = \\ &= (23,866 + 8,262) \cdot \cos(9^{\circ}27'45'' / 2) + \\ &+ 8,262 - (200 - 5,3 / 2) \operatorname{tg} 3,735^{\circ} = 27,399 \text{ м}. \end{aligned}$$

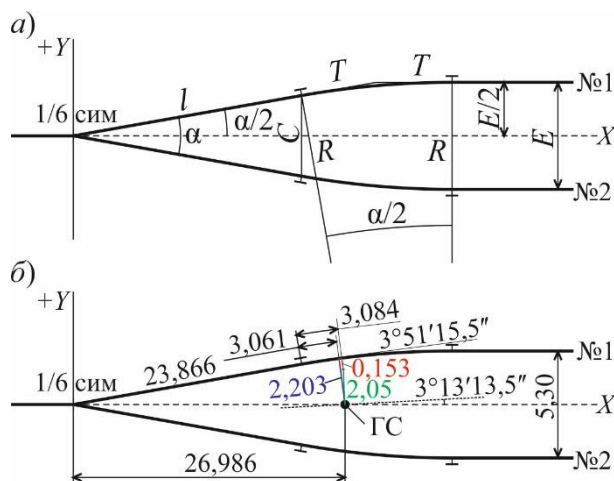


Рис. 9. Вихідні дані та результати розрахунків положення ГС:

а – розрахункова схема; б – результати розрахунків

За розрахунковою схемою підготовлені вихідні дані плану колій для розрахунку положення ГС з допомогою комп'ютерної програми «Розрахунок положення граничного стовпчика», в основі якої використані розроблені алгоритми і процедури. Зазначені вихідні дані наведені в табл. 2.

Результати розрахунків наведені на рис. 9, б. Головне вікно програмного комплексу з вихідними даними та отриманими результатами розрахунків наведено на рис. 10.

Відстань (по осі X) від центру стрілочного переводу до ГС за результатами автоматизованого розрахунку становить 26,986 м і менша відстані за результатом аналітичного розрахунку на 0,413 м. Це пов'язано з тим, що при аналітичному розрахунку враховано максимальне поширення габаритної відстані і не враховано різницю кутів нахилу осей колії та вагона. Разом з тим у розроблених алгоритмах ці фактори враховані точно і в зоні ГС отримано поширення $\Delta_{\text{вн}} = 0,153$ м.

Таблиця 2

Вихідні дані плану суміжних колій

Параметри першого елемента	Колія №1			Колія №2		
	$X_{\text{початк}}$	$Y_{\text{початк}}$	$F_{\text{початк}}$	$X_{\text{початк}}$	$Y_{\text{початк}}$	$F_{\text{початк}}$
	0	0	$4^{\circ}43'52,5''$	0	0	$-4^{\circ}43'52,5''$
Параметри елементів колій						
№ елем	Довжина	Радіус	Кут повороту	Довжина	Радіус	Кут повороту
1	23,866			23,866		
2		200	$-4^{\circ}43'52,5''$		200	$4^{\circ}43'52,5''$
3	25,0			25,0		
4						

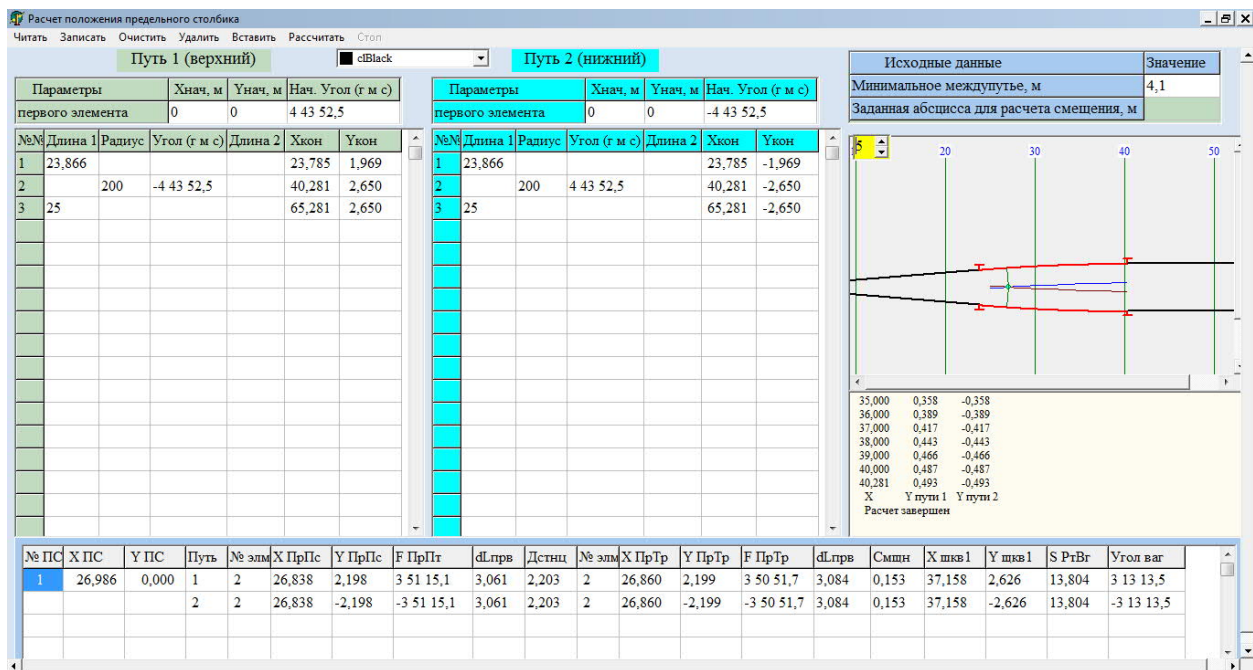


Рис. 10. Головне вікно програмного комплексу під час визначення положення ГС для заданої схеми

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна полягає у розробці алгоритмів та процедур для формалізації конструкції суміжних колій та імітаційного моделювання переміщення розрахункового рухомого складу по ним. Вказані алгоритми і процедури можуть бути реалізовані у вигляді програмного комплексу для автоматизованого розрахунку положення граничного стовпчика з високою точністю. З практичної точки зору одержані результати можуть бути використані при створенні аналітичного опису положення граничного стовпчика для складних конструкцій суміжних колій.

Висновки

В результаті виконаних досліджень отримані наступні висновки.

1. Багатоваріантність конструкції суміжних колій у плані не дає можливості створення універсального аналітичного виразу для визначення положення граничного стовпчика.

2. Існуючі методи розрахунку положення граничного стовпчика передбачають максимальне поширення габариту у кривих ділянках, що призводить в результаті до надлишкової відстані між граничним стовпчиком та стрілочним переводом і неефективного використання корисної довжини колій.

3. Розроблені алгоритми та процедури визначення положення граничного стовпчика є

універсальними і дозволяють автоматизувати процес розрахунку положення граничного стовпчика між суміжними коліями різної конструкції у плані навіть при зміні технічних нормативів чи пара-метрів розрахункових вагонів. При цьому змін потребують лише вихідні дані для розрахунку

4. Представлені алгоритми і процедури можуть бути реалізовані у вигляді програмного комплексу для автоматизованого розрахунку положення граничного стовпчика з заданою точністю у різних експлуатаційних умовах з дотриманням необхідних умов безпеки руху.

5. Результати розрахунків, отримані з використанням розроблених алгоритмів та процедур, можуть бути використані при аналізі та створенні аналітичних виразів для визначення положення граничного стовпчика при використанні заданої конструкції у плані суміжних колій.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Проектирование железнодорожных станций и узлов [Текст]: справ. и метод. руководство / под ред. А. М. Козлова, К. Г. Гусевой. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Транспорт, 1981. – 592 с.

2. Проектирование станционных колій. Роз'їзди, об'їзні пункти та проміжні станції: приклади та задачі: навч. посіб. для студентів ВНЗ / М. І. Березовий, М. П. Божко, В. В. Журавель, Є. Б. Демченко; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро: Герда, 2017. – 196 с. – ISBN 978-617-7097-81-4.

3. Бобровский, В. И. Автоматизация определения положения предельных столбиков и сигналов / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко // Залізничний транспорт України. – 2004. – № 4. – С. 14–16.

4. Козаченко, Д. М. Аналіз існуючих методів розрахунку положення граничних стовпчиків / Д. М. Козаченко, Божко М. П., М. І. Березовий, В. В. Малашкін // Транспортні системи і технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпров. нац. ун-ту залізн. трансп. ім.

акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2022. – Вип. 24. – С. 75-80. – DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2022/272303>.

5. Аналітична геометрія: підруч. для студ. вищ. техн. навч. закл. / Б. В. Гриньов, І. К. Кириченко. — Х. : Гімназія, 2008. — 340 с.

Надійшла до редколегії 09.12.2022.

Прийнята до друку 18.12.2022.

D. KOZACHENKO, M. BOZHKO, M. BEREZOVYI, V. MALASHKIN

AUTOMATION OF CALCULATING THE POSITION OF THE BOUNDARY COLUMN BETWEEN ADJACENT TRACKS OF DIFFERENT DESIGNS

The purpose of the study is to develop appropriate algorithms and procedures used in simulating the movement of a model car along adjacent tracks. These algorithms will automate the process of calculating the position of the boundary column between adjacent tracks of different designs with a given accuracy and compliance with traffic safety requirements. **Scientific methods.** In the course of the study, simulation methods were used to model the movement of the design car along the adjacent tracks. Analytical geometry methods were used to determine the main geometric characteristics of the car in terms of its relative position relative to the track axis. **Results.** The following conclusions were obtained as a result of the research. The multivariability of the design of adjacent tracks in the plan does not make it possible to create a universal analytical expression for determining the position of the boundary column. Existing methods for calculating the position of the boundary post provide for the maximum spread of the dimension in curved sections, which results in an excessive distance between the boundary post and the switch and inefficient use of the useful track length. The developed algorithms and procedures for determining the position of the boundary column are universal and allow automating the process of calculating the position of the boundary column between adjacent tracks of different designs in the plan, even when technical standards or parameters of the design cars change. In this case, only the initial data for the calculation need to be changed. **Scientific novelty.** The scientific novelty lies in the development of algorithms and procedures for formalizing the design of adjacent tracks and simulating the movement of design rolling stock on them. **Practical significance.** The developed algorithms and procedures can be implemented in the form of a software package for automated calculation of the position of the boundary column with high accuracy. Also, the obtained results of calculations can be used in the analysis and creation of an analytical description of the position of the boundary column for complex structures of adjacent tracks.

Keywords: boundary column, design car, track plan, spread of the overall distance, algorithm, automated calculation, traffic safety.

Наукове видання

З Б І Р Н И К

наукових праць

**Дніпровського національного університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ»

Випуск 25

(українською та англійською мовами)

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
КВ № 17328-6098Р від 14.10.2010 р. видане Міністерством юстиції України*

*Відповідальний за випуск М. І. Березовий
Комп'ютерне верстання В. В. Малашкін*

Статті в збірнику друкуються в авторській редакції

Формат 60x84¹/₈. Ум. друк. арк. 10,70.

*Адреса редакції та видавця:
вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, 49010, Україна
Тел.: +38 (056) 793-19-13, e-mail: n.berezovy@gmail.com
<http://tsst.diit.edu.ua>*