

2 (157)' 2024

**ІНФОРМАЦІЙНО - КЕРУЮЧІ  
СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ  
ТРАНСПОРТІ**

Виходить 4 рази на рік

Видається з 23 квітня 1996 р.

**INFORMACIJSNO-KERUJUCHI  
SYSTEMY NA ZALIZNYCHNOMU  
TRANSPORTI**

**Зміст – Contents**

**Видання**

Українського державного  
університету залізничного  
транспорту



ГАЙДУК Д. А., БУТЬКО Т. В.

**Удосконалення автоматизованої системи  
«Надзвичайна ситуація» у взаємодії з АСК ВП УЗ Є  
для керування рухом поїздів із використанням  
системи підтримки прийняття рішень**

..... 3

ПОПОВ М. Д., МАЛАХОВА О. А., СІКОНЕНКО Г. М.,  
ШАНДЕР О. Е.

**Аналіз ключових показників ефективності роботи  
залізничних транспортних систем Network Rail і  
Infrabel**

..... 7

МОЙСЕЄНКО В., БУТЕНКО В., СОКОЛОВ  
А., ЯРАНЦЕВ В.

**Розроблення мобільного додатка подоружувальника**

..... 18

КАГРАМАНЯН А.О., КОВАЛЬОВ А.О.,ЗАПАРА В.М.,ЗАПАРА Я.В.,  
ШАПАТИНА О.О.

**Адаптивна концентрація у вантажній і комерційній роботі в умовах  
інформатизації технологічних процесів на залізниці України**

.....25

НЕРУБАЦЬКИЙ В. П., ПЛАХТІЙ О. А., ІВАХНО В. В., ГОРДІЄНКО Д. А.,  
ШЕЛЕСТ Д. А.

**Аналіз методів керування випрямно-інверторного перетворювача  
електровоза**

.....33

БЕРЕСТОВ І. В., ПЕСТРЕМЕНКО-СКРИПКА О. С.,

**Удосконалення процедур митного контролю та оформлення міжнародних  
вантажів при перевезенні залізничним транспортом в умовах цифровізації**

.....45

АНАНЬЄВА О. М., БАБАЄВ М. М., ДАВИДЕНКО М. Г., ПАНЧЕНКО В. В.

**Оцінювання параметрів неперервного зондуєчого сигналу при тестуванні  
обмотки статора трифазного асинхронного двигуна**

.....52

КУЦЕНКО М.Ю., ТОКАРЕНКО С.О., ВІВДИЧЕНКО С.В

**Метод визначення положення одновагонних відчепів у момент їхнього  
відриву від состава при розпуску з гірки**

.....61

МОЙСЕСЕНКО В. І., ГАВРИЛОВ М. О

**Удосконалення системи електроживлення об'єктних контролерів  
мікропроцесорної централізації**

.....68

СЛІЗАРЕНКО А. О., СЛІЗАРЕНКО І.О

**Регулювання користуванням радіочастотним спектром в системах  
залізничного технологічного радіозв'язку**

.....75

ПАРХОМЕНКО Л. О., ПРОХОРОВ В. М., КАЛАШНІКОВА Т. Ю., КОФАНОВ  
О. В

**Формування моделі ризику в задачі забезпечення дотримання строку  
доставлення вантажів в умовах невизначеності з використанням теорії  
нечітких множин і теорії Демпстера-Шафера**

.....81

ГАЙДУК Д. А., аспірант  
БУТЬКО Т. В., д.т.н., професор  
(Український державний університет залізничного транспорту)

## Удосконалення автоматизованої системи «Надзвичайна ситуація» у взаємодії з АСК ВП УЗ Є для керування рухом поїздів із використанням системи підтримки прийняття рішень

***Анотація.** Продукцію завжди супроводжують ризики на кожному з етапів – від виробництва до реалізації. На залізничному транспорті під продукцією розуміють перевезення вантажів і пасажирів, і цей процес також перебуває під постійними потенційними ризиками – від початку підготовки рухомого складу або вантажу до перевезення й до його здійснення. Одним із напрямів, спрямованих на мінімізацію ризиків, є використання автоматизованих систем (АС).*

*На залізничному транспорті АС активно застосовують за різних напрямів діяльності, проте в останні роки майже відсутній їхній розвиток. У перевізному процесі головною автоматизованою системою виступає АСК ВП УЗ Є, яка зберігає та обробляє великий масив інформації, що поступає у вигляді вхідних даних із таких основних автоматизованих робочих місць, як АРМ ДСП, ДНЦ, ДГП, агентів комерційних тощо.*

*У роботі проведено аналіз впроваджуваної АС «Надзвичайна ситуація» і запропоновано структуру її взаємодії з АСК ВП УЗ Є для організації перевізного процесу в разі виникнення нестандартних ситуацій у вигляді системи підтримки прийняття рішень (СППР).*

***Ключові слова:** інформаційно-аналітичне забезпечення, автоматизоване робоче місце, надзвичайна ситуація, АСК ВП УЗ Є, система підтримки прийняття рішень.*

### **Вступ.**

Перевізний процес залізничним транспортом перебуває під потенційними ризиками на всьому етапі його здійснення. У разі виникнення надзвичайних ситуацій, з метою мінімізації наслідків і збитків, виникає необхідність у своєчасному надходженні інформації від оперативної до управляючої ланки. Це дає змогу своєчасно визначити алгоритм дій і комплекс заходів відповідних служб і підрозділів, спрямованих на забезпечення руху поїздів, захист працівників залізниці та пасажирів, схоронність вантажів тощо. З метою удосконалення цього процесу на залізницях України триває впровадження автоматизованої системи «Надзвичайна ситуація» (АС «НС»).

### **Постановка проблеми.**

Наявне інформаційно-аналітичне забезпечення у випадку виникнення нестандартних ситуацій не передбачає використання жодної з автоматизованих систем. Впровадження АС «НС» є дуже важливим для удосконалення обліку, інформативності та своєчасного оповіщення про надзвичайні події з метою прийняття ефективних управлінських рішень. До того ж, використання АС «НС» відкриває можливості для взаємодії з АСК ВП УЗ Є щодо автоматизації процесу прийняття рішень з організації перевезень при виникненні нестандартних ситуацій, що і розглянуто в статті.

### **Аналіз досліджень і публікацій.**

Використання системи підтримки прийняття рішень (СППР) у залізничній галузі активно досліджують. Так, актуальність напряму підтверджено в роботі закордонних авторів [1], які підкреслюють необхідність проведення аналізу та оцінювання ризиків із метою визначення несприятливих для операційної діяльності умов, а також розроблення заходів, спрямованих на їх зниження. Автори дослідження [2] зосереджують увагу на важливості наявності бази транспортних подій для прийняття оптимальних рішень, особливо в умовах обмежених людських та економічних ресурсів. У статті [3] розглянуто використання системи підтримки прийняття рішень за виконання сортувальних операцій на станції. Так, система дає інформацію оператору гірки про дії в разі виникнення відхилень від нормальної роботи або в умовах економії ресурсів.

### **Мета дослідження.**

Формування структури взаємодії АС «НС» з АСК ВП УЗ Є з використанням системи підтримки прийняття рішень на АРМах оперативного персоналу.

### **Викладення основного матеріалу дослідження.**

Метою впровадження АС «НС» є удосконалення обліку транспортних подій на залізничному транспорті з використанням спеціалізованої для цього системи та своєчасного

оповіщення про всі деталі події причетних працівників.

Наявним інформаційно-аналітичним забезпеченням встановлено фіксовані часові рамки, протягом яких кожен із причетних працівників повинен повідомити про подію, що виникла, і надати якомога повну інформацію. До впровадження АС «НС» обмін повідомленнями відбувався в телефонному режимі без використання автоматизованих систем.

АС «НС» передбачає можливість вносити та редагувати інформацію про транспортну подію, встановлювати класифікацію і автоматично сповіщати причетних працівників. На підставі введеної інформації відбувається формування єдиної бази даних

про транспортні події.

Впровадження АС «НС» передбачає реалізацію таких супутніх підсистем: АРМ «Транспортна подія», що забезпечує облік, систематизацію та аналіз транспортних подій; АРМ «Незаконні втручання» – реєстрація випадків несанкціонованого втручання в діяльність залізничного транспорту; АРМ «Крадіжка» у разі виявлення випадків розкрадання майна залізничного транспорту; АРМ «ДТП» для випадків виникнення дорожньо-транспортних подій на станціях, переїздах, а також за їхніми межами. На рис. 1 наведено запропонований SWOT-аналіз впровадження АС «НС».

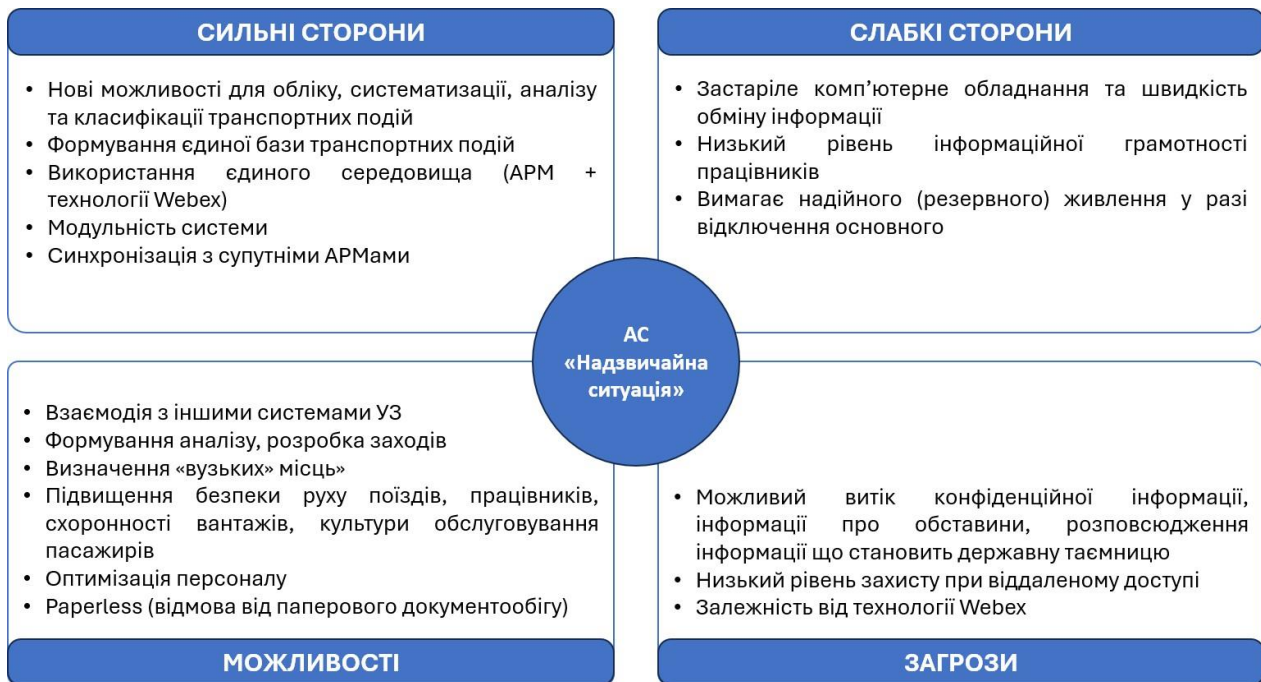


Рис. 1. SWOT-аналіз АС «Надзвичайна ситуація»

Отже, АС «НС» виступає джерелом даних про транспортні події на мережі залізниць, а інформація, що надходить до неї, може бути використана для автоматизації прийняття оперативних рішень з організації перевізного процесу.

Наприклад, у разі виникнення аварії на переїзді на одному з напрямків інформація про подію, а саме колія, кілометр, пікет, перегін або станція, може бути використана як вихідні дані з передаванням до АСК ВП УЗ Є. Далі інформацію синхронізують із підсистемами АСК ВП УЗ Є та АСК ПП УЗ для аналізу поїзного стану: які поїзди прямують за цим маршрутом, їхня пріоритетність, можливий час затримки тощо. На підставі зробленого аналізу, на основі СППР керівна ланка узгоджує та приймає рішення про організацію руху поїздів, зокрема

альтернативним маршрутом. Рішення про надання альтернативного маршруту потребує ґрунтовного аналізу топології мережі та експлуатаційних витрат, тому необхідна реалізація як окреме завдання, що було розглянуто попередньо [4]. На підставі прийнятого рішення інформація надходить до АРМів ДНЦ, ДСП (СТ Д) як нитки фонового прогнозного графіка руху з визначеними пріоритетами пропускання поїздів, зайнятості станційних колій, орієнтовного часу затримки тощо. На рис. 2 наведено сформовану схему взаємодії причетних працівників і систем: прямою лінією – порядок взаємодії, що передбачено реалізацією АС «НС»; контурною лінією – впровадження порядку взаємодії АС «НС» з АСК ВП УЗ Є.



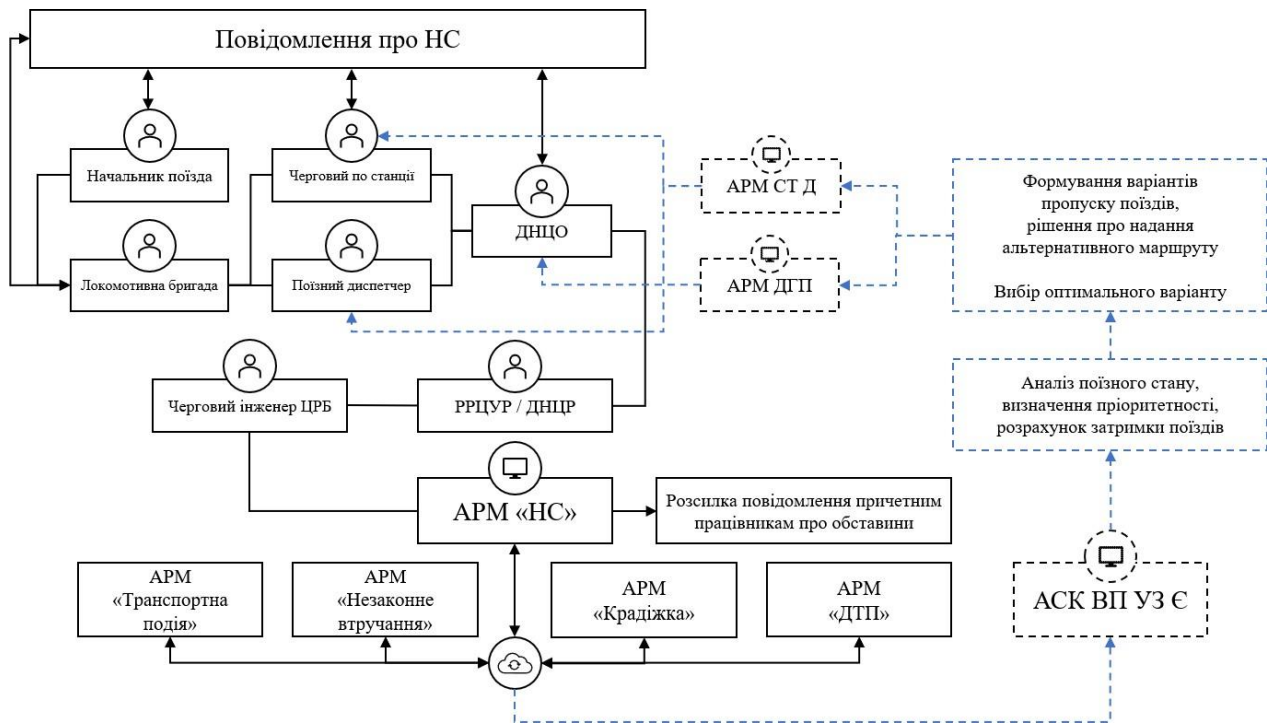


Рис. 2. Схема взаємодії причетних працівників у разі виникнення НС

Запропонована структура взаємодії АС «НС» з АСК ВП УЗ Є створює умови для реалізації складного, проте важливого процесу управління перевезеннями в умовах ризиків на основі СППР, що визначає порядок пропускання поїздів за виникнення транспортної події з урахуванням пріоритетності, часу затримки тощо. Прийняте рішення відображатиметься у вигляді прогнозного графіка руху поїздів на АРМах оперативного персоналу.

**Висновки.**

Впровадження автоматизованої системи «Надзвичайна ситуація» відкриває можливості для використання ризик-орієнтовних технологій, формалізованих у вигляді оптимізаційних математичних моделей, що інтегровані на АРМ оперативного персоналу. Формування єдиної бази транспортних подій може бути використано для аналізу та прогнозування ризиків із метою вживання своєчасних заходів для мінімізації їхніх наслідків. Модульність системи дає змогу розробити нові підсистеми, а також взаємодію з наявними автоматизованими системами, використовуваними на залізницях України. Запропонована структура взаємодії АС «НС» з АСК ВП УЗ Є спрямована на зменшення наслідків за виникнення транспортних подій.

**Список використаних джерел**

1. Risk assessment for rail freight transport operations / L. Szaciłło та ін. *Eksplatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability*. 2021. Т. 23, № 3. С. 476–488. URL: <https://doi.org/10.17531/ein.2021.3.8> (дата звернення 22.02.2024).

2. Marchetta V., Graziano A. D., Contino F. A methodology for introducing the impact of risk analysis in local railways improvements decisions. *Transportation Research Procedia*. 2023. Т. 69. С. 424–431. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.191> (дата звернення 26.02.2024).

3. Decision Support System for Managing Marshalling Yard Deviations / N. Vitković та ін. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2024. Т. 21, № 1. С. 121–134. URL: <https://doi.org/10.12700/aph.21.1.2024.1.8> (дата звернення 26.03.2024).

4. Формалізація процедури надання альтернативного маршруту швидкісним пасажирським поїздам на основі ризик-менеджменту / Т. В. Бутко та ін. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2023. Т. 28, № 1. С. 31–37. URL: <https://doi.org/10.18664/ikszt.v28i1.276341> (дата звернення 03.03.2024).

**Butko T. V., Haiduk D. A. Improvement of the automated system «Emergency Situation» in interaction with the «ASK VP UZ E» to control train traffic using a decision support system.**

**Abstract.** Products are always accompanied by risks at each stage - from production to sale. In railway transport, products mean the transportation of goods and passengers, and this process is also subject to constant potential risks - from the beginning of the preparation of rolling stock or cargo to transportation and its implementation. One of the areas aimed at minimizing risks is the use of automated systems (AS).

AS are actively used in railway transport in

various areas of activity, but their development has been almost non-existent in recent years. In the transportation process, the main automated system is the «ASK VP UZ E», which stores and processes a large array of information that comes in the form of input data from such main automated workplaces as DSP, DNC, DGP, commercial agents, etc.

In this paper, an analysis of the AS «Emergency Situation», which is being implemented, is carried out, and propose the structure of its interaction with the «ASK VP UZ E» to organize the transportation process in case of non-standard situations in the form of a decision support system (DSS).

The proposed structure of interaction between AS «Emergency Situation» and «ASK VP UZ E» creates conditions for the implementation of the transportation management in conditions of risks. Information about the transport event is transmitted to the «ASK VP UZ E», then an analysis of train traffic and possible train delays by direction is performed. The decision support system allows you to choose the option that will be optimal in terms of such indicators as minimum operating costs, train delays, etc. In some cases, a decision may be made to pass trains on an alternative route. The solution will be displayed in the form of a forecast schedule of train movements at the automated workplaces of operational personnel.

**Keywords:** information and analytical support, automated workplace, emergency, «ASK VP UZ E», decision support system.

**Бутько Тетяна Василівна**, д.т.н., професор, завідувач кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [butko@kart.edu.ua](mailto:butko@kart.edu.ua). ID ORCID 0000-0003-1082-599X.

**Гайдук Дмитро Андрійович**, аспірант кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [d.haiduk@ukr.net](mailto:d.haiduk@ukr.net). ID ORCID 0000-0002-7816-2216.

**Butko Tetiana Vasylivna**, Dr.Sc., professor, chief of department, department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [butko@kart.edu.ua](mailto:butko@kart.edu.ua). <https://orcid.org/0000-0003-1082-599X>.

**Haiduk Dmytro Andriyovych**, master student, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [d.haiduk@ukr.net](mailto:d.haiduk@ukr.net). <https://orcid.org/0000-0002-7816-2216>.

УДК 656.221

DOI: 10.18664/iksz.v29i2.307515

ПОПОВ М. Д. аспірант,  
МАЛАХОВА О. А., к.т.н., доцент,  
СІКОНЕНКО Г. М., к.т.н., доцент,  
ШАНДЕР О. Е., к.т.н., доцент  
(Український державний університет залізничного транспорту)

## Аналіз ключових показників ефективності роботи залізничних транспортних систем Network Rail і Infrabel

*Ефективність діяльності підприємства визначають за ступенем досягнення мети або позитивною результативністю. У статті порівняно дві європейські залізничні системи з різними наборами критеріїв ефективності, наведено національні відмінності в оцінюванні ключових показників ефективності функціонування залізниць, виділено складові концепції розвитку інноваційного потенціалу залізничної транспортної системи. Показано, що для зручності аналізу показники ефективності підприємств залізничного транспорту групують залежно від інфраструктурної та експлуатаційної складової транспортного процесу. Доведено, що формування різних підходів для оцінювання ефективності функціонування залізничної системи дає змогу своєчасно виявляти проблемні місця на всіх ланках транспортного процесу.*

**Ключові слова:** залізнична інфраструктура, технічне обслуговування, експлуатація, показник ефективності, пунктуальність, безпека.

### Постановка проблеми дослідження.

Будь-яка компанія, яка бажає розвиватися та ставати кращою, збирає дані для аналізу та відстеження ефективності роботи. Однак, для того щоб робити це більш якісно та мати розуміння, у якому напрямі розвиватися, ряд компаній використовує систему ключових показників ефективності (англ. Key performance indicators, KPI). Саме завдяки систематизованому підходу розрахунку KPI можна виявляти і виправляти конкретні проблеми, проте лише наявність даних не дає змогу вирішувати проблеми. Саме завдяки системному підходу стає можливим ефективно рішення.

Більшість європейських залізничних компаній використовує систему KPI, яка допомагає їм відстежувати ефективність роботи вітчизняних залізниць у різних напрямках. Завдяки цьому вони можуть планувати і прогнозувати обсяги і характер робіт, виявляти проблемні ділянки та своєчасно і швидко вирішувати проблеми, що виникають у роботі компанії.

Тому важливим напрямом розвитку залізничної системи є аналіз і впровадження відповідних критеріїв ефективності, які дадуть можливість ефективно відслідковувати ключові показники роботи залізниці і своєчасно реагувати на проблемні місця в системі. Виконання цих умов підвищує рівень безпеки організації залізничних перевезень і конкурентоспроможність залізничної системи.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Останнім часом систему показників ефективності діяльності АТ «Укрзалізниця» поновили. Підходи до визначення залишилися такими самими, як були і раніше, лише зазнали незначних змін. Проте є ряд робіт вчених, які займалися вивченням цього питання.

Так, наприклад, у своїй роботі [1] Галар та інші об'єднали якісні показники з кількісними та розробили контрольну систему, яка показує зв'язок між встановленими стандартами і поточними показниками, підтверджуючи кореляцію або висвітлюючи розбіжності. Також у дослідженні [2] перелічено ряд переваг використання стандартизованих показників ефективності. Показники в одній компанії не завжди можуть бути доречними в іншій, незважаючи на те, що вони належать до схожих сфер. Очевидно, що успіх KPI залежить від їхньої постійної вимірюваності. Показники мають бути пристосовані до структури компанії, виробничих процесів і внутрішніх/зовнішніх потоків даних. Кожен показник описує лише конкретний сектор і сферу діяльності компанії. Ураховуючи кількість різних показників і їхній вплив на стан підприємства в цілому, менеджмент зіткнувся з труднощами у виборі правильних показників у потрібний час [3].

### Визначення мети та завдання дослідження.

Метою статті є дослідження системи ключових показників ефективності Британської (Network Rail) і Бельгійської залізниць (Infrabel).

©ПОПОВ М. Д.,МАЛАХОВА О. А.,СІКОНЕНКО Г. М.,ШАНДЕР О. Е.,2024

Дослідження проводили з метою аналізу КРІ у сфері залізничної інфраструктури, якими користуються фахівці та дослідники. У дослідженнях через велику кількість показників їх поділяють на дві великі групи: управлінські індикатори та індикатори стану інфраструктури.

Управлінські індикатори витягують із різних комп'ютерних систем, наприклад системи планування ресурсів підприємства, комп'ютеризованої системи управління технічним обслуговуванням тощо, за винятком даних моніторингу стану, тобто всі показники і параметри, отримані за допомогою датчиків і різних методів обстеження в залізничній мережі. Управлінські показники є більш загальносистемними порівняно з даними моніторингу стану, які знаходяться на рівні підсистем або компонентів.

У статті автори детально проаналізували і порівняли показники ефективності двох різних транспортних систем. Для цього потрібно розібрати,

які КРІ вони використовують у своїх системах, як саме утворюються ці системи та яким показникам приділено більшу увагу. Можливість усунення проблемних місць, зокрема в управлінні рухом поїздів, плануванні порядку пропускання по дільницях, задоволенні попиту пасажирів на перевезення, необхідне для розуміння порядку утворення різних ключових показників, а також їхнього впливу на загальносистемну роботу.

#### **Виклад основного матеріалу.**

Відповідно до Європейського стандарту EN 15341 показники ефективності залізничної транспортної системи згруповані у три категорії: економічні, технічні та організаційні [4]. Вважають, що показники охорони здоров'я, безпеки та навколишнього середовища є настільки важливими, що їх було виділено в окрему групу. Групи показників наведено на рис. 1

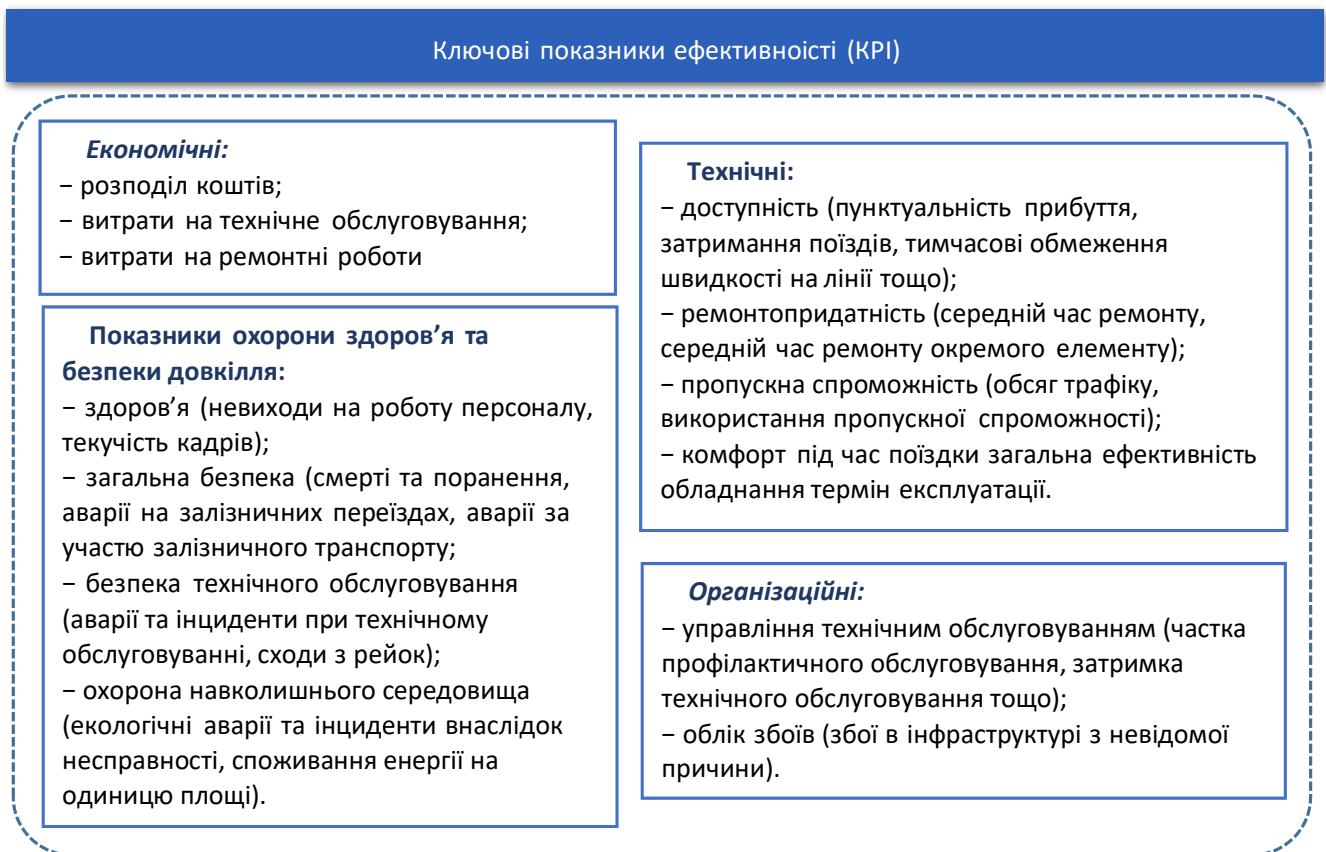


Рис. 1. Групи ключових показників

Для більш ефективного аналізу було розглянуто і порівняно дві системи ключових показників протягом шести років, а саме з 2018 по 2023 р., двох залізничних систем Network Rail (Великобританія) та Infrabel (Бельгія).

Мета використання та відстеження ключових показників ефективності (КРІ) полягає в тому, щоб

визначати ефективність роботи компанії в різних напрямках, які заздалегідь обрано та максимально впливають на кінцевий результат. Для обчислення КРІ Network Rail використовує систему, у якій за відстеженням показників ефективності отримують сукупні показники ефективності, які і є ключовими. У цій системі всі показники поділено на групи, кожен

показник має своє цільове, нижнє та вище порогове значення, які допомагають виявляти проблему в певній сфері в потрібний час. У табл. 1 відображена

система КРІ за 2018 і 2019 рр., де є інформація про показник і його значення [5].

Таблиця 1

## Система КРІ (Railway Network) у період з 2018 по 2019 р.

Напря́м	Показник ефективності	Роки	Нижній поріг показника	Цільове значення показника	Вищий поріг показника	Значення показника
Безпека	Частка витраченого часу через нещасні випадки	2018-2019	0.344	0.328	0.312	0.310
		2019-2020	0.279	0.266	0.253	0.290
	Оброблено запитів про безпеку*	2018-2019	153 750	205 000	256 250	277 526
	Відсоток оброблених запитів про безпеку протягом 90 днів*	2018-2019	80 %	85 %	90 %	88.9 %
	Зниження ризиків інцидентів із поїздами	2018-2019	60 %	80 %	100 %	88.5 %
		2019-2020	60 %	80 %	100 %	96 %
	10 етапів для зниження рівня ризиків	2018-2019	6	8	10	8
		2019-2020	6	8	10	8
Стала модель управління ризиками**	2019-2020	60 %	80 %	100 %	97 %	
Фінансова	Сукупні витрати на оновлення	2018-2019	-£160m	£0m	£160m	£15m
		2019-2020	-£177m	£0m	£177m	-£34.4m
	Сукупні дохід і витрати	2018-2019	-£75m	£0m	£75m	-£48m
		2019-2020	-£85m	£0m	£85m	£139.52m
	Сукупні витрати на розвиток	2018-2019	-£155m	£0m	£155m	£180m
		2019-2020	-£153m	£0m	£153m	-£84.98m
Фінансова відповідність	2018-2019	-£50m /£200m	£25m /£100m	£0m	£0m	
	2019-2020	+/- 5.0 %	+/-2.5.0 %	0.0 %	1.6 %	
Інвестиції	Виконання запланованих етапів із поліпшення*	2018-2019	80 %	90 %	100 %	91.5 %
	Найважливіші інвестиційні етапи**	2019-2020	80 %	90 %	100 %	85 %
Устаткування	Сукупний індекс надійності	2018-2019	18 %	19 %	20 %	19.1 %
		2019-2020	-1.5 %	0.4 %	2.0 %	-0.7 %
	Відновлення – сім ключових напрямів	2018-2019	90 %	95 %	100 %	124 %
		2019-2020	90 %	95 %	100 %	133 %

	Сукупний індекс стійкості**	2019-2020	-2.2 %	-1.6 %	1.0 %	-0.9 %
	Кількість надзвичайних випадків**	2019-2020	24 779	24 503	24 036	23 615
Поїзна робота	Сукупний показник поїзної роботи	2018-2019	0 %	50 %	100 %	35.3 %
		2019-2020	0 %	50 %	100 %	51.4 %
Внутрішні пасажирські перевезення	Сукупний показник ефективності роботи з пасажирами	2018-2019	0 %	50 %	100 %	68.5 %
		2019-2020	0 %	50 %	100 %	47.5 %

Примітки: \* Показник, який є тільки у період з 2018 по 2019 р.

\*\* Показник, який є тільки у період з 2019 по 2020 р.

Розглянемо порядок розрахунку і значення показників для компанії Network Rail.

Досягнення ключових рівнів і показників, які відповідають за зниження ризиків виникнення аварій на залізниці, закладено в показник «*Зниження ризиків інцидентів з поїздами*». Він є сукупним – складається з інших показників, які мають свій обсяг і вагу в загальній системі цього показника. До переліку цих показників входять керування системою сигналізації, управління догляду за огороженнями, система запобігання аварій на залізничних переїздах та інше. Більше значення показника відображує кращу ефективність.

При розрахунку показника «*10 етапів для зниження рівня ризиків*» заздалегідь визначають етапи, найбільш важливі для відстеження зниження рівня ризику та поліпшення безпеки, а виконані заходи для збереження здоров'я і безпеки розраховують у показнику «*Стала модель управління ризиками*». Це відносний показник, який обчислюють як відношення кількості виконаних заходів до загальної кількості запланованих заходів.

Кожен проєкт із відновлення оцінюють окремо для розуміння того, скільки було витрачено для досягнення результату. При розрахунках показника «*Сукупні витрати на оновлення*» прагнуть отримати невід'ємне значення (у мільйонах фунтів стерлінгів), що свідчить про наявність коштів для можливого оновлення підприємства та модернізації. Цілі можна корегувати за потреби, тому показник «*Сукупні дохід і витрати*» використовують для відображення доходу порівняно з операційними витратами. Аналогічно до попереднього показника: мета – вийти в нуль мільйонів фунтів стерлінгів, або додатне значення.

Особливу увагу при розрахунках КРІ компанія Network Rail приділяє групі фінансових показників. Тому щорічно може змінюватися підхід до визначення того чи іншого показника. Наприклад, показник «*Фінансова відповідність (2018-2019 рр.)*» відображував те, наскільки добре компанія змогла залишитися в межах фінансування на поточний рік (визначають як відхилення актуальних поточних витрат від запланованих бюджетом витрат). Аналіз показника дає змогу попередити додаткові бюджетні

витрати. Крім того, для цього показника встановлено межі припустимого коливання: від 50 до 200 мільйонів фунтів стерлінгів. Виконання цільового показника свідчить про поліпшення роботи з прогнозування витрат, проактивне управління ризиками та можливостями для оптимального використання доступного бюджету, такий самий показник за період *2019-2020 рр.* відображує те, як добре компанія використовує поточне річне фінансування, узгоджене бізнес-планом.

На виконання графіків руху дуже впливають затримки поїздів на дільниці. Поломки рухомого складу, несправності сигналізації та аварії є постійними подіями під час щоденної роботи залізниці. Такі події погіршують використання ресурсів і спричиняють затримки для вантажних і пасажирських поїздів. Отримання достовірної оцінки тривалості перебоїв може потенційно зменшити негативний вплив, спричинений перебоями. На тривалість перебоїв можуть впливати різні фактори, такі як місце, причина перебоїв, щільність руху, наявність поїздів різних швидкісних категорій тощо. Невизначеність, притаманна мінливості кожного фактора, і відсутність достатньої кількості даних призводить до широкого унеможливлення своєчасного прогнозування перебою. Щоб дослідити вплив тривалості збоїв на стратегію пропускання поїздів по дільниці, розраховують певну групу показників.

*Сукупний індекс надійності* – показник відображує короткостроковий стан і ефективність устаткування, включаючи колії, засоби сигналізації, стрілочні переводи, пристрої електрифікації, зв'язок, станції, інфраструктуру (мости, естакади, віадуки тощо) і земельні спорудження, загальне відсоткове поліпшення в надійності устаткування порівняно з попереднім контрольним періодом.

*Відновлення – сім ключових напрямів* в устаткуванні для відновлення: верхня будова колії, стрілочні переводи, сигнальна система, залізничні переїзди, земельні спорудження, дровава система, треті рейки. Більше значення відображує кращу ефективність.

Відсоток поліпшення стійкості устаткування порівняно з базовим планом розраховують за

допомогою показника «Сукупний індекс стійкості». Залежно від типу устаткування визначається його стійкість.

Показник «Кількість надзвичайних випадків» дає змогу розрахувати кількість збоїв у роботі устаткування, які призвели до зниження ефективності роботи залізниці. Це стосується таких видів устаткування, як колії, стрілочні переводи, системи сигналізації та електрифікації. Нижче значення показника відображує кращу ефективність.

Комплексним показником, який складається з показників ефективної поїзної роботи в різних регіонах і клієнтів відповідно до їхніх локальних систем оцінювання, є «Сукупний показник поїзної роботи». Він включає:

- показник пунктуальності;
- показник сумісної регіональної ефективності, тобто загального часу затримок протягом року;
- показник доставлення вантажу – відсотковий показник, який вказує на успішність доставлення вантажу вчасно з відхиленням  $\pm 15$  хв.

Аналогічно розраховують комплексний показник «Сукупний показник ефективності роботи з пасажирями». Сукупність показників різних регіонів підсумовують і отримують загальний показник. Він складається з таких елементів:

- задоволеність пасажирів;
- скорочення часу обробки скарг;
- задоволеність пасажирів вокзальними приміщеннями.

Порівнюючи систему за два роки (2018 і 2019 рр.), можна дійти висновку, що в цілому система мала майже однакові КРІ, зміни відбулися у 2019 р. для двох ключових показників ефективності в напрямі безпеки («оброблено запитів про безпеку», «відсоток оброблених запитів про безпеку протягом 90 днів»), їх було замінено на КРІ – «стала модель управління ризиками». У напрямі інвестицій було замінено показник і змінився алгоритм отримання цього показника. А в напрямі устаткування було додано два показники. У КРІ «фінансова відповідність» було змінено принцип розрахунку.

Розглянемо систему показників Network Rail за період з 2020 по 2022 р. відповідно (табл. 2) [6].

Таблиця 2 Система показників Network Rail за період з 2020 по 2022 р

Напрямок	Показник ефективності	Роки	Вага показника	Нижній поріг показника	Цільове значення показника	Верхній поріг показника	Виконання
Пасажири та клієнти вантажних послуг	Пунктуальність	2020 - 2021	12.5 %	60.1 %	65.1 %	70.1 %	79.7 %
		2021-2022	12.5 %	69.7 %	79.7 %	89.7 %	73 %
		2022-2023	12.5 %	66.2 %	73.1 %	79.0 %	67.8 %
	Задоволеність пасажирів	2020-2021	20 %	82.5 %	83.5 %	84.5 %	82 %
		2021-2022	20 %	7.64	7.74	7.84	7.93
		2022-2023	15 %	7.86	7.94	8.02	7.72
	Зниження ризиків інцидентів із поїздами	2020-2021	10 %	80.0	90.0	1000.0	0 % (94.6*) %
		2021-2022	10 %	90.0 %	95.0 %	100.0 %	89.4 %
		2022-2023	10 %	90.0 %	95.0 %	100.0 %	86.3
	Скасування вантажних поїздів	2020-2021	7.5 %	1.27 %	1.18 %	1.09 %	1.01 %
		2021-	7.5 %	1.31 %	1.01 %	0.71 %	1.66 %

## ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

		2022						
		2022-2023	7.5 %	1.47 %	1.17 %	0.87 %	7.62 %	
Взаємодія з клієнтами та партнерами	Клієнтський сервіс (оброблення скарг)	2020-2021	5 %	0 %	5 %	100 %	56 %	
		2021-2022	5 %	0 %	50 %	100 %	91 %	
		2022-2023	5 %	50 %	100 %	200 %	96.4 %	
	Фінансовий показник ефективності	2020-2021	10 %	-£500	£0	£500	-£130	
		2021-2022	10 %	-£506	£0	£506	£41.2	
		2022-2023	15 %	-£545	£0	£545	-£865	
	Етапи розвитку та їхнє прискорення	2020-2021	10 %	80 %	90 %	100 %	81.8 %	
		2021-2022	10 %	80 %	90 %	100 %	95 %	
		2022-2023	10 %	50 %	100 %	200 %	60 %	
	Робочий персонал	Залученість працівників	2020-2021	5.0 %	59 %	61 %	63 %	64 %
			2021-2022	5.0 %	57 %	61 %	65 %	56.5 %
			2022-2023	5.0 %	52.5 %	56.5 %	60.5 %	49.0 %
Летальні випадки та тяжкі травмування працівників		2020-2021	5.0 %	0.064	0.059	0.054	0.072	
		2021-2022	5.0 %	0.062	0.056	0.050	0.070	
		2022-2023	5.0 %	0.060	0.054	0.048	0.074	
Відповідальність за безпеку працівників		2020-2021	5.0 %	926	834	745	1159	
		2021-2022	5.0 %	895	808	719	998	
		2022-2023	5.0 %	920	820	720	945	
Клієнти і спільнота		Обсяг ефективних робіт	2020-2021	5.0 %	90 %	100 %	110 %	112.4 %
			2021-2022	5.0 %	80 %	100 %	120 %	101.0 %



		2022-2023	5.0 %	90 %	100 %	120 %	91.3 %
Коефіцієнт екологічної стабільності		2020-2021	5.0 %	0 %	50 %	100 %	66 %
		2021-2022	5.0 %	0 %	50 %	100 %	79 %
		2022-2023	5.0 %	50 %	100 %	200 %	120.5 %

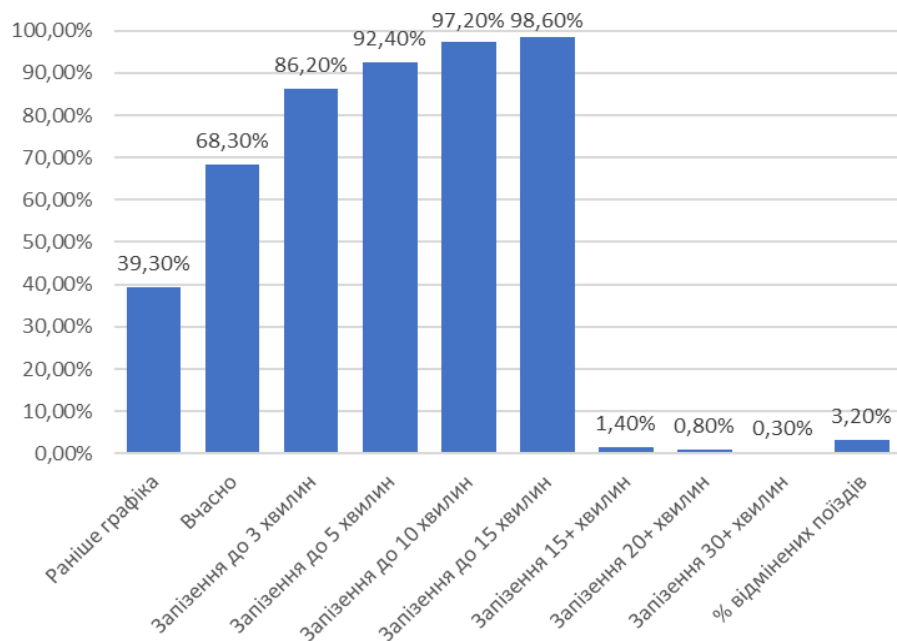


Рис. 2. Пунктуальність прибуття поїздів на станції Network Rail за 2023 р.

*Задоволеність пасажирів (2020-2021)*  
 відображує відсоток опитаних пасажирів, які були задоволені, загальної кількості опитуваних. У період 2021-2023 рр. цей показник визначали як задоволеність пасажирів поїздкою в балах за шкалою від 1 до 10 (1 – дуже погано; 10 – бездоганно).

Зменшення інтенсивності руху поїздів, погіршення пунктуальності прибуття поїздів на станції внаслідок страйків залізничників у 2023 р. призвели до зниження відсотка задоволеності пасажирів з 77 до 72 % (рис. 3) [7].

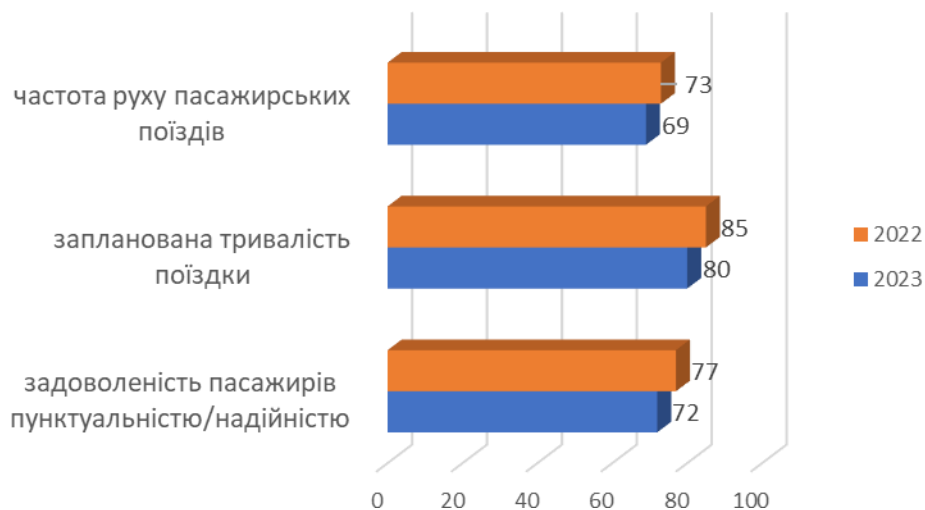


Рис. 3. Рівень задоволеності пасажирів

Скасування або перенаправлення поїздів може мати значний вплив на місцевий бізнес та економіку. Показник «Скасування вантажних поїздів» є відносним і відображує відношення кількості скасованих вантажних поїздів до загальної кількості відправлених вантажних поїздів. Чим нижче показник, тим краще ефективність.

Скасування вантажних поїздів порушує ланцюги постачання, спричиняючи затримки або збільшення витрат для підприємств, які залежать від своєчасного доставлення товарів. Це може вплинути на такі галузі, як виробництво, роздрібна торгівля та дистрибуція, їхню діяльність і прибутковість.

Економічні наслідки скасування або зміни маршрутів поїздів можуть мати хвильовий ефект на економіку в цілому, впливаючи на постачальників, підрядників та інші підприємства, які опосередковано пов'язані з постраждалими секторами. Це може ще більше посилити економічні наслідки для місцевої громади.

Часті скасування поїздів можуть зашкодити репутації залізничного сполучення і території, яку воно обслуговує. Таке негативне сприйняття може стримувати майбутні інвестиції.

Слід зазначити, що конкретний вплив скасування або зміни маршрутів руху поїздів може бути різним у різних регіонах.

*Фінансовий показник ефективності* є комплексним показником (об'єднує три окремі показники: сукупні дохід і витрати, сукупні витрати на оновлення і сукупні витрати на розвиток), що показує, наскільки компанія (Network Rail) виконує план відповідно до фінансових цілей.

Розвиток компанії важко уявити без показника «Залученість працівників», тобто відсоток працівників, які при проходженні опитування відповіли позитивно на ключові запитання, засновані на методології «говори, залишайся, прагни». Завдяки цій методології під час опитування виявляють працівників, які мають бажання бути частиною компанії та мотивовані докладати додаткові зусилля для успіху компанії.

Окремою категорією для розвитку транспортної системи Network Rail є показники, пов'язані з безпекою.

Рівень безпеки робочого персоналу може бути виражений показником «Летальні випадки та тяжкі травми». Обчислюють як відношення кількості летальних випадків і тяжких травм до загальної кількості відпрацьованих годин. Чим менше значення показника, тим краще ефективність транспортної системи. Загальну кількість порушень правил безпечної роботи і зниження випадків небезпечних ситуацій виражають за допомогою показника «Відповідальність за безпеку працівників».

За допомогою показника «Обсяг ефективних робіт» можна обчислити, скільки заходів з відновлення устаткування принесли додаткового часу працездатності в середньостроковий термін. Вираховують цей показник через систему, де кожному виду робіт відповідно до їхнього впливу на працездатність устаткування присвоєно відповідне вагове значення, за допомогою чого отримують релевантний зважений сукупний показник.

Будь-яка компанія, яка піклується не тільки про своє майбутнє, а й екологію в цілому, приділяє увагу показнику «Коефіцієнт екологічної стабільності», що визначають як результативність чотирьох основних природоохоронних заходів:

- відсоток перероблених відходів;
- відсоток відходів, які були відведені від звалища сміття;
- відсоток зниження викидів вуглецевого газу;
- відсоток зниження використання нетягової енергії.

Порівнюючи систему КРІ починаючи з 2020 р. з системами попередніх років, слід зазначити, що нова система зазнала значних змін. Усі показники, крім одного, а саме «Зниження ризиків інцидентів з поїздами», було замінено або доопрацьовано. Це відбулося через цілі стратегічного планування, зазначені у плані СР6 [8]. Виходячи з того, що система показників протягом трьох років майже не зазнала змін, можна зробити висновок, що ця

сукупність показників влаштувала компанію та відповідала стратегічним цілям, які мають бути досягнені в майбутньому.

У системі КРІ 2020-2022 рр. з'явилися показники, які відповідають за поліпшення безпеки робочого персоналу («Відповідальність за безпеку працівників», «Летальні випадки та тяжкі травмування»), екологічну складову – «Коефіцієнт екологічної стабільності». Також було додано показники, призначені для відстеження якості роботи з клієнтами, – «Задоволеність пасажирів» «Клієнтський сервіс (оброблення скарг)». Ключовий фінансовий показник залишився один, який є сукупністю трьох ключових показників із попередніх років. КРІ «Пунктуальність» було додано до нової системи, і він має друге вагове значення з усієї

системи (12.5 %). А перше вагове значення має ключовий показник «Задоволеність пасажирів», у 2020 та 2021 рр. – 20 %, а 2022 р. – 15 %. Проте у 2022 р. вагове значення фінансового показника змінилося і дорівнювало також 15 %. Тож можна зазначити, що КРІ протягом трьох років не змінювалися, хоча їхні цільові та вагові значення регулюють і змінюють кожного року відповідно до стратегічних цілей і прогнозування.

У 2023 р. основні стратегічні напрями залишилися без змін, проте змінилося їхнє групування, яке має більш логічний характер і краще відповідає показникам. Групи показників КРІ на 2023 р. наведено на рис. 4.

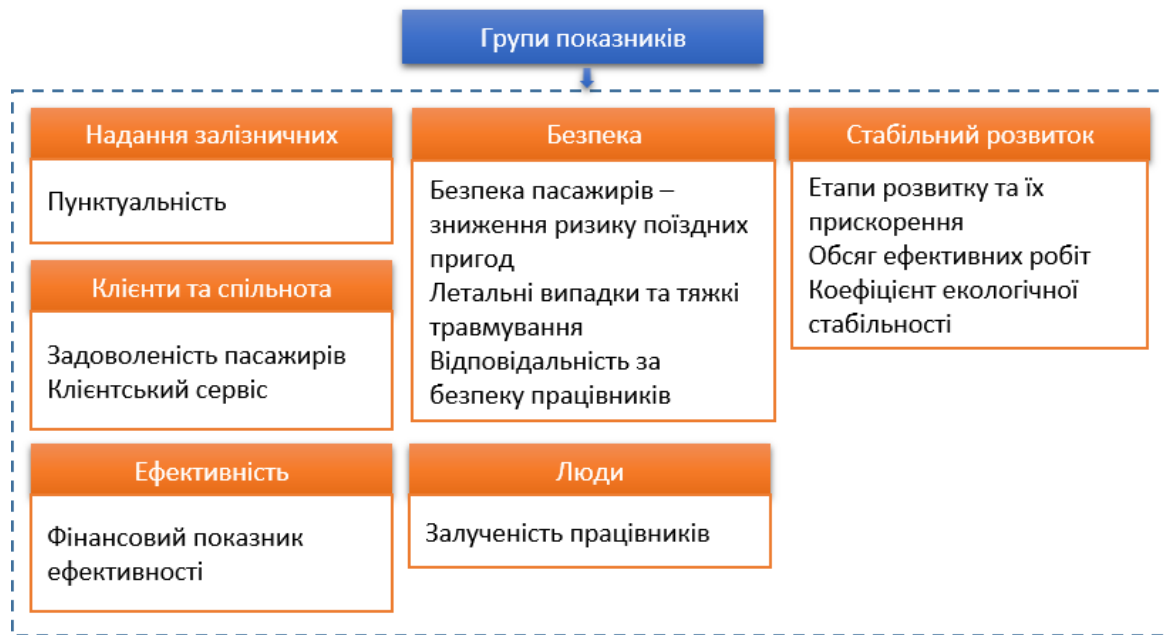


Рис. 4. Система ключових показників ефективності Network Rail на 2023 р.

Це дає змогу аналізувати не лише показники, а і групи показників, які відповідають за певний напрям. Як і було зазначено раніше, вага та цільове значення показників змінюються щороку, тому останнім часом найбільшу вагу мають такі показники, як «Пунктуальність» і «Фінансовий показник ефективності» по 15 % відповідно, а на третьому місці за важливістю «Задоволеність пасажирів» – 12.5 %. Тож бачимо, що основні тенденції в системі КРІ Network Rail зберігаються протягом чотирьох років, хоча система і зазнає певних змін.

Для Бельгійської залізничної компанії Infrabel протягом чотирьох років, починаючи з 2019 р., виділено 10 ключових показників ефективності, поділених на відповідні групи [9]. Показники в цій системі є статичними, а вага цих показників не змінюється (рис. 5). Чотири стратегічні компоненти включають:

- безпеку (40 %);
- пунктуальність (30 %);
- розвиток (20 %);
- фінанси (10 %).



Рис. 5. Система KPI Бельгійської залізничної компанії Infrabel

З рис. 5 видно, що Бельгійська залізнична компанія насамперед піклується про безпеку своєї системи (як для клієнтів, так і працівників), тому вага цих показників становить 40 % загального обсягу усіх показників; на другому місці – пунктуальність, вага якої становить 30 %; розвиток і поліпшення наявної залізничної системи становить 20 %; на підтримання стабільності фінансової складової припадає 10 %.

#### Висновки.

У роботі проаналізовано систему ключових показників ефективності на залізницях двох країн, а саме Великобританії (Network Rail) і Бельгії (Infrabel). Отже, було з'ясовано, що системи можуть мати два різних підходи. Британська система більш гнучка, адже в ній змінюються показники ефективності, вагове значення цих показників і їхнє цільове значення. Водночас Бельгійська залізниця використовує статичну систему KPI, у якій нема змін протягом проаналізованих років.

Також було виявлено, що в Infrabel (Бельгійська залізниця) насамперед приділяє увагу показникам, пов'язаним із безпекою пасажирів і працівників, а також показникам пунктуальності. В останні два роки Network Rail (Британська залізниця), крім безпеки і пунктуальності, особливу увагу приділяють динаміці показників фінансової групи, що свідчить про бажання додатково сфокусуватися на відстеженні розподілу фінансів.

#### Список використаних джерел

1. Stenström C., Parida A., Galar D. Performance Indicators of Railway Infrastructure. *International Journal of Railway Technology*. 1(3). 1-18. 2012. doi:10.4203/ijrt.1.3.1.
2. Velimirović D., Velimirović M., Stanković R. Role and importance of key performance indicators measurement. *Serbian Journal of*
3. Management. 2011. Vol. 6, no. 1. P. 63–72. URL: <https://doi.org/10.5937/sjm1101063v> (date of access: 29.01.2024).
4. Implementation of Key Performance Indicators Selection Model as Part of the Enterprise Analysis Model / S. Kaganski et al. *Procedia CIRP*. 2017. Vol. 63. P. 283–288. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.143> (date of access: 29.04.2024).
5. EN 15341: «Maintenance — Maintenance Key Performance Indicators». European Committee for Standardization, Brussels, 2007. 38 p.
6. Network Rail Limited's Annual Report and Accounts 2019 Presented to Parliament by The Secretary of State for Transport by Command of Her Majesty 18 July 2019. URL: <https://sacuksprodnr.digital0001.blob.core.windows.net/annual-report-and-accounts-archive/Annual%20report%20and%20accounts%20archive/2011%20-%202020/2019/Annual%20report%20and%20accounts%202019.pdf> (date of access: 20.01.2024).
7. Network Rail Limited's Annual Report and Accounts 2022. Presented to Parliament by The Secretary of State for Transport by Command of Her Majesty July 2022. URL: <https://sacuksprodnr.digital0001.blob.core.windows.net/annual-report-and-accounts-archive/Annual%20report%20and%20accounts%20archive/2021%20-%202022/Annual-report-and-accounts-2022.pdf> (date of access: 20.01.2024).
8. New industry measure – train punctuality at station stops 2023/24. URL: <https://www.networkrail.co.uk/who-we-are/how-we-work/performance/railway-performance/> (date of access: 22.04.2024).
9. Network Rail Limited's Annual Report and Accounts 2023 Presented to Parliament by The

Secretary of State for Transport by Command of His Majesty July 2023. URL: <https://www.networkrail.co.uk/wp-content/uploads/2023/07/Network-Rail-Annual-Report-and-Accounts-2023.pdf> (date of access: 20.04.2024).

9. Annual report by the board of directors INFRABEL to the general shareholders' meeting on the 17 May 2023. URL: [https://www.infrabel.be/sites/default/files/generate\\_d/files/report/INFRABEL\\_-\\_Annual\\_report\\_2022.EN%5B1%5D.pdf](https://www.infrabel.be/sites/default/files/generate_d/files/report/INFRABEL_-_Annual_report_2022.EN%5B1%5D.pdf) (date of access: 20.04.2024).

**Popov Mykyta, Malakhova Olena, Sikonenko Grygorii, Shander Oleh**

## ANALYSIS OF KEY PERFORMANCE INDICATORS OF RAILWAY TRANSPORT SYSTEMS

**Abstract.** The effectiveness of an enterprise is determined by the degree of achievement of the goal or positive performance. The article compares two European railway systems with different sets of performance criteria, provides national differences in the assessment of key performance indicators of railways, and highlights the components of the concept of development of the innovative potential of the railway transport system. It is shown that for the convenience of analysis, performance indicators of railway transport enterprises are grouped depending on the infrastructure and operational components of the transport process. The infrastructure component is related to material assets and the transport network, while the operational component characterises the operational activities related to train traffic. Similarly to operational performance indicators, the criteria for measuring the effectiveness of the railway infrastructure management system revolve around the cost and revenue of transportation. When calculating KPIs, Network Rail pays particular attention to funding. Therefore, the approach to defining the Financial Compliance indicator may change from year to year.

Network Rail's 'Total Train Performance' is a composite measure that combines the performance of different regions and customers according to their local performance systems. It includes punctuality, combined regional performance and freight delivery.

**Conclusions.** In the analysed railway systems of the UK (Network Rail) and Belgium (Infrabel), key performance indicators have two different approaches. The British system is more flexible, as it changes the performance indicators, the weighting of these indicators and their target values. At the same time, Belgian Railways uses a static KPI system that has not changed during the analysed years.

It was also found that Infrabel (Belgian Railways) primarily pays attention to indicators related to the safety of passengers and employees, as well as punctuality indicators. At the same time, Railway Network (British Railways) also gives preference to safety and punctuality in its weightings, but in the last two years it has added a weighting for financial performance, which indicates a desire to focus further on tracking the distribution of finances.

**Попов Микита Дмитрович**, аспірант кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [popov\\_n\\_d@ukr.net](mailto:popov_n_d@ukr.net) ORCID ID <https://orcid.org/0009-0002-2322-5715>

**Малахова Олена Анатоліївна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [malakhova@kart.edu.ua](mailto:malakhova@kart.edu.ua) ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-9272-6145>

**Сіконенко Григорій Михайлович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [sikonenko@kart.edu.ua](mailto:sikonenko@kart.edu.ua) ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-5019-8623>

**Шандер Олег Едуардович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [shander@kart.edu.ua](mailto:shander@kart.edu.ua) ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-3330-2588>

**Popov Mykyta**, PhD student of the Department of Operations Management, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [popov\\_n\\_d@ukr.net](mailto:popov_n_d@ukr.net) ORCID ID <https://orcid.org/0009-0002-2322-5715>.

**Malakhova Olena**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Operational work management, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [malakhova@kart.edu.ua](mailto:malakhova@kart.edu.ua) ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-9272-6145>.

**Sikonenko Grygorii**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Operational work management, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [sikonenko@kart.edu.ua](mailto:sikonenko@kart.edu.ua) ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-5019-8623>

**Shander Oleh**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Operational work management, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [shander@kart.edu.ua](mailto:shander@kart.edu.ua) ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-3330-2588>.



МОЙСЕЄНКО В. професор<sup>1</sup>,  
 БУТЕНКО В. доцент<sup>1</sup>,  
 СОКОЛОВ А. студент<sup>1</sup>,  
 ЯРАНЦЕВ В. студент<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Український державний університет залізничного транспорту)

## Розроблення мобільного додатка подорожувальника

**Анотація.** В статті розглянуто абстрактний діалог. Кожній вершині графа співвідноситься конкретне зображення на екрані електронного пристрою. Натомість дуги вказують на можливі зміни станів при виконанні користувачем конкретної операції. Зважаючи на поставлену ціль наукового дослідження наукова проблема може бути сформульована в термінах математичного апарату комбінаторно – оптимізаційної задачі. В межах термінології інформаційної підтримки подорожувальників, користуючись діаграмою сценаріїв обґрунтовано доцільність розгляду двох альтернативних підходів організації діалогу користувача з мобільним пристроєм: діалог, що керується користувачем та діалог, який керується системою. Доведено, що діалог, який керується користувачем потребує конкретної дії після кожного кроку, що наглядно ілюструє граф абстрактного переходу.

**Ключові слова:** програма-мандрівник, керований користувачем інтерфейс, абстрактний граф переходів

### Актуальність проблеми.

Сучасне суспільство характеризується високим рівнем мобільності, що пов'язана з роботою, відпочинком та іншими обставинами. За останній рік, у зв'язку з війною в Україні відбувається багатомільйонне переміщення людей. Транспортний комплекс країни має забезпечувати безпечні та комфортні умови перевезень навіть під час правового режиму воєнного стану [1, с. 1]. В таких умовах складно забезпечити належний рівень безпеки ружу поїздів, а удосконалення якості експлуатації систем залізничної автоматики з підвищенням швидкостей руху детально розглянуто в роботі [2, с. 185]. Однак крім зазначених умов процесу перевезень постає питання про комфортність та ефективність самої подорожі з її інформуванням сервісними компонентами.

Причому значна частина подорожуючих взагалі не має відповідного досвіду та навичок, часто не володіє мовою країни до якої прибуває. Також значною проблемою для подорожувальника є знаходження необхідної локації на вокзалі, та навіть потрібного вагону у потязі. Зважаючи на велику кількість людей, що подорожують, особливо впродовж останніх років, визначена проблема є досить актуальною, й потребує наукового підходу до вирішення поставлених задач.

### Область дослідження.

Знаходиться на стику різних галузей знань, зокрема це транспорт, його інфраструктура та комп'ютерні інформаційні технології, що використовуються в якості інструментарію для інновації в транспортній галузі.

### Аналіз досліджень та публікацій.

За останні роки можна спостерігати постійне зростання інтересу науковців та розробників інформаційних сервісів до визначеної проблеми. Так сервіс [Google Play](#) представив застосунок «Travelers Mobile» для подорожей [3, с.1], однак він направлений на реалізацію переважно фінансових та страхових функцій і у першу чергу орієнтований на фірми, що надають послуги з транспортно – експедиційного обслуговування.

Однак крім вказаних функцій доцільно дослідити інші наявні досягнення ринку програмного забезпечення в галузі дослідження. Зафіксовані роботи з використанням мобільних додатків на базі Android, що стосуються систем обслуговування багажу [4, с. 1]. В певний час створювались рейтинги з подібних програм, про що свідчить публікація [5, с. 1], однак цей напрям досліджень у першу чергу орієнтований переважно на операції з багажем.

Досить цікавим є офіційний мобільний додаток, який останнім часом запустило в роботу керівництво «Укрзалізниці» [6, с. 1], який надає розширений набір послуг. Крім цього мобільний оператор Life [7, с. 1] створив мобільний додаток для перекладу слів, який може використовувати пасажир для здійснення спілкування під час подорожі будь-яким видом транспорту.

Існує окремий вид мобільних додатків для контролю громадського транспорту [8, с. 1], які визначають «Easy Way mobile – маршрути громадського транспорту у Вашому телефоні» і декларує дію сервісу у багатьох містах світу.

Однак зазначені додатки функціонують обособлено та не мають єдиної методології створення та користування.

Ціллю наукового дослідження є створення мобільного додатку для забезпечення інформаційної підтримки подорожувальників на основі принципів системи підтримки прийняття рішень.

Зважаючи на поставлену ціль наукового дослідження наукова проблема може бути сформульована в термінах математичного апарату комбінаторно-оптимізаційної задачі. Наочною ілюстрацією цього є діаграма варіантів рішення такої задачі, що наведена на рисунку 1.

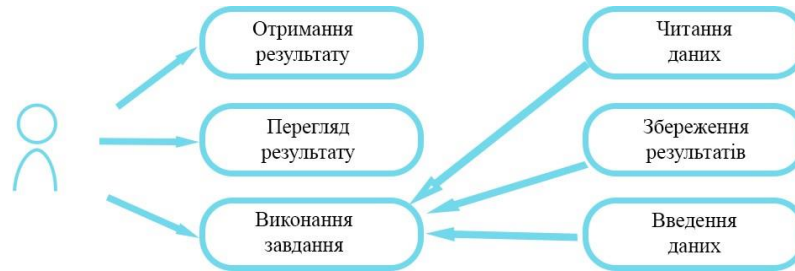


Рисунок 1 Діаграма сценарію рішення комбінаторно- оптимізаційної задачі

В межах термінології інформаційної підтримки подорожувальників, користуючись діаграмою сценаріїв доцільно розглядати два альтернативні підходи організації діалогу користувача з мобільним пристроєм: діалог, що керується користувачем та діалог, який керується системою. Ці підходи у загальному вигляді викладені у літературі [9, с. 8]

Діалог, який керується користувачем потребує конкретної дії після кожного кроку, що наглядно ілюструє граф абстрактного переходу на рис. 2а. Діалог, що керується системою натомість дещо обмежує можливості користувача мобільного додатку. Граф абстрактного діалогу на рис.2б якраз ілюструє останнє твердження: стани S1, S2, S3, S4, S5 та S6 не мають обхідних дуг і реалізують достатньо простий алгоритм взаємодії.

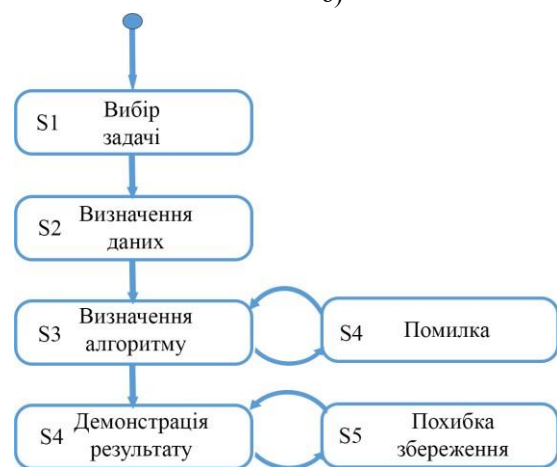
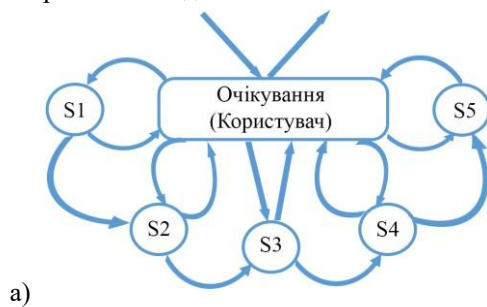


Рисунок 2 Приклади графів абстрактного діалогу

а)- діалог керується користувачем, б)- діалог, що керується системою

S1 – вибір задачі, S2 – визначення даних, S3 – визначення алгоритму S4 – виконання задачі, S5 – збереження даних



а)

Обидва варіанти організації ділового режиму роботи користувача з електронним додатком повною мірою не відповідають поставленій задачі, тому пропонується альтернативний підхід, що фактично поєднує обидва графи абстрактного діалогу. Пропонується розширити можливості графа, що керується системою за рахунок додаткових зв'язків між станами з рахунок введення додаткових дуг, див. рис. 3.

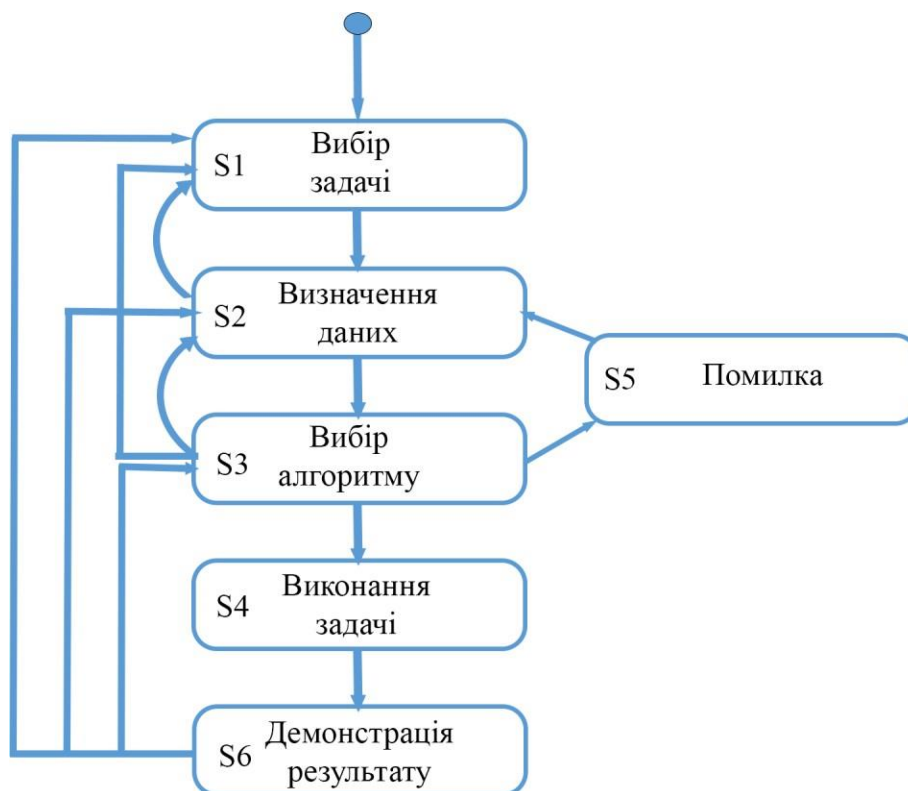


Рисунок 3 Граф абстрактного діалогу комбінованого типу

Ефект досягається за рахунок додаткових дуг s6-s1, s6-s2, s6-s3, s3-s1, s3-s2, s2-s1, які забезпечують більш ефективну реалізацію алгоритму взаємодії подорожувальника з системою.

#### Викладення основного матеріалу

Структурна схема традиційного сервісу подорожувальника, рисунок 4, базується на двох основних програмних компонентах: існуючих сервісах, які надаються транспортною, або іншою інфраструктурою та мобільним гаджетом користувача. По суті справи вся робота такого сервісу організується і направляється людиною-користувачем і фактично зводиться до вибору того, чи іншого сервісу та користування ним та ілюструється графом на рис. 2.а.

Користувач самостійно обирає сервіс і отримує необхідні послуги, виконуючи при цьому такі функції: формування цілей та завдань подорожі, визначення переліку необхідних сервісів та їх пошук в мережі Інтернет, здійснює самостійне формування запитів та аналіз отриманої інформації.

Очевидно, що при такій організації діалогу його ефективність та успішність дуже сильно залежить від ступеню підготовленості користувача. Слід зважати на те, що переважна більшість людей мають дуже опосередковане уявлення про наявність всіх можливих сервісів для подорожувальників. Сама структура та зміст сервісних підтримок з часом постійно змінюється, відбуваються зміни і у самому інтерфейсі взаємодії з користувачем, що ускладнює процес взаємодії.

Фактично при такій системі організації взаємодії з потенційним користувачем можливості системи в значній мірі залежать від ступеню підготовленості та обізнаності самого користувача. Електронний гаджет користувача при такому підході реалізує функції зв'язку з і-тим сервісом та відображення оперативної інформації, хоча потенційно може виконувати значно більш складні завдання.





Рисунок 4. Структурна схема традиційного сервісу подорожувальника

Користувач самостійно обирає сервіс і отримує необхідні послуги, виконуючи при цьому такі функції: формування цілей та завдань подорожі, визначення переліку необхідних сервісів та їх пошук в мережі Інтернет, здійснює самостійне формування запитів та аналіз отриманої інформації.

Очевидно, що при такій організації діалогу його ефективність та успішність дуже сильно залежить від ступеню підготовленості користувача. Слід зважати на те, що переважна більшість людей

мають дуже опосередковане уявлення про наявність всіх можливих сервісів для подорожувальників.

На рисунку 5 показана структура надання мобільних сервісів подорожуючому з використанням підходів системи підтримки прийняття рішень. Сама структура та зміст сервісних підтримок з часом постійно змінюється, відбуваються зміни і у самому інтерфейсі взаємодії з користувачем, що ускладнює процес взаємодії.



Рисунок 5. Структура надання мобільних сервісів подорожуючому з використанням підходів системи підтримки прийняття рішень

Фактично при такій системі організації взаємодії з потенційним користувачем можливості

системи в значній мірі залежать від ступеню підготовленості та обізнаності самого користувача.

Електронний гаджет користувача при такому підході реалізує функції зв'язку з  $i$ -тим сервісом та відображення оперативної інформації, хоча потенційно може виконувати значно більш складні завдання.

Вирішенням цієї проблеми може бути реалізовано шляхом розширення функцій електронного персонального гаджету, який реалізовує систему підтримки прийняття рішень. Розширення інтелектуальних функцій мобільного гаджета подорожувальника дозволить не тільки зменшити залежність системи надання інформаційних послуг від ступеню підготовленості користувача та у більш повній мірі реалізувати його потенційні можливості. Це забезпечується тим, що значна кількість важливих інтелектуальних функцій, які раніше були покладені на користувача, тепер передаються для реалізації програмним забезпеченням мобільного комунікаційного пристрою.

Система ділового режиму з користувачем орієнтована мінімальний рівень його підготовленості, причому система підказок повинна постійно допомагати подорожувальнику. Користування

сервісами  $1,2,3,\dots,n$  забезпечується програмним забезпеченням мобільного гаджету, яке включає: внутрішні мобільні застосунки, підсистему інформаційного обміну з зовнішніми сервісами та підсистему інформаційної взаємодії з користувачем. Організація роботи забезпечується внутрішньою підсистемою підтримки прийняття рішень, яка власне і організує алгоритм взаємодії програмних підсистем гаджета в процесі роботи.

Таким чином забезпечується комплексне охоплення всіх можливих видів послуг, які можуть знадобитися подорожуючому. В якості електронного гаджета розробники вважають за доцільне використовувати сучасний мобільний телефон з доступом до інтернету. Мобільний гаджет, маючи власні мобільні зв'язки, забезпечує підтримку прийняття рішень подорожувальника.

На рисунку 6 показана загальна структура функцій такого додатка, яка має 3 види сервісів: підготовка до подорожі, супровід у подорожі та додаткові сервіси, які можуть знадобитися подорожуючому.



Рисунок 6. Структура функцій мобільного додатка

Загальна структура додатка має реалізовувати такі функції (внутрішні сервіси): підготовка до подорожі, супровід у подорожі та додаткові сервіси, які можуть знадобитися подорожуючому.

Розглянемо більш докладний зміст окремих сервісів, що наведені на рис. 3 та включають: підготовку до подорожі, супровід подорожі та надання додаткових сервісів.

1. Підготовка до подорожі. Починається з завдання мети та кінцевого пункту, також вказуються побажання та вводяться необхідні обмеження (фінанси, фізіологічні особливості пасажирів, тощо). На цьому етапі дуже важливе значення мають законодавчі нормативні акти, які регулюють перевезення пасажирів:

- правила та особливості перетину кордону;
- перелік необхідних документів та особливих умов для кожної країни;
- обмеження, які діють в окремих країнах на ввезення тих, чи інших товарів;
- обмеження на в'їзд та виїзд для окремих категорій подорожуючих;
- особливості подорожей для людей з особливими потребами, тощо.

Дуже велике значення на цьому етапі мають технічні можливості власного гаджета подорожувальника в частині його можливості підтримувати реалізацію встановленого мінімального переліку функцій. Слід приймати до уваги користувачів, що мають застарілі конструкції мобільних телефонів, які скоріше за все не в змоззі підтримувати роботу багатьох сервісів.

Велике значення також має ступінь підготовки користувача реалізувати основні функції сервісів системи, тому для кожної функції необхідно передбачити систему допомоги користувачу.

На підставі отриманої інформації людині пропонуються можливі варіанти подорожі, маршрути, види поїздів, вагонів тощо. Окремі маршрути передбачають комбіновані сполучення: потяг-автобус-потяг, або літак. У зв'язку з цим необхідно не тільки узгоджувати розклади руху різних видів транспорту, а й передбачити можливість корегування у разі затримки у русі, або при перетині кордонів.

Після узгоджених питань система здійснює замовлення квитків на поїзд, узгоджуючи з замовником можливі витрати.

У разі необхідності можливо автоматичне замовлення трансферу до вокзалу та попередження людини про час.

2. Супровід у подорожі. Починається після виходу з помешкання та приїзду до вокзалу. Надалі система супроводжує пасажирів до місця посадки у відповідний вагон. Крім того за бажанням подорожуючого система надає інформацію про локації вокзалу та його сервіси і супроводжує у приміщенні вокзалу. У цьому сенсі велике значення має інформація про локації місць, які необхідні подорожувальнику (таможений контроль, довідкове бюро, розташування адміністрації, кафе, місць загального користування, тощо). Система повинна супроводжувати подорожувальника до обраної локації. Особливе значення у цьому сенсі мають

аеропорти, де система підготовки до посадки в транспортний засіб набагато складніша за залізничний транспорт. Також необхідно інформувати пасажирів про часові та інші обмеження, які слід враховувати під час поїздки та її планування.

3. Додаткові сервіси. Можуть включати надання інформації під час поїздки (стації, час зупинки, час запізнення, тощо)

При наближенні до кінцевого пункту (міста висадки) пасажир заздалегідь попереджається з вказаним орієнтовним часом прибуття та стоянки. За необхідності система повинна забезпечити бронювання номеру у обраному готелі та завчасно попередити користувача про назву готелю, його розташування та рекомендації як до нього дістатися громадським транспортом.

Після висадки можливий супровід, до готелю з визначенням маршруту слідування, надання додаткової інформації про локації, які зацікавили подорожуючого з можливістю замовлення трансферу.

Крім того перед подорожжю користувачу додатка у обов'язковому порядку надається інформація про правила, яких слід дотримуватись, необхідні документи, а при перетині кордону інформацію прикордонної служби, яка є обов'язковою для подорожуючих. Особливу увагу слід звертати на існуючі обмеження для подорожуючих в окремих країнах, та у всіх випадках забезпечити максимально можливий рівень безпечності подорожі. Скориставшись математичним моделюванням в [9, с.

8] та компонентами людино-машинних інтерфейсів [10, с. 7], удосконалили сервіс подорожувальника створивши представлений нижче додаток, використовуючи інструменти інженерії програмного забезпечення з використанням технології клієнт-сервер [11, с. 7].

### Висновки.

Запропонований авторами підхід дозволив синтезувати структуру мобільного додатку подорожувальника із застосуванням принципів побудови систем підтримки прийняття рішень. Визначені функції та зміст окремих компонентів додатка з урахуванням досвіду попередніх розробок та комплексної взаємодії окремих його складових.

Подальшим напрямом визначених досліджень автори вважають удосконалення змістовної складової окремих компонентів додатка та розширення сфери застосування, включно з автомобільним, авіаційним та громадським транспортом.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про правовий режим воєнного стану. Закон України. Електронний ресурс [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text] Режим доступу 29.03.2023
2. Moiseenko, V., Kameniev, O., Butenko, V., Gaievskiy, V.: Determination model of the apparatus state for railway automatics with restrictive statistical data. Procedia Comput. Sci. 149, 185–194 (2019). ICTE in Transportation and Logistics 2018 (ICTE 2018).
3. Travelers Mobile електронний ресурс режим доступу [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.travelers.digitalservice&hl=en\_US]

4. Розробка мобільного додатку для мандрівників для транспортування багажу та обробки процесу реєстрації

<https://www.semanticscholar.org/paper/Design-of-Mobile-Application-for-Travelers-to-and-Ahmed/7f88a3d3178547a40010165185c7e472f52f0ca1>

5. Підготовка до поїздки режим доступу [ <https://otpusktime.com/uk/poradi/dodatky-dlya-podorozhej/>]

6. Мобільний додаток від Укрзалізниці [ <https://lowcost.ua/uz-app/>]

7. Мобільний додаток у формі словника [ <http://media.mabila.ua/ua/news/2007/10/12/8615.html>]

8. [Google Play](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.eway&hl=uk&gl=US) [ <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.eway&hl=uk&gl=US>]

9. Доценко С. І. Людино-машинний інтерфейс : навчальний посібник / С. І. Доценко. – Харків : УкрДУЗТ, 2022. – 136 с.

10. Уткіна Г. А. Людино-машинний інтерфейс: навч. посіб. Київ: КЕІ ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана», 2011. – 162 с.

11. Інженерія програмного забезпечення. WEB-програмування. Навч. посіб. з грифом УкрДУЗТ /Авторів: Бутенко В. М., Павленко Є. П., Головка О. В. Харків: УкрДУЗТ, 2019. – 120 с.

Abstract dialogue is considered in the work. Each vertex of the graph corresponds to the specific image on the screen of the electronic device. Instead, arcs indicate possible state changes when the user performs a specific operation. Considering the set goal of scientific research, the scientific problem can be formulated in terms of the mathematical apparatus of the combinatorial and optimization problem. Within the terminology of informational support for travellers, using a scenario diagram, the feasibility of considering two alternative approaches to organizing a user dialogue with a mobile device is substantiated: a user-driven dialogue and a system-driven dialogue. It is proven that a user-driven dialog requires a specific action after each step, which is clearly illustrated by an abstract transition graph. Accordingly, the system-driven dialog limits the capabilities of the mobile application user. It is offered to synthesize the structure of the upper level of the mobile application of the universal traveller. Separate components and models and methods of collecting and processing information for its functioning are defined.

The user independently chooses the service and receives the necessary services, while performing the following functions: setting the goals and objectives of the trip, determining the list of necessary services and searching for them in the Internet, making requests and analyzing the received information independently.

It should be taken into account that the vast majority of people have a very vague idea of the availability of all possible services for travellers. The structure and content of service support is constantly changing over time, changes also occur in the interface of interaction with the user, which complicates the process of interaction.

Keywords: traveller application, user-controlled interface, abstract transition graph

Мойсеєнко Валентин Іванович, доктор технічних наук, завідувач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна, 61050.

E-mail: [mvi53@ukr.net](mailto:mvi53@ukr.net); [mojseenko@kart.edu.ua](mailto:mojseenko@kart.edu.ua)  
<http://orcid.org/0000-0003-1377-8703>.

Бутенко Володимир Михайлович, кандидат технічних наук, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050.

E-mail: [butenko@kart.edu.ua](mailto:butenko@kart.edu.ua) тел.: 057-730-10-62.  
<http://orcid.org/0000-0001-9958-3960>.

Соколов Антон Костянтинович, студент четвертого курсу кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050.

E-mail: [Sokolov@kart.edu.ua](mailto:Sokolov@kart.edu.ua) тел.: 066-746-00-81.  
<http://orcid.org/0009-0002-6271-7878>.

Яранцев Всеволод Олександрович, студент другого курсу кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050.

E-mail: [yarancev@kart.edu.ua](mailto:yarancev@kart.edu.ua) тел.: 067-259-10-58.  
<http://orcid.org/0009-0003-8421-9834>.

Moiseenko Valentin I., Doctor, Professor department of specialized computer systems, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [mvi53@ukr.net](mailto:mvi53@ukr.net); [mojseenko@kart.edu.ua](mailto:mojseenko@kart.edu.ua)  
Number ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1377-8703>

Butenko Volodymyr M., PhD, Associate Professor department of specialized computer systems, Ukrainian State University of Railway Transport, Feierbakh sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, E-mail: [butenko@kart.edu.ua](mailto:butenko@kart.edu.ua)  
Number ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9958-3960>

Sokolov Anton fourth year student department of specialized computer systems, Ukrainian State University of Railway Transport, Feierbakh sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, E-mail: [Sokolov@kart.edu.ua](mailto:Sokolov@kart.edu.ua)  
Number ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-6271-7878>

Yarantsev Vsevolod O., second year student department of specialized computer systems, Ukrainian State University of Railway Transport, Feierbakh sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, E-mail: [yarancev@kart.edu.ua](mailto:yarancev@kart.edu.ua)  
Number ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-8421-9834>

КАГРАМАНЯН А.О., кандидат техн. наук,  
КОВАЛЬОВ А.О., кандидат техн. наук,  
ЗАПАРА В.М., кандидат техн. наук,  
ЗАПАРА Я.В., кандидат техн. наук,  
ШАПАТІНА О.О., кандидат техн. наук.  
(Український державний університет залізничного транспорту)

## Адаптивна концентрація у вантажній і комерційній роботі в умовах інформатизації технологічних процесів на залізниці України

*У статті розглянуті особливості проведення адаптивної концентрації у вантажній і комерційній роботі в умовах інформатизації технологічних процесів на залізниці України: введено поняття і сформульовано визначення адаптивної концентрації на залізниці у сфері вантажної і комерційної роботи, розглянуто технологічні аспекти створення і функціонування Пунктів концентрації обробки перевізних документів, сформульовано умову доцільності їх створення, доведено економічну ефективність створення і функціонування таких пунктів на прикладі полігонів регіональної філії «Південна залізниця».*

**Ключові слова:** адаптивна концентрація, вантажна робота, економічна ефективність, інформатизація технологічних процесів, комерційна робота, обробка перевізних документів, пункт концентрації, умова доцільності.

### Вступ.

Відомо, що збиткова інфраструктура залізниці України становить майже половину довжини залізничних колій (45,7 % дільниць полігону) і сукупно виконує лише 2,1 % роботи, за яку АТ «Укрзалізниця» отримує лише 543 млн грн, тоді як видатки на її утримання становлять понад 7,8 млрд грн, тобто малодіяльні дільниці завдають збитків понад 7 млрд грн щороку [1].

АТ «Укрзалізниця» намагається спільно з місцевими органами влади вирішувати питання функціонування чи закриття малодіяльної інфраструктури, оскільки утримувати її коштом АТ «Укрзалізниця» нема можливості. Проте певні корективи в процеси концентрації вантажної і комерційної роботи залізниці вносять досягнутий рівень інформатизації технологічних процесів галузі.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питанню концентрації вантажної і комерційної роботи залізниць за останні десятиліття приділяли увагу науковці як України, так і світу. У публікаціях українських авторів [2-7] слід зазначити певні зміни в думках щодо цієї проблематики, пов'язаних із необхідністю враховувати в умовах ринкових відносин інтереси не лише залізниці, а і всіх учасників перевізного процесу. Останніми роками вітчизняні науковці частіше зверталися до проблематики транспортування зернових з організацією відправницької маршрутизації, ефективна реалізація якої неможлива без створення необхідної мережі вузлових станцій для концентрації навантаження зерна.

Розташування вузлових станцій і формування на їхній основі районів концентрації навантаження зерна визначали через вирішення багатоваріантної і багатофакторної оптимізаційної задачі [4] із використанням методів кластерного аналізу. Принципові зміни в проведенні концентрації вантажної і комерційної роботи з урахуванням досягнутого рівня інформатизації технологічних процесів галузі детально не були розглянуті.

У країнах із розвинутою ринковою економікою науковці висвітлювали особливості проведення концентрації певних операцій на залізниці, у цілому підхід характеризують інтегрованим підходом до проблематики (враховано як ефективність функціонування залізничних структур, так і економічну і соціальну привабливість для вантажовласника). Останнім часом увагу приділяють багатокритеріальності оцінок транспортних систем, семантичному підходу до інтеграції, а також зростанню ролі інформаційних систем у функції організації залізничного руху [8-10]. Адаптивна концентрація в прямій постановці не знайшла достатнього висвітлення.

Слід зазначити, що можливість створення і функціонування Пунктів концентрації обробки перевізних документів (ПКОПД) на мережі залізниць України почали останнім часом обговорювати в матеріалах наукових конференцій [11, 12].

### Визначення мети та завдання дослідження.

Метою дослідження є визначення умов доцільності проведення адаптивної концентрації у вантажній і комерційній роботі залізниці України в умовах інформатизації технологічних процесів.



Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- довести можливість концентрації обробки перевізних документів вантажних станцій значного полігону в одному місці за сучасних умов функціонування;
- розглянути організацію взаємодії ПКОПД і прикріплених до нього вантажних станцій після проведення адаптивної концентрації;
- сформулювати умову доцільності створення і функціонування ПКОПД;
- визначити рівень допустимих капітальних витрат на створення ПКОПД на прикладі конкретного пункту.

#### Основна частина дослідження.

Традиційно питання концентрації вантажної роботи мало два аспекти:

- визначення доцільності закриття малодіяльних станцій;
- створення опорних станцій і розподіл вантажної роботи між ними.

Останнє завдання практично пов'язано з управлінням у перспективному плані місцевими вагонопотоками і раціональним закріпленням вантажовідправників і вантажоодержувачів до відповідних опорних станцій.

За ринкових умов при проведенні концентрації вантажної і комерційної роботи почали поєднувати гнучке та послідовне вивчення інтересів і вимог клієнтури з урахуванням техніко-експлуатаційних можливостей і інтересів залізниці. Послідовно застосовували такі напрями концентрації [13]:

- концентрація навантаження і вивантаження на меншій кількості вантажних пунктів при знятті під'їзних колій із балансу залізниці;
- концентрація вантажних операцій на меншій кількості проміжних (опорних) станцій із закриттям для виконання вантажної роботи низки малодіяльних станцій;
- комплексне транспортно-експедиторське обслуговування силами залізниці;
- примикання під'їзної колії до сусідньої станції.

Концентрація вантажної і комерційної роботи на опорних станціях включала такі етапи:

- вибір варіанта концентрації вантажної роботи;
- організація вантажної і комерційної роботи після проведення концентрації;
- організація місцевої роботи дільниці.

Прийнятними були такі форми концентрації вантажної роботи:

- повне закриття малодіяльної станції для виконання вантажних операцій;
- закриття станції для виконання вантажних операцій на місцях загального користування з перенесенням вантажної роботи на місця загального і незагального користування опорної станції або місць незагального користування малодіяльної станції;
- закриття станції для виконання вантажних операцій за певним параграфом із перенесенням вантажної роботи на місця загального і незагального

користування опорної станції або місць незагального користування малодіяльної станції;

- переведення станції в сезонний режим роботи з перенесенням вантажопотоків несезонних вантажів на місця загального і незагального користування опорних станцій;
- закриття станції як роздільного пункту.

У 2020 році при проведенні концентрації вантажної і комерційної роботи на залізниці був задіяний «Порядок проведення рейтинг-аналізу діяльності вантажних станцій АТ «Укрзалізниця», на базі якого приймали рішення про діяльність чи закриття вантажних станцій (відповідні документи подавали до місцевих органів влади щодо компенсації витрат на утримання станцій або надання згоди на їх закриття) [14].

Порядок рейтингової оцінки вантажних станцій базований на принципах комплексного аналізу експлуатаційної діяльності станції. Загальний рейтинг вантажної станції включав шість складових:

- фронт навантаження (вивантаження) (ФН) – одночасне навантаження та вивантаження вагонів;
- вантажна спроможність станції, вагони за добу (ВС) – найбільша кількість вагонів, які можуть бути навантажені чи вивантажені станцією за добу за наявних технічного оснащення і технології його використання;
- середньодобове загальне навантаження та вивантаження станції, вагони за добу (ЗНВ) – загальна сума кількості навантажених і вивантажених вагонів по станції за звітний (аналізований) період;
- фактичне виконання вантажної роботи до вантажної спроможності (ФВ), вимірюване у відсотках, – якісний показник роботи станції, визначуваний шляхом розрахунку відповідних кількісних показників;
- падіння (зростання) навантаження та вивантаження, абсолютне значення (ВНВ) – якісний показник роботи станції, визначуваний шляхом розрахунку відповідних кількісних показників за добу (абсолютне значення звітнього періоду до попереднього: різниця між порівнюваними показниками за звітний і минулий періоди);
- відстань від станції навантаження до станції формування поїздів (ВН), км, – показник, використовуваний з урахуванням направлення вагонопотоків та організації їх у вантажні поїзди на залізниці України.

З переліку станцій, які увійшли до малодіяльних, могли виключати станції, які використовують для забезпечення обороноздатності та безпеки держави; мають вплив на технологічний цикл роботи АТ «Укрзалізниця».

Загальний рейтинг вантажної станції

$$ZPC_i = FN_i + BC_i + ZNB_i + FB_i + VNB_i + VN_i \quad (1)$$

де  $i = 1, n$ ,

де  $n$  – кількість вантажних станцій у рейтингу.

До рейтингу не включено сортувальні, вузлові, стикові, портові, прикордонні та станції «Ліски». Результати моніторингу оприлюднювали на офіційному вебсайті АТ «Укрзалізниця», проте значні обсяги розрахунків і низька заінтересованість

місцевої влади в компенсації збитків АТ «Укрзалізниця» щодо малодіяльних станцій призвели до відмови від цієї процедури.

Методики проведення концентрації вантажної і комерційної роботи не розглядають можливість відокремлювати концентрацію саме вантажної роботи (виконання вантажно-розвантажувальних робіт) і комерційної (проведення документального оформлення процесу перевезення). За паперового документообігу це було неможливо розглядати навіть теоретично, проте активні процеси інформатизації технологічних процесів перевезень на залізничному транспорті відкривають нові можливості як для підвищення ефективності технічної експлуатації залізниці, так і підвищення рівня сервісу вантажовласників-користувачів послуг АТ «Укрзалізниця». Однією з таких перспектив стала можливість проведення адаптивної концентрації.

Під *адаптивною концентрацією* на залізниці у сфері вантажної і комерційної роботи будемо розуміти проведення територіальної концентрації певної частини технологічного процесу залежно від можливостей досягнутого рівня інформатизації, що призводить до економічного ефекту функціонування транспортної системи, підвищення продуктивності праці та якості надання послуг. Отже, технологічні процеси залізниці мають можливість певним чином адаптуватися (приспосовуватися) до досягнутого рівня інформатизації своїх технологічних процесів, тобто, наприклад, стає можливим проведення концентрації обробки перевізних документів на значних полігонах мережі зі створенням ПКОПД без жорсткої підв'язки до концентрації саме вантажної роботи.

Як відомо, за традиційного (паперового) документообігу товарні контори (саме в них проводили документальні оформлення перевезень, з'являлися вантажовласники з документами та для підписування звітних документів) розміщали на території станції, і за концентрації вантажної і комерційної роботи вони функціонували відповідно до роботи станції чи були закриті в разі повного закриття малодіяльної станції для виконання вантажних операцій.

Наразі досягнутий рівень інформатизації технологічних процесів залізничного транспорту України дає можливість сконцентрувати обробку перевізних документів вантажних станцій значного полігону в одному місці – ПКОПД. Тобто технологічно вантажні операції здійснюються так само (на тих же станціях), а їхнє документальне оформлення виконують територіально лише в одному місці полігону. Теоретично є можливість сконцентрувати всю роботу з документального оформлення вантажних перевезень в одному місці (наприклад, у Києві) для всієї залізниці України, проте доцільніший все ж таки варіант розміщення ПКОПД в регіональних філіях на полігоні колишньої дирекції залізничних перевезень (ДН), адже інколи виникає потреба у вантажовласника особисто з'явитися до ПКОПД.

У процесі створення і функціонування ПКОПД необхідно досить ретельно розробляти

організацію взаємодії його співробітників, комерційних працівників вантажних станцій і працівників господарства руху, особливо за виконання місцевої роботи з надання якісних послуг клієнтам залізниці.

Розглянемо детальніше взаємодію ПКОПД і прикріплених до нього вантажних станцій за проведення адаптивної концентрації в частині саме приймання до перевезення/видавання вантажів як у внутрішньому та і міжнародному сполученнях (експорт/імпорт).

За ПКОПД закріплюють усі лінійні станції мережі полігону колишніх дирекцій залізничних перевезень, що відкриті для виконання вантажних операцій. Режим функціонування ПКОПД – цілодобовий, штат утримують відповідно до розрахункових потреб. Працівники ПКОПД за допомогою відповідних АРМів виконують функції з оформлення і переробки перевізних документів, оформлення переадресування вантажів, обліку щодобового з нарахування платежів за всі надані послуги, підготовки відповідних супровідних форм звітності.

Певні операції перевізного процесу (а саме комерційний і технічний огляд вагона, приймання/видавання вантажу тощо) наразі виконують комерційні працівники лінійної станції:

- повідомляють вантажовласників про прибуття вантажів на їхню адресу і плановий час подавання вагонів; інформують працівників ПКОПД про відправлення/прибуття вантажів на станцію і здійснення приймально-здавальних операцій;
- виконують операції зважування вагонів на вагах залізниці або підприємств, приймання до перевезення (видавання) вантажів на місцях як загального, так і незагального користування станцій;
- приймають повідомлення від вантажовласників про закінчення вантажних операцій і готовність вагонів до забирання; подання вагонів до технічного обслуговування саме перед навантаженням;
- комерційний огляд вагонів перед подаванням і забиранням вагонів і в поїздах; оформлення перевізних документів за військових перевезень, перевізних документів УМВС, ЦІМ/УМВС по прибуттю в міжнародних перевезеннях;

- приймають і видають паперові документи вантажовласнику за військових і експортно-імпортних перевезень;

- проставляють у паперових версіях перевізних документів (УМВС накладна), що надають вантажовласники самостійно або друкують працівники станції на їхнє прохання, відбитки необхідних штампелів, у тому числі і календарних;

- у разі потреби і за відсутності на станції співробітників станційного технологічного центру (СТЦ) чи інших працівників, на яких покладено саме ці обов'язки, вводять повідомлення про відчеплення вагонів від состава поїзда, «кидання» поїздів і формування натурних листів тощо.

При роботі комерційних працівників лінійних станцій лише в денну зміну перед закінченням зміни

начальник станції складає і узгоджує план місцевої роботи в нічну зміну. План місцевої роботи в нічну зміну складають із врахуванням підходу вагонів, наявності інформації про затримки вагонів на коліях станції (через зайняття фронту, закриття під'їзної колії, митне оформлення вантажу чи наявність листа вантажоодержувача тощо). Узгоджений план місцевої роботи начальником станції на нічну зміну надають засобами електронної пошти LotusNotes черговому по станції. Черговий станції ознайомлюється з планом місцевої роботи на нічну зміну і архівує повідомлення в системі LotusNotes. За відсутності у плані місцевої роботи інформації про можливість подавання вагонів саме в нічний час такі вагони затримують на коліях станції до встановлення комерційними працівниками денної зміни можливості їх подавання.

У нічний час за відсутності комерційних працівників на лінійних станціях усю інформацію про час фактичного прибуття вагонів на станцію, час оповіщення відповідального працівника підприємства про подавання вагонів, час фактичного початку вантажних операцій, наявність і тривалість виконання маневрової роботи, час фактичного закінчення вантажних операцій, час початку чи закінчення затримання вагонів фіксує черговий по станції в повідомленні, яке після закінчення зміни нічної засобами електронної пошти LotusNotes надходить працівнику комерційному лінійної станції для подальшої обробки.

Для прикладу розглянемо більш детально роботу ПКОПД регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця». Наразі на полігоні філії започатковано функціонування трьох ПКОПД (ПКОПД ДН-2, ПКОПД ДН-3, ПКОПД ДН-4), територіально розміщених відповідно в містах Харків, Суми і Полтава. Регіональна філія поступово нарощує обсяги перевезень, збільшується кількість оброблених вагонів. Так, порівняно з березнем 2023 року в березні 2024 року кількість перероблених вагонів зросла на 24,4 %, у тому числі по підрозділу ДН-2 кількість навантажених вагонів зросла на 45,4 %, а вивантажених – на 91,5 %. Показники вантажної роботи регіональної філії за підрозділами в березні 2024 року наведені в таблиці.

Таблиця  
Показники вантажної роботи регіональної філії «Південна залізниця» за підрозділами за березень 2024 року

Підрозділ	Навантаження, ваг	Вивантаження, ваг	Оброблено, ваг	Нарахування	
				у цілому, тис. грн	на один оброблений вагон, грн
ДН-2	3 416	3 471	6 887	156 559,4	22 732,6
ДН-3	5 110	684	5 794	217 197,3	37 486,6
ДН-4	27 362	5 196	32 558	969 911,3	29 790,3
Філія	35 888	9 351	45 239	1 441 666,2	31 867,8

Як бачимо, найбільш збалансованою структурою з практично рівним обсягом навантаження і вивантаження вагонів є ДН-2, технологічні аспекти роботи її ПКОПД і розглянемо. Наразі вказаний ПКОПД обслуговує 71 прикріплену станцію (з них 18 не функціонують (прифронтові)).

За штатним розкладом, у ПКОПД ДН-2 може бути задіяно 40 агентів комерційних, тобто скорочена кількість комерційних працівників (до створення ПКОПД на ДН-2 штат товарних касирів складав 81 одиницю) не менш ніж на 40 одиниць (після перенавчання вони можуть знизити дефіцит кадрів на регіональній філії).

Висока концентрація фахівців у ПКОПД дає змогу їм активно підвищувати свій професійний рівень (як у спілкуванні між собою, так і при оперативному доведенні інформації про будь-які зміни в технології обробки перевізних документів тощо), надавати високоякісні послуги для користувачів послуг у цьому центрі.

У ПКОПД ДН-2 виділяють три напрями роботи з обробки документів: з відправлення; прибуття; додаткові збори.

На деяких інших ПКОПД така спеціалізація може бути і не задіяна, тобто агенти комерційні не спеціалізуються на вказаних напрямках, а виконують будь-яку операцію (універсальність). Однак за значних обсягів роботи перспективним є саме спеціалізація фахівців за напрямками роботи, що призведе в цілому до підвищення якості надання послуг.

Щодо обсягів роботи ПКОПД ДН-2, то за березень 2024 року опрацьовано 19 191 документ за всіма напрямками роботи (навантаження 3 416 і розвантаження 3 471 вагона на ДН-2; 8 351 – обробка документів з відправлення, 7 837 – обробка документів з прибуття, 9 073 – обробка документів, пов'язаних з додатковими зборами). Найбільш копітка робота з завантаження агента комерційного – обробка документів, пов'язаних із додатковими зборами. Це досить диференційовані і різноманітні збори, які мають значну специфіку як за конкретною станцією, так і видом перевезення (витрати часу від кількох хвилин і до практично двох діб). Наприклад, при оформленні відомостей форм ГУ-46, ГУ-46а, накопичувальної картки форми ФДУ-92 агенти комерційні перевіряють дані, надані станцією щодо складання актів затримок. До того ж є норма очікування підписання такої документації вантажовідправником/одержувачем (48 год), тому розрахунок і кінцеве підписання з боку залізниці проводять два різних працівники.

Організація роботи змін: удень – по три фахівці за напрямом (відправлення, прибуття, додаткові збори) і старший зміни (разом 10 працівників); вночі – по одному за напрямом і старший зміни (разом чотири працівники). Розглянемо роботу за напрямками:

- *відправлення*. На робочому місці фахівця є доступ до всіх АРМ ТВК станцій, закріплених за ПКОПД, проте реально станції поділені за кожним робочим місцем за базовою станцією (станції Л, Х, О)



і закріплені за базовою іншими станціями (до 20). Тобто один фахівець обслуговує до 20 станцій, закріплення станцій може змінюватися (не жорстко). Обробка перевізного документа в середньому триває 5...7 хв для внутрішніх перевезень (національна електронна накладна) і 10...13 хв за міжнародних перевезень (накладна УМВС або ЦМ/УМВС). За добу в березні 2024 року ПКОПД оброблено близько 270 документів з відправлення, у середньому 65-70 документів на одного працівника;

- *прибуття*. У технологічному плані алгоритм такий саме, як і при обробці документів з відправлення. За добу в березні 2024 року ПКОПД оброблено близько 250 документів з прибуття, у середньому 60-65 документів на одного працівника;

- *додаткові збори*. На відміну від попередніх напрямів роботи, закріплення фахівців за станціями жорстке, тобто агент комерційний працює лише по тих станціях, які за ним закріплені. За добу в березні 2024 року ПКОПД оброблено 290-300 документів із додаткових зборів, у середньому 70-75 документів на одного працівника.

Створення і функціонування ПКОПД доцільне за умови, якщо

$$C_e \geq \Delta C, \quad (2)$$

де  $C_e$  – економія витрат після створення ПКОПД. Практично єдиною економією витрат є економія зарплати комерційних працівників, які вивільнюються при концентрації, з урахуванням додаткової зарплати (премії тощо) і відповідних нарахувань на зарплату. Її доцільно визначати за штатним розкладом і кількістю працівників, які вивільнюються. Щодо інших елементів економії витрат, то вони фактично відсутні, адже приміщення товарної контори станції зазвичай продовжують використовувати комерційні працівники станції, які залишилися на станції, з використанням обладнання робочих місць товарних касирів (АРМ ТВК тощо);

$\Delta C$  – додаткові витрати, пов'язані з проведенням адаптивної концентрації,

$$\Delta C = C_{кпр} + C_a + C_{дп} + C_{ел} + C_{кон} + C_{уп} + C_{ін} \quad (3)$$

де  $C_{кпр}$  – приведені капітальні витрати на облаштування приміщення та обладнання робочих місць працівників ПКОПД,

$$C_{кпр} = \sum_i \frac{K_{прі}}{T_{слі}} + \sum_y \frac{K_{рпю}}{T_{слу}}, \quad (4)$$

де  $K_{прі}$  – капітальні вкладення на облаштування приміщення;

$T_{слі}$  – термін служби відповідних видів капітальних вкладень в облаштування приміщення ПКОПД;

$i$  – кількість видів капітальних вкладень в облаштування приміщення,  $i = 1, n$ ;

$K_{рпю}$  – капітальні вкладення на облаштування робочих місць працівників ПКОПД;

$T_{слу}$  – термін служби відповідних видів капітальних вкладень в облаштування робочих місць працівників ПКОПД;

$y$  – кількість видів капітальних вкладень в облаштування робочих місць працівників,  $y = 1, m$ ;

$C_a$  – витрати на утримання адміністрації ПКОПД;

$C_{дп}$  – витрати на додаткову оплату праці агентів комерційних (премії, доплати, пов'язані з обсягами виконаних робіт з урахуванням коефіцієнта складності) з урахуванням нарахувань на цю оплату;

$C_{ел}$  – витрати електроенергії, пов'язані з функціонуванням робочих місць працівників ПКОПД;

$C_{кон}$  – витрати на комплектуючі, задіяні на робочих місцях;

$C_{уп}$  – витрати на утримання приміщення ПКОПД;

$C_{ін}$  – інші невраховані витрати.

Отже, за формулами (2) і (3) можемо оцінити допустимі капітальні витрати на облаштування приміщення та обладнання робочих місць працівників ПКОПД, приведені до річних витрат, які можливі за умови доцільності функціонування ПКОПД на обраному полігоні:

$$C_{кпр} \leq C_e - C_a - C_{дп} - C_{ел} - C_{кон} - C_{уп} - C_{ін}. \quad (5)$$

Слід зазначити, що зазвичай нема необхідності споруджувати нове приміщення для розміщення ПКОПД. Здебільшого ці структури створюють в обласних центрах, де достатньо інфраструктурних об'єктів залізниці. Наприклад, у м. Харкові ПКОПД ДН-2 розміщено в частині приміщень колишніх кас попереднього продажу квитків (360 м<sup>2</sup>) (наразі потреба у використанні широкої мережі таких кас відсутня через розвиток інформаційних технологій), де вже використовували певні інформаційні мережі (мінімізовано витрати на облаштування приміщення), територіально поряд знаходиться інформаційно-обчислювальний центр регіональної філії і управління регіональної філії.

Спробуємо оцінити складову  $C_{кпр}$  для умов ПКОПД ДН-2 регіональної філії «Південна залізниця». Розрахунки будемо проводити станом на квітень 2024 року.

*Економія витрат після створення ПКОПД.* За проведення адаптивної концентрації на ДН-2 вивільнено 41 комерційний працівник, а саме 21 агент комерційний другої категорії з посадовим окладом 10 031 грн і 20 агентів комерційних із посадовим окладом 9 039 грн. Враховуємо премії (20 %) і нарахування на основну та додаткову зарплати (Єдиний соціальний внесок) – 22 %. Економія витрат за рік становитиме

$$C_e = (21 \times 10\,031 + 20 \times 9\,039) \times 1,2 \times 1,22 \times 12 = 6\,876\,659,81 \text{ грн.}$$

*Витрати на утримання адміністрації ПКОПД.* Штатним розписом передбачено дві штатні

адміністративні одиниці в ПКОПД ДН-2: начальник пункту з посадовим окладом 18 150 грн і заступник начальника пункту з посадовим окладом 16 468 грн. Враховуємо премії (20 %), доплати, пов'язані з обсягами виконаних робіт працівниками ПКОПД з урахуванням коефіцієнта складності (середнє значення – 1 100 грн за місяць) і нарахування на основну та додаткову зарплати (Єдиний соціальний внесок) – 22 %. Витрати на утримання адміністрації ПКОПД за рік складуть

$$C_a = ((18\,150 \times 1,2) + 1\,100 + (16\,468 \times 1,2) + 1\,100) \times 1,22 \times 12 = 640\,377,02 \text{ грн.}$$

*Витрати на додаткову оплату праці агентів комерційних ПКОПД.* Практично йдеться про доплати, пов'язані з обсягами виконаних робіт з коефіцієнтом складності з урахуванням нарахувань на цю оплату. Штатним розкладом передбачено 40 агентів комерційних, середній рівень доплат складає 1 100 грн за місяць, нарахування – Єдиний соціальний внесок – 22 %. Витрати на додаткову оплату праці агентів комерційних ПКОПД за рік складуть

$$C_{дп} = 40 \times 1\,100 \times 1,22 \times 12 = 644\,160,00 \text{ грн.}$$

*Витрати електроенергії, пов'язані з функціонуванням робочих місць працівників ПКОПД.* Задіяно 13 робочих місць (ПЕОМ), з них чотири працюють цілодобово, а дев'ять – в одну (денну) зміну. З урахуванням цього середній фонд робочого часу однієї ПЕОМ за рік складатиме 5 728 маш.-год, потужність однієї ПЕОМ – 0,36 кВт\*год, вартість 1 кВт\*год – 1,96 грн. Отже, витрати на електроенергію за рік складуть

$$C_{ел} = 13 \times 5\,728 \times 0,36 \times 1,96 = 52\,541,80 \text{ грн.}$$

*Витрати на комплектуючі, задіяні на робочих місцях.* До цих витрат відносять вартість паперу і заправлення картриджів. Задіяно чотири принтери, картриджі яких необхідно заправляти два рази на місяць (вартість одного заправлення – 300 грн), на кожному використовують до чотирьох пачок паперу за місяць. Витрати на комплектуючі, задіяні на робочих місцях працівників ПКОПД, за рік складуть

$$C_{кон} = (300 \times 2 + 180 \times 4) \times 4 \times 12 = 63\,360,00 \text{ грн.}$$

*Витрати на утримання приміщення ПКОПД.* Виходячи з площі приміщення (360 м<sup>2</sup>) вартість його утримання складе близько 50 тис. грн за рік.

*Інші невраховані витрати.* Вважатимемо, що вони складають близько 10 % вищенаведених витрат:

$$C_{ін} = (640\,377,02 + 644\,160,00 + 52\,541,80 + 63\,360,00 + 50\,000,00) \times 0,1 = 145\,043,88 \text{ грн.}$$

Отже, допустимі капітальні витрати на облаштування приміщення та обладнання робочих місць працівників, приведені до річних витрат, які

можливі за умови доцільності функціонування ПКОПД ДН-2 на обраному полігоні, не мають перевищувати (формула (5))

$$C_{кп} \leq 6\,876\,659,81 - 640\,377,02 - 644\,160,00 - 52\,541,80 - 63\,360,00 - 50\,000,00 - 145\,043,88 = 5\,281\,177,11 \text{ грн.}$$

Отриманий результат вказує на суттєві кошти, приведені до річних витрат, які можна направити на облаштування приміщення та обладнання робочих місць працівників ПКОПД ДН-2 (у тому числі для забезпечення стабільності електропостачання в умовах сьогодення (придбання дизель-генератора тощо)). Наприклад, за терміну служби п'ять років капітальних вкладень їхня сума може скласти близько 26 млн грн (5,28x5=26,4 млн грн) за умови доцільності функціонування ПКОПД на обраному полігоні.

### Висновки.

На підставі проведених досліджень зроблено такі висновки:

- доведено, що досягнутий рівень інформатизації технологічних процесів залізничного транспорту України дає можливість сконцентрувати обробку перевізних документів вантажних станцій значного полігону в одному місці – Пункті концентрації обробки перевізних документів (ПКОПД); введено поняття і сформульовано визначення *адаптивної концентрації* на залізниці у сфері вантажної і комерційної роботи;

- розглянуто технологічні аспекти створення і функціонування ПКОПД, підкреслено необхідність ретельності розроблення організації взаємодії працівників ПКОПД і вантажних станцій; оцінено технологічні переваги функціонування ПКОПД, які полягають у тому, що висока концентрація фахівців у цьому центрі дає змогу їм активно підвищувати свій професійний рівень і надавати більш якісні послуги для користувачів послуг залізниці; показано, що за значних обсягів роботи ПКОПД слід проводити спеціалізацію фахівців за напрямками роботи, що призведе в цілому до підвищення якості надання послуг;

- сформульовано умову доцільності створення і функціонування ПКОПД з розшифруванням складових, яка полягає в тому, що економія витрат після створення ПКОПД не має перевищувати додаткові витрати, пов'язані з проведенням адаптивної концентрації;

- доведено економічну ефективність створення і функціонування ПКОПД на прикладі регіональної філії «Південна залізниця» з визначенням допустимих капітальних витрат на облаштування приміщення та обладнання робочих місць працівників ПКОПД ДН-2.

Отже, створення на мережі залізниці ПКОПД дає позитивний ефект як у контексті реалізації програми діджиталізації залізничних вантажних перевезень, так і в цілому для підвищення якості надання послуг вантажовласникам.

Подальшим розвитком дослідження має стати створення моделі групового управління АРМ ТВК для визначення оптимальної кількості АРМ ТВК на одного оператора (агента комерційного) ПКОПД.

#### Список використаних джерел

1. 45,7 % залізничних колій в Україні є збитковими – «Укрзалізниця». URL: <https://gordonua.com/ukr/news/money/-45-7-zaliznichnih-kolij-v-ukrajini-je-zbitkovimi-ukrzaliznitsja-964612.html> (дата звернення 23.04.2024).
2. Кизим О. В. Методика вибору опорних станцій на полігоні концентрації комерційної роботи. *Збірник наукових праць ХарДАЗТ*. Харків: ХарДАЗТ, 2001. Вип. 47. С. 51-55.
3. Данько М. І., Кизим О. В. Умови функціонування опорних станцій на полігоні вуглевидобувного регіону. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2004. № 2. С. 77-79.
4. Kozachenko D. M., Vernigora R. V., Rustamov R. S. Creation of export-oriented network of grain elevators in Ukraine. *Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ*. 2017. № 2(68). С. 56-70.
5. Сахно В. П., Поляков В. М., Дехтяренко Д. О. Теоретичні засади використання змішаного методу багатокритеріального аналізу для маршрутизації перевезень вантажів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Харків: ДУЗТ, 2019. Вип. 188. С. 50-57.
6. Богомазова Г. Є., Бауліна Г. С. Розробка моделі формування ступінчатих маршрутів із зерновими вантажами на залізницях України. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Харків: ДУЗТ, 2019. Вип. 187. С. 42-48.
7. Арсененко Д. В. Удосконалення організації перевезень зернових вантажів залізничними ступінчастими маршрутами. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Харків: ДУЗТ, 2019. Вип. 184. С. 92-97.
8. Lewis Richard A semantic approach to railway data integration and decision support. *Ph.D. thesis, University of Birmingham*. 2022. 300 p. URL: <http://etheses.bham.ac.uk/5959/1/Lewis15PhD.pdf> (last access 26.04.2024).
9. Repevnik Anton, Martina Belšak Information system in the function of railway traffic management. *Transport Problems*. 2021. Vol. 6. Is. 1. P. 37-42.
10. Pyza Dariusz Multi-Criteria Evaluation of Transportation Systems in Supply Chains. *Archives of Transport*. 2021. Vol. 23. Is. 1. P. 47-65.
11. Запара В. М., Діденко В. І., Рехтик Я. В. Взаємодія пункту концентрації обробки перевізних документів та прикріплених до нього вантажних станцій. *Тези XV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (24-25 травня 2023 р., м. Херсон)*. Херсон: Херсонська державна морська академія, 2023. С. 136-137.
12. Запара В. М., Мухопад Н. В. Пункти концентрації обробки перевізних документів – сучасний підхід в удосконаленні транспортних технологій. *Тези XIX Міжнародної науково-практичної конференції «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика» (1 - 2 червня 2023 р. м. Харків)*. Харків: УкрДУЗТ, 2022. С. 127-128.
13. Шевченко Т. Д. Концентрація вантажної і комерційної роботи на опорних станціях. *Збірник наукових праць ХарДАЗТ*. Харків: ХарДАЗТ, 1999. Вип. 38. С. 81-88.
14. Рейтинг-аналіз діяльності вантажних станцій АТ «Укрзалізниця». URL: [https://www.uz.gov.ua/files/file/cargo\\_transportation/%D0%9F%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%BE%D0%BA%20%D0%B2%D1%96%D0%B4%2002.04.2020.pdf](https://www.uz.gov.ua/files/file/cargo_transportation/%D0%9F%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%BE%D0%BA%20%D0%B2%D1%96%D0%B4%2002.04.2020.pdf) (дата звернення 26.04.2024).

**Abstract.** *The features of adaptive concentration in freight and commercial work under the conditions of technological processes informatization on the railways of Ukraine are examined in the article. The achieved level of the technological processes informatization on the Ukrainian railway transport allows to concentrate the processing of freight stations transport documents in one place – the Transport Documents Processing Centre (TDPC). The concept was introduced and the definition of adaptive concentration on railways in part of cargo and commercial work was formulated.*

*The creation and functioning technological aspects of the TDPC were analysed. The need for fullness development of the interaction organization for the TDPC employees and cargo stations during the performance of local work to provide quality services to customers was emphasized. The technological advantages of the TDPC operation were assessed. There is high concentration of specialists in this centre that allows them to actively raise their professional level and provide better services for the railway services users. It is shown that with significant amount of load to TDPC, specialists should be specialized in areas of work. This will lead to increasing of the service provision quality.*

*The feasibility condition for the TDPC creating and functioning with the deciphering of the components is determined. The main point that the cost savings after the TDPC creation should not exceed the additional costs associated with the adaptive concentration implementation.*

*The economic effectiveness of the TDPC creation and operation is proven on the example of the regional branch «Southern Railway» with the determination of permissible arrangement capital costs for the premises and the equipment of the workplaces of TDPC employees.*

*The study proved that the TDPC railway network creation and functioning is a modern progressive measure. It gives a positive effect in the implementation of*

*the digitalization program of railway freight transportation context, and for improving the quality of providing services to cargo owners.*

**Keywords:** *adaptive concentration, freight work, economic efficiency, informatization of technological processes, commercial work, processing of transport documents, concentration center, feasibility condition.*

<https://orcid.org/0000-0002-9185-6212>.  
[shapatina.uvkr@kart.edu.ua](mailto:shapatina.uvkr@kart.edu.ua).

E-mail:

Каграманян Артур Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3520-4911>. E-mail: [kartal2@ukr.net](mailto:kartal2@ukr.net).

Ковальов Антон Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8546-3183>. E-mail: [kovalov.uvkr@kart.edu.ua](mailto:kovalov.uvkr@kart.edu.ua).

Запара Віктор Мефодійович, кандидат технічних наук, професор кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9134-1799>. E-mail: [v.zapara@gmail.com](mailto:v.zapara@gmail.com).

Запара Ярослав Вікторович, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0504-7890>. E-mail: [y.zapara@gmail.com](mailto:y.zapara@gmail.com).

Шапатіна Ольга Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9185-6212>. E-mail: [shapatina.uvkr@kart.edu.ua](mailto:shapatina.uvkr@kart.edu.ua).

Kahramanyan Arthur, PhD (Tech), Associate Professor of the Department of Heating Engineering, Heat Engines and Energy Management, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3520-4911>. E-mail: [kartal2@ukr.net](mailto:kartal2@ukr.net).

Kovalov Anton, PhD (Tech), Associate Professor of the Department of Cargo and Commercial Work Management, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8546-3183>. E-mail: [kovalov.uvkr@kart.edu.ua](mailto:kovalov.uvkr@kart.edu.ua).

Zapara Victor, Ph.D., Professor department of management of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9134-1799>. E-mail: [v.zapara@gmail.com](mailto:v.zapara@gmail.com).

Zapara Yaroslav, Ph.D., Associate Professor department of management of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0504-7890>. E-mail: [y.zapara@gmail.com](mailto:y.zapara@gmail.com).

Shapatina Olha, Ph.D., Associate Professor department of management of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport, ORCID iD:



НЕРУБАЦЬКИЙ В. П., канд. техн. наук, УкрДУЗТ,  
ПЛАХТІЙ О. А., канд. техн. наук, УкрДУЗТ,  
ІВАХНО В. В., докт. техн. наук, НТУ «ХПІ»,  
ГОРДІЄНКО Д. А., аспірант, УкрДУЗТ,  
ШЕЛЕСТ Д. А., аспірант, НТУ «ХПІ»

## Аналіз методів керування випрямно-інверторного перетворювача електровоза

У статті наведено дослідження характеристик електромагнітної сумісності в системі «електровоз – контактна мережа». Проведено аналіз впливу якості електричної енергії на надійність і ресурс роботи залізничних пристроїв та інших об'єктів. Визначено недоліки режиму роботи тиристорних випрямлячів у статичних перетворювачах електровозів однофазного змінного струму. Проведено моделювання різних режимів керування випрямно-інверторного перетворювача електровоза. Подано адаптивну систему різнофазного керування випрямно-інверторного перетворювача із застосуванням діодного плеча, ввімкненого паралельно колу випрямленого струму, що дає змогу незалежно від місця розташування на фідерній зоні максимально виконувати функцію зниження коефіцієнта гармонічних спотворень.

**Ключові слова:** випрямно-інверторний перетворювач, електричний рухомий склад, електромагнітна сумісність, коефіцієнт потужності, система керування, тяговий електричний двигун.

### Вступ

Питання підвищення надійності та ефективності роботи технічних засобів електричного рухомого складу завжди були актуальними і їм приділяли особливу увагу в наукових дослідженнях [1, 2]. Відомі дослідження про електромагнітну сумісність електровозів і систем контактної мережі [3, 4].

Стрімкий науково-технічний розвиток у галузі силової електроніки значно полегшив виробництво потужних багатосистемних локомотивів, і всі основні світові виробники електричного рухомого складу мають великий досвід у цій галузі [5, 6]. Однак залишається проблема забезпечення електромагнітної сумісності, оскільки при роботі деяких систем сигналізації, централізації та блокування з використанням рейкових кіл по рейках одночасно протікають як тяговий струм силою в сотні ампер, так і слабкий струм вищевказаних систем. Наприклад, вищі гармоніки напруги, генеровані електровозами, викликають додаткові втрати в обмотках допоміжних машин електровоза, скорочуючи їхній термін служби [7, 8].

Пріоритетними завданнями стали розроблення та впровадження більш досконалих технологій, спрямованих на підвищення надійності роботи електрообладнання тягового рухомого складу [9, 10]. У цій стратегії питання підвищення якості електроенергії в системі електропостачання є головним, оскільки безпосередньо від якості електричної енергії залежить експлуатаційний ресурс

технічних засобів усього залізничного господарства. У зв'язку зі зростаючим вантажообігом і пасажирооборотом магістральних залізниць змінного струму до якості електричної енергії висувають дедалі жорсткіші вимоги.

### Постановка проблеми, аналіз досліджень і публікацій

З метою покращення якості електричної енергії до перетворювачів електричного рухомого складу застосовано низку методів керування. Так, у публікаціях [11, 12] подано активні схеми випрямлячів, у яких послідовно з'єднані два мости, що працюють з однаковим навантаженням. Перевагою цих способів керування є низьке значення напруги, яку подають на вимикач, що дає змогу використовувати перетворювачі великої потужності. Недоліком цих рішень є необхідність використання трансформаторів, що збільшує вартість системи і знижує загальну ефективність.

У публікаціях [13, 14] наведено метод керування, орієнтований на регулювання напруги в електроприводах змінного струму. В основу методу покладено непряме керування потужністю за рахунок вилучення вторинної складової напруги. Уставки напруги для прямої і вторинної складових формує регулятор струму. Однак ці методи потребують визначення елемента постійного струму, встановлення на нуль еталона квадратичної складової, щоб мати одиничний коефіцієнт потужності.

Крім прямого керування моментом привода змінного струму, відомі й інші методи керування випрямлячем, орієнтовані на пряме керування потужністю [15, 16]. У цьому випадку є можливість керувати активною та реактивною потужністю одночасно, вибираючи відповідний стан інвертора з певної таблиці перемикань. У кожен момент часу вибірки вектор напруги відповідного інвертора вибирають відповідно до різниці між активною та реактивною потужністю, опором і положенням вектора напруги. Однак для точного оцінювання потужності потрібен малий період вибірки, а для високої частоти дискретизації потрібні швидкі мікропроцесори і аналого-цифрові перетворювачі.

– визначення недоліків режиму роботи тиристорних випрямлячів у статичних перетворювачах електровозів однофазно змінного струму;

– подання адаптивної системи різнофазного керування випрямно-інверторного перетворювача з застосуванням діодного плеча, ввімкненого паралельно колу випрямленого струму;

– моделювання різних режимів керування випрямно-інверторного перетворювача електровоза та визначення найбільш прийняттого.

**Мета та завдання дослідження**

Метою роботи є покращення електромагнітної сумісності системи «електровоз – контактна мережа» за рахунок реалізації адаптивної системи різнофазного керування випрямно-інверторного перетворювача, що дасть змогу поліпшити умови роботи електровоза, його електронного обладнання та електроустаткування за якістю напруги в контактній мережі. Для досягнення мети було поставлено такі завдання:

– аналіз впливу якості електричної енергії на надійність і ресурс роботи залізничних пристроїв та інших об’єктів;

**Викладення основного матеріалу**

*Вплив якості електричної енергії на надійність і ресурс роботи залізничних пристроїв та інших об’єктів.* Спотворення синусоїдальної форми напруги в контактній мережі впливає як на експлуатаційні характеристики електровозів, так і систему тягового електропостачання [17, 18]. Так, вищі гармоніки напруги, генеровані електровозами, викликають додаткові втрати в обмотках допоміжних машин електровозів, що знижує їхній експлуатаційний ресурс. На рис. 1 наведено основні пристрої, схильні до негативного впливу тягової мережі змінного струму.

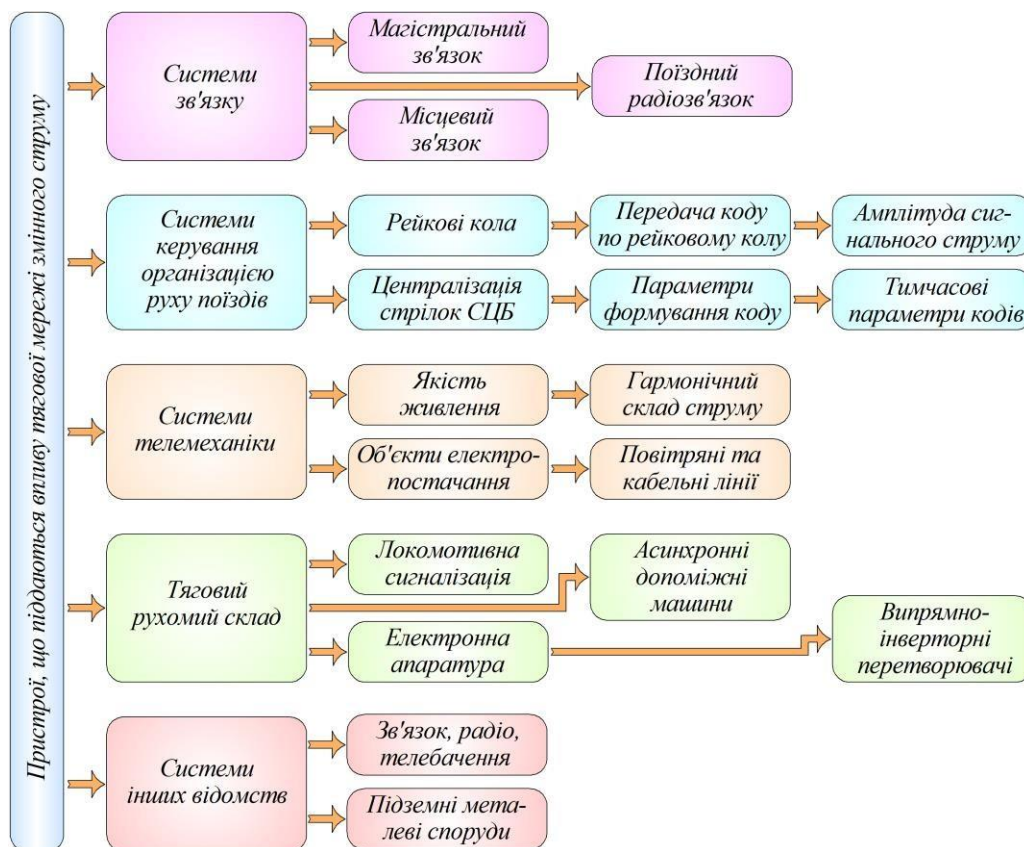


Рис. 1. Вплив якості електричної енергії на надійність і ресурс роботи залізничних пристроїв та інших об’єктів

У силовому трансформаторі гармоніки напруги викликають збільшення втрат на гістерезис, тобто втрат, пов'язаних із вихровими струмами в сталі і втрат в обмотках, а також підвищують витрати електроенергії на тягу поїздів [19, 20].

Вплив несинусоїдності напруги на індукційні та електронні прилади обліку електроенергії, споживаної електровозом, призводить до збільшення похибки результатів вимірювання цих приладів [21, 22]. Гармоніки порушують надійність роботи пристроїв захисту і погіршують їхні експлуатаційні характеристики. У цьому найпоширенішими є помилкові спрацьовування, найімовірніші в роботі систем захисту, заснованих на вимірюванні опорів.

Низька якість електроенергії призводить до скорочення терміну служби ізоляції електричних машин і апаратів, низької надійності роботи пристроїв сигналізації, централізації і блокування, автоматичної локомотивної сигналізації, збоїв у роботі систем керування перетворювачами електровоза, релейного захисту, автоматики, телемеханіки, зв'язку та обчислювальної техніки [23, 24].

Збитки від відмов технічних засобів з невиконання вимог електромагнітної сумісності є досить суттєвими через мережу залізниць. Це визначає актуальність та економічну значущість цієї проблеми.

**Режим роботи тиристорних випрямлячів у статичних перетворювачах електровозів.** Завдяки застосуванню тиристорних випрямлячів у статичних перетворювачах електровозів однофазного змінного струму є можливість здійснювати керування колекторними тяговими електродвигунами за рахунок плавного регулювання на них напруги [25, 26]. Це відбувається зміною моментів відключення відповідних плечей випрямно-інверторного перетворювача електровоза в межах періоду напруги живлення (рис. 2). Однак експлуатація таких електровозів разом із перевагами силових схем тиристорних перетворювачів виявила і ряд їхніх недоліків порівняно з електровозами, обладнаними напівпровідниковими неоднорідними діодами.

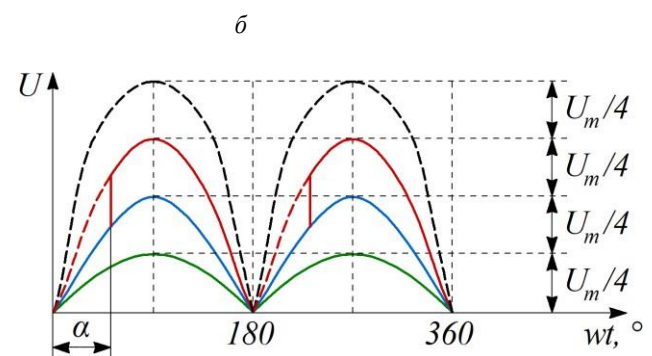
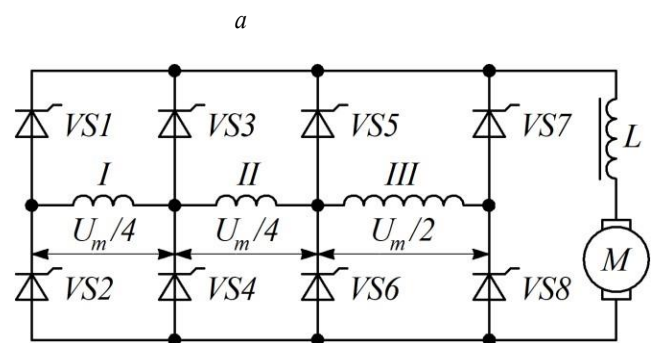
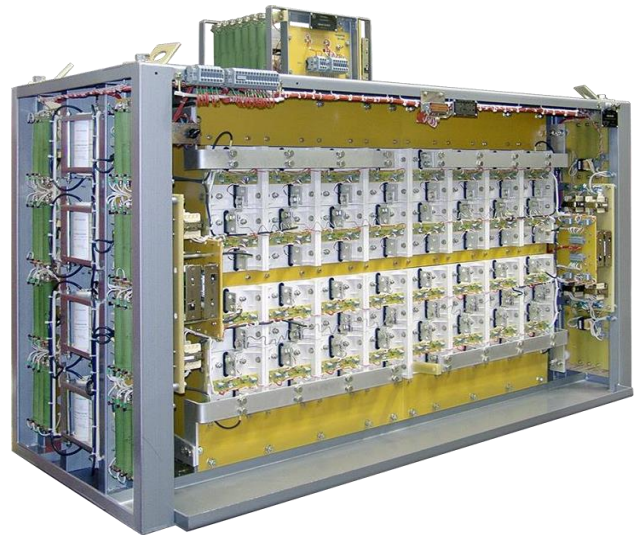


Рис. 2. Випрямно-інверторний перетворювач:

а – зовнішній вигляд; б – схема електрична принципова; в – діаграми напруги в зоні регулювання

Відповідно до штатного режиму роботи системи керування на сучасних електровозах змінного струму комутація в усіх випрямних інверторних перетворювачах відбувається одночасно [27, 28]. У момент початку комутації частина обмоток тягового трансформатора кожної секції електровоза починає працювати як коротко замкнена. Одночасний початок комутації всіх перетворювачів зумовлює різке зменшення напруги на струмоприймачі. Проте миттєвого зменшення напруги нема, оскільки внаслідок наявності в тяговій мережі розподілених

індуктивностей і ємностей виникають вільні коливання напруги. Будь-яка контактна мережа являє собою замкнений коливальний контур ( $RLC$ -коло) (рис. 3).

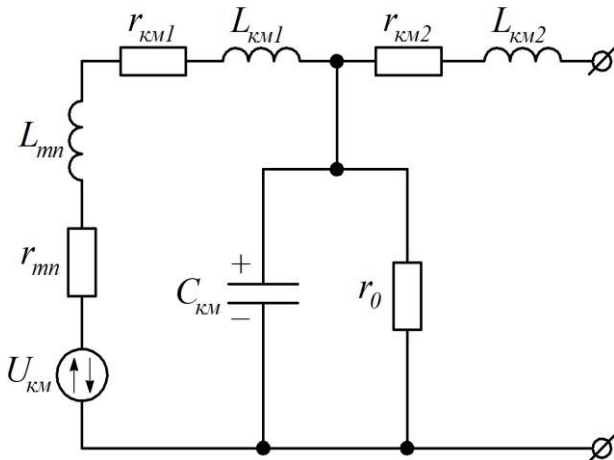


Рис. 3. Схема заміщення тягової підстанції та контактної мережі з її розподіленими параметрами

Наведена схема складається з касадно з'єднаних Т-подібних симетричних чотириполюсників, які у свою чергу моделюють погонні параметри системи (індуктивність контактної мережі, активний опір, розподілену ємність відносно землі та опір, обумовлений струмом витoku з проводів лінії та ізоляторів). Фізична сутність спотворення синусоїдальності змінної напруги полягає у виникненні режиму короткого замикання кола змінного струму (обмоток трансформатора) в інтервали комутації струмів тиристорів випрямляча, у результаті чого в цих інтервалах відбувається провал у кривій синусоїдальної напруги (рис. 4).

Рис. 4. Електромагнітні процеси напруги в контактній мережі (1) і випрямленої напруги тягового двигуна (2) при роботі електровоза в режимі тяги з базовим способом керування

Ці провали спотворюють форму кривої напруги і призводять до виникнення вищих гармонічних складових, найбільшими з яких є непарні 3, 5, 7, 9, 11, 13 і т. п. гармоніки, що впливають на надійність роботи технічних засобів.

У процесі протікання комутацій електромагнітна енергія, накопичена в індуктивності обмоток трансформатора, передається в контактну мережу. У результаті відбувається коливальний процес між індуктивністю задіяних у великому та малому контурах комутації секцій трансформатора електровоза та розподіленою ємністю контактної мережі. Частота комутаційних і післякомутаційних коливань напруги та їхня амплітуда залежать в основному від відстані між тяговими підстанціями та способу живлення міжпідстанційної зони (одностороння або двостороння) [29, 30].

**Модельовання роботи тиристорних випрямлячів у статичних перетворювачах електровозів.** Роботу електровоза в типовому та запропонованому режимі було змодельовано за допомогою програмного забезпечення OrCad. Модель електровоза є наближеною схемою до реальних умов. Під час роботи схеми електровоза в реальному і модельованому варіантах похибка склала 8 %. Отже, отримані результати обчислень під час роботи моделі можна вважати достовірними. Аналізуючи в такий спосіб роботу електровоза на четвертій зоні регулювання, особливо за несприятливих умов (робота електровоза у змушених режимах системи електропостачання), було отримано діаграму напруги в контактній мережі (рис. 5).

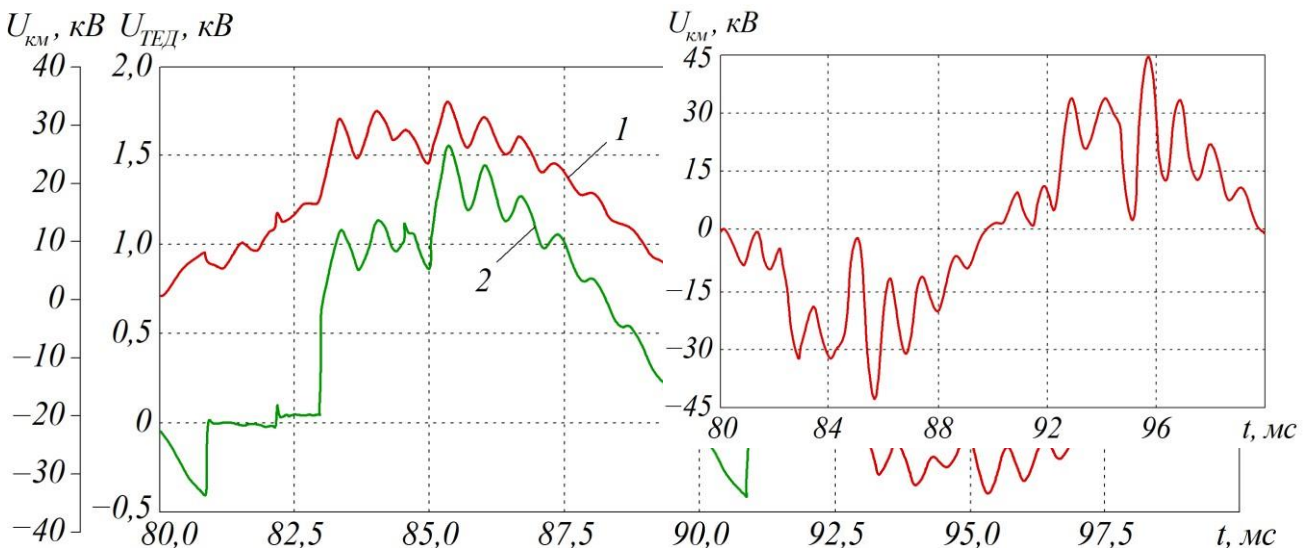




Рис. 5. Діаграма напруги в контактній мережі за годинного режиму роботи тягового електричного двигуна ( $\alpha_p = 90^\circ$ ) у зоні регулювання напруги випрямно-інверторного перетворювача.

Одним із засобів підвищення надійності електрообладнання в експлуатації і зменшення амплітуди, комутаційних і післякомутаційних коливань запропоновано такий спосіб керування випрямно-інверторного перетворювача, що використовує метод одночасної комутації струмів тиристорів із застосуванням діодного плеча, ввімкненого паралельно колу випрямленого струму.

Цей метод керування полягає в тому, що подавання нерегульованих імпульсів керування з фазою 0 здійснюється одночасно в кожному

напівперіоді напруги не тільки на тиристори плечей, що беруть участь у створенні такої зони, а й плечей, які брали участь у роботі попередніх зон, крім першої. Це розбиває великий контур протікання струму комутації, утворений плечима VS1 та VS7 (рис. 2), на кілька малих. Діодне плече, ввімкнене паралельно колу випрямленого струму, призначено для розряду енергії, накопиченої в тягових двигунах і згладжувальних реакторах при зміні полярності напруги без віддавання її в зовнішню мережу. Воно також є засобом, що сприяє створенню нормальних потенційних умов на анодах тиристорів, необхідних для надійної роботи плечей випрямно-інверторного перетворювача електровоза в експлуатації за малих кутів  $\alpha_0$  (рис. 6).

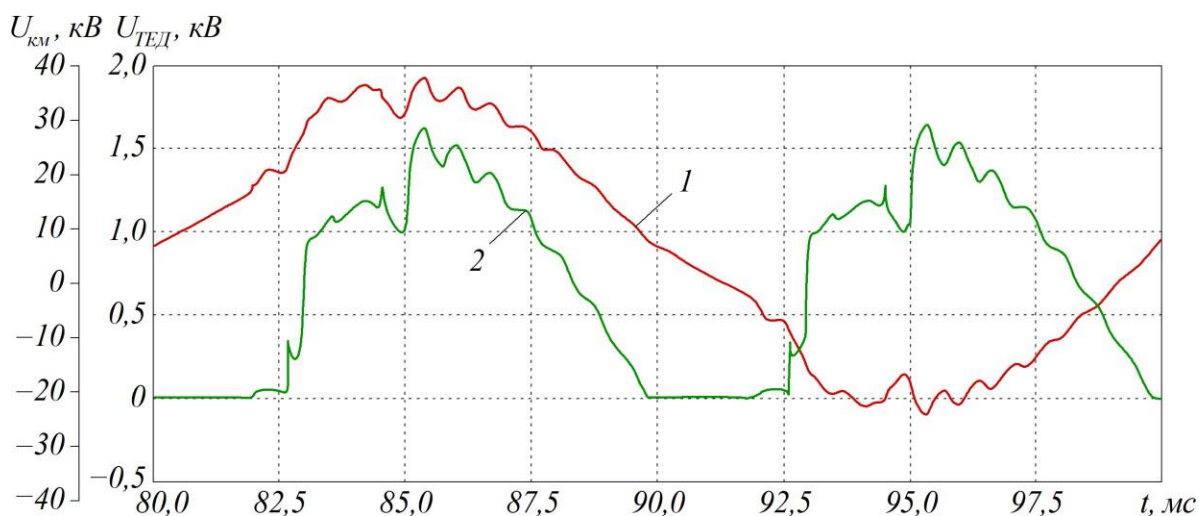


Рис. 6. Електромагнітні процеси напруги в контактній мережі (1) і випрямленої напруги тягового двигуна електровоза (2) за способу керування з ввімкненням розрядного діода

Як порівняння, на рис. 7 показано гармонічні склади напруги на струмоприймачі електровоза для запропонованого методу керування випрямно-інверторного перетворювача з 2 по 40 гармоніку.

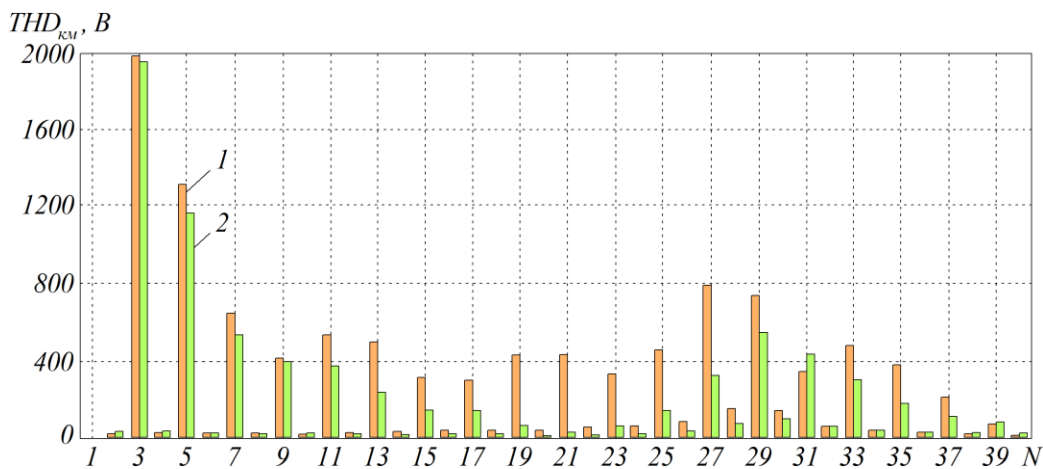


Рис. 7. Гармонічні складові напруги на струмоприймачі електровоза для методів керування випрямно-інверторного перетворювача з 2 по 40 гармоніку:

1 – почергова комутація; 2 – одночасна комутація з діодним плечем

З гістограми видно зниження амплітуд непарних гармонік у всьому діапазоні розглянутих частот, що визначено зниженням комутаційних і післякомутаційних коливань напруги. Особливо ефективним є зниження гармонік у діапазоні з 9 по 25.

Однак, використовуючи цей метод керування, завдання поліпшення якості напруги в контактній мережі вдалося вирішити тільки при протіканні основної комутації струму тиристорів плечей випрямно-інверторного перетворювача. За фазного регулювання на кожній зоні (додаткової комутації при керуванні імпульсами) вільні коливання залишилися без зміни і можуть в амплітуді досягати напруги мережі живлення, особливо за  $\alpha_p = 90^\circ$ . Через цей недолік постає завдання додаткового поліпшення форми кривої напруги контактної мережі при роботі електроозів із тиристорними перетворювачами за фазного регулювання напруги в усіх чотирьох зонах керування. На тягових електричних двигунах цього можна досягти за рахунок застосування різнофазного керування випрямно-інверторного перетворювача.

Спосіб різнофазного керування полягає в рознесенні в часі початку, а також закінчення комутації, що дає змогу зменшити стрибок змущеної напруги при вмиканні та вимиканні кожної групи перетворювачів і амплітуду вільних коливань напруги на струмоприймачі, що підвищує стійкість роботи апаратури керування електрооза і всіх систем залізничної автоматики і телемеханіки, зменшує завади в лініях зв'язку. Але на практиці спосіб різнофазного керування не отримав широкого застосування, оскільки різнофазності керування досягають постійним збільшенням кута відкриття тиристорів перетворювача  $\alpha_0$  і  $\alpha_p$  на  $89^\circ$ , а це у свою чергу значно позначається на зниженні зовнішніх характеристик перетворювача і зниженні коефіцієнта потужності електрооза від 0,84 до 0,817.

Потужність електрооза в годинному і тривалому режимі дещо нижча, ніж за типового способу керування, відбувається і деяке зниження швидкості електрооза. До того ж сталість зсуву кута на  $89^\circ$  не дає повного ефекту зниження високочастотних коливань напруги контактної мережі через зміни індуктивності та ємності тягової мережі, що може призводити до періодичного порушення працездатності електрооза. В ідеальному випадку величина затримки імпульсів має дорівнювати напівперіоду власних коливань напруги в тяговій мережі. Внаслідок відмінності параметрів тягової мережі та змінного віддалення електрооза від шин

тягових підстанцій частота вільних коливань напруги на струмоприймачі електрооза змінюється. У зв'язку з цим відбувається лише часткове гасіння вільних коливань напруги.

Отже, для найбільш ефективного зменшення спотворень у формі кривої напруги живлення бажано введення регульованої затримки саме на напівперіод вільного коливання з урахуванням змінних розподілених параметрів контактної мережі. У зв'язку з цим пропонується використовувати одночасну комутацію з шунтуванням кола випрямленого струму електрооза розрядним діодним плечем із розробленням адаптивної системи різнофазного керування за кутом; проводити затримку керування плечима перетворювача, що дорівнює напівперіоду власних коливань напруги тягової мережі. Це дасть змогу підвищити коефіцієнт потужності електрооза з 0,84 до 0,88.

Власні коливання напруги тягової мережі визначають через спектральний аналіз, який дає змогу охарактеризувати вимірюваний частотний склад сигналу. Перетворення Фур'є є математичною основою, що зв'язує тимчасовий сигнал із його поданням у частотній ділянці. Перетворення Фур'є безперервного в часі сигналу ідентифікують частоти і амплітуди тих комплексних синусоїд (експонент), на які розкладено деякі довільні коливання та що визначають за виразом

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot \exp(-j2\pi \cdot f \cdot t) dt \equiv F[x(t)]. \quad (1)$$

Спектральний аналіз напруги контактної мережі передбачено проводити з урахуванням контролерів DSP (digital signal processor), які забезпечують швидке перетворення Фур'є. Напряга контактної мережі через датчик напруги типу LV 100 надходить на вхід блока узгодження датчика напруги з DSP. Останній за заданим методом здійснює спектральний аналіз гармонічних коливань мережі живлення, виділяє гармоніку з найбільшою амплітудою і розраховує зміни кута запізнювання вмикання плечей випрямно-інверторного перетворювача імпульсами з фазою  $p$ . За сигналами блока керування випрямно-інверторного перетворювача відбувається чергування та розподілення імпульсів керування з перетворювачів і їхніх плечей.

Структурну схему реалізації різнофазного керування плечей випрямно-інверторного перетворювача наведено на рис. 8.

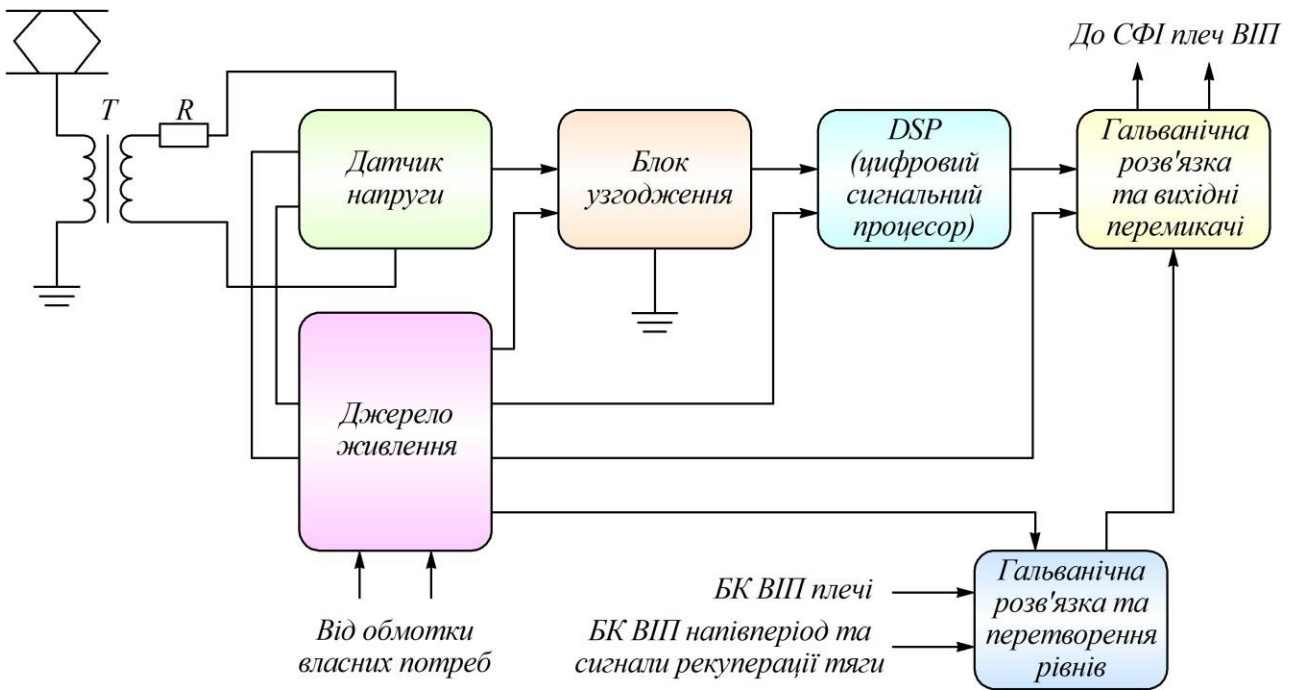


Рис. 8. Структурна схема реалізації різнофазного керування плечей випрямно-інверторного перетворювача

Запропонована адаптивна система різнофазного керування випрямно-інверторного перетворювача електровоза дасть змогу, незалежно від місця розташування електровоза на фідерній зоні (зміни параметрів контактної мережі), максимально виконувати функцію значного зниження гармонік, що відповідають частотам цих коливань, і знизити коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги, тобто електричної енергії в контактній

мережі. Для того щоб зовнішня характеристика випрямно-інверторного перетворювача в секціях електровоза була однаковою, запропоновано чергувати відхилення кута для кожної секції, що регулюється, у різні напівперіоди. Діаграми напруги на тягових електричних двигунах і в контактній мережі за запропонованих методів роботи випрямно-інверторного перетворювача наведено на рис. 9 і 10.

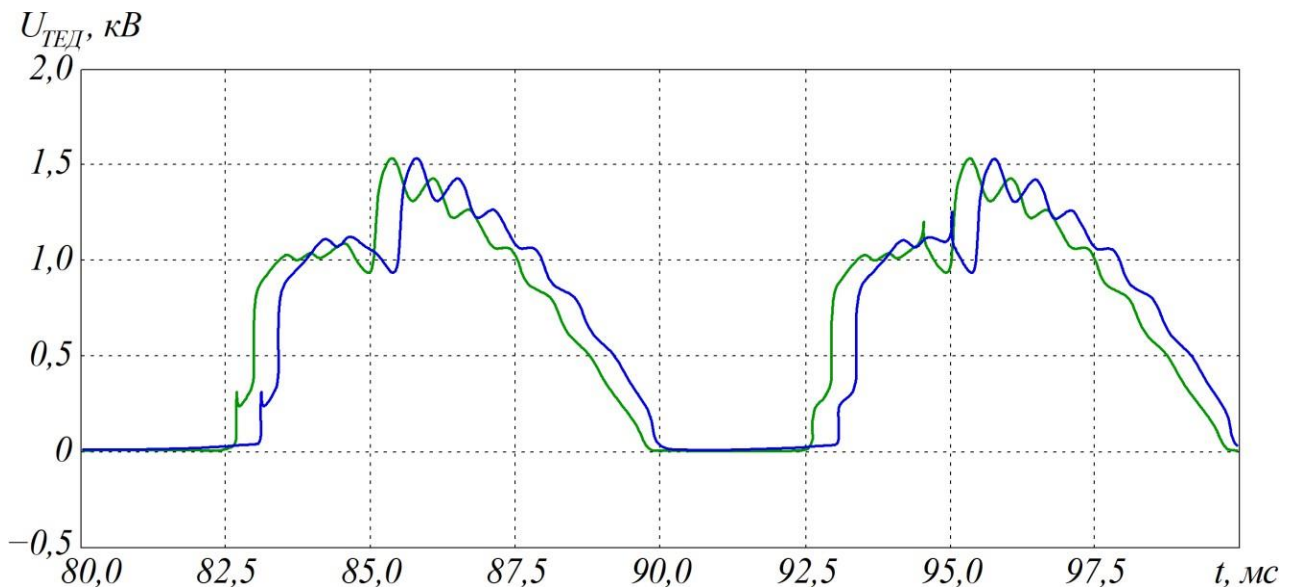


Рис. 9. Діаграма напруги на тягових електричних двигунах різних секцій за запропонованих методів роботи випрямно-інверторного перетворювача



Рис. 10. Діаграма напруги в контактній мережі за запропонованих методів роботи випрямно-інверторного перетворювача

За використанні цих методів керування можна очікувати значного зниження коливань і спотворень напруги в контактній мережі.

Для різних методів керування проведено розрахунок зовнішньої характеристики перетворювача.

1. Типовий метод регулювання напруги передбачає, що

$$U_{d0} = \frac{1}{\pi} \cdot \left( -U_{m4} \cdot \int_0^{\alpha_0} \sin \varphi \cdot d\varphi + U_{m3} \cdot \int_{\alpha_3+\gamma_1}^{\alpha_p+\gamma_p} \sin \varphi \cdot d\varphi + U_{m4} \cdot \int_{\alpha_p+\gamma_p}^{\pi} \sin \varphi \cdot d\varphi \right), \quad (2)$$

де  $U_{m3}$  і  $U_{m4}$  – амплітуда напруги, прикладеної з боку вторинної обмотки тягового трансформатора на 3 і 4 зонах регулювання;

$\alpha_0$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_p$  – значення нульового, затриманого та регульованого імпульсу керування;

$\gamma_1$ ,  $\gamma_p$  – тривалість комутації при подаванні затриманого та регульованого імпульсів.

У номінальному режимі існують втрати, виражені падінням напруги в силовому колі ( $\Delta U$ ), тому

$$U_{d\kappa} = U_{d0} - \Delta U = -\lambda \cdot \frac{2}{\pi} \cdot X_m \cdot I_{d\kappa} - (\xi \cdot R_m + R_d) \cdot I_{d\kappa} - \Delta U_{\xi}, \quad (3)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт, що враховує вплив пульсацій;

$\xi$  – відношення амплітудного значення напруги на вторинній обмотці тягового трансформатора до значення цієї напруги наступної зони;

$X_m$ ,  $R_m$  – індуктивний та активний опори трансформатора;

$\Delta U_{\xi}$  – падіння напруги в перетворювальній установці;

$R_d$  – активний опір обмоток двигуна.

2. Метод перетворювальної установки з різнофазним керуванням по секціях передбачає, що

$$U_{d0} = \frac{1}{\pi} \cdot \left( -U_{m4} \cdot \int_0^{\alpha_0+\alpha_{p\text{ФК}}} \sin \varphi \cdot d\varphi + U_{m3} \cdot \int_{\alpha_3+\alpha_{p\text{ФК}}+\gamma_p}^{\alpha_p+\alpha_{p\text{ФК}}+\gamma_p} \sin \varphi \cdot d\varphi + U_{m4} \cdot \int_{\alpha_p+\alpha_{p\text{ФК}}+\gamma_p}^{\pi} \sin \varphi \cdot d\varphi \right), \quad (4)$$

де  $\alpha_{0\text{РФК}}$ ,  $\alpha_{3\text{РФК}}$ ,  $\alpha_{p\text{РФК}}$  – кути зсуву для нульового, затриманого та регульованого імпульсів.

3. Метод перетворювальної установки з ввімкненням у коло випрямленого струму розрядного діода передбачає, що

$$U_{d0} = \frac{1}{\pi} \cdot \left( U_{m3} \cdot \int_{\gamma}^{\alpha_p+\gamma_p} \sin \varphi \cdot d\varphi + U_{m4} \cdot \int_{\alpha_p+\gamma_p}^{\pi} \sin \varphi \cdot d\varphi \right), \quad (5)$$

де  $\gamma$  – кут, що характеризує зсув подавання вимикального імпульсу.

4. Метод із різнофазним керуванням по секціях, а також з ввімкненням у коло випрямленого струму розрядного діода передбачає, що

$$U_{d0} = \frac{1}{\pi} \cdot \left( U_{m3} \cdot \int_{\gamma}^{\alpha_p+\alpha_{p\text{ФК}}+\gamma_p} \sin \varphi \cdot d\varphi + U_{m4} \cdot \int_{\alpha_p+\alpha_{p\text{ФК}}+\gamma_p}^{\pi} \sin \varphi \cdot d\varphi \right), \quad (6)$$

Напругу в номінальному режимі для трьох останніх методів розраховують аналогічно, як для першого методу за виразом (3). На рис. 11 наведено порівняльну зовнішню характеристику перетворювача для типового і трьох запропонованих методів керування.



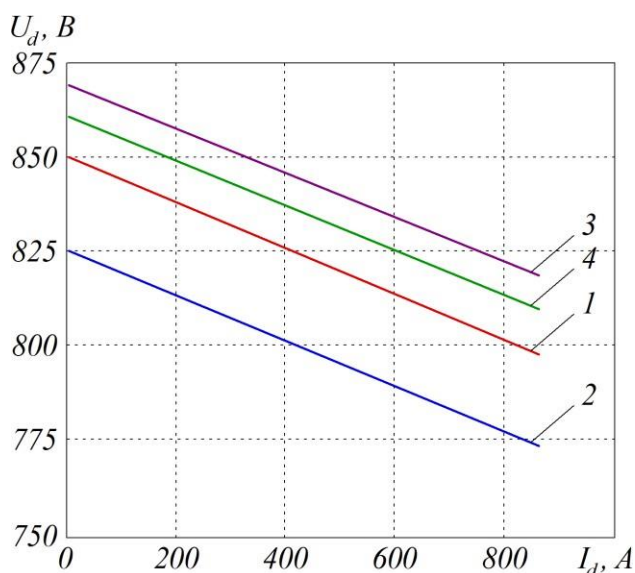


Рис. 11. Порівняльна зовнішня характеристика перетворювача за різних режимів керування випрямно-інверторного перетворювача електровоза:

1 – типовий метод роботи 1; 2 – запропонований метод 2;

3 – запропонований метод 3; 4 – запропонований метод 4

За роботи електровоза запропонований метод 2 керування є найбільш прийнятним, оскільки в цьому випадку, незважаючи на зниження зовнішньої характеристики, значно покращені умови роботи електровоза за якістю напруги в контактній мережі, його електронного обладнання та електроустаткування, іншого обладнання, що знаходиться в безпосередній близькості до рейкової колії.

Отже, використання запропонованих методів керування разом із адаптивною системою дасть змогу значно поліпшити характеристики напруги в контактній мережі і, як наслідок, знизити негативний вплив на роботу електровоза. Підвищення якості електроенергії дасть змогу продовжити термін служби ізоляції електричних машин та апаратів, надійність роботи пристроїв сигналізації, централізації і блокування, автоматичної локомотивної сигналізації, систем керування перетворювачами електровоза, релейного захисту, автоматики, телемеханіки, зв'язку та обчислювальної техніки.

#### Висновки і рекомендації щодо подальшого використання

На підставі проведених досліджень можна

зробити такі висновки:

– визначено, що спотворення синусоїдальної форми напруги в контактній мережі негативно впливає як на експлуатаційні характеристики електровозів, так і систему тягового електропостачання, що відповідно знижує їхній експлуатаційний ресурс;

– відповідно до штатного режиму роботи системи керування на сучасних електровозах змінного струму комутація у всіх випрямних інверторних перетворювачах відбувається одночасно, у результаті чого в інтервалах комутації відбуваються провали, що спотворюють форму кривої напруги і призводять до виникнення вищих гармонічних складових;

– подано адаптивну систему різнофазного керування випрямно-інверторного перетворювача електровоза, що дає змогу, незалежно від місця розташування на фідерній зоні, максимально виконувати функцію значного зниження гармонік, що відповідають частотам цих коливань, і знизити коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги, тобто електричної енергії в контактній мережі. Для того щоб зовнішня характеристика випрямно-інверторного перетворювача в секціях електровоза була однаковою, запропоновано чергувати відхилення кута для кожної регульованої секції в різні напівперіоди;

– запропонований метод перетворювальної установки з різнофазним керуванням по секціях є найбільш прийнятним, оскільки дає змогу зменшити стрибок змущеної напруги при вмиканні та вимиканні кожної групи перетворювачів та амплітуду вільних коливань напруги на струмоприймачі, що підвищує стійкість роботи апаратури керування електровоза, а також усіх систем залізничної автоматики і телемеханіки, зменшує завади в лініях зв'язку.

#### Список використаних джерел

1. Efanov D. V., Khoroshev V. V. Improving the monitoring systems algorithmic support for railway automation equipment's based on dynamic questionnaires. *2020 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*. 2020. P. 1–10. DOI: 10.1109/EWDTS50664.2020.9224693.
2. Su S. J., Seung Kwon B. Reliability enhancement scheme for wireless backhaul in high speed train. *2020 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*. 2020. P. 894–897. DOI: 10.1109/ICTC49870.2020.9289523.
3. Serdiuk T., Ansari H. T., Rodica B. Electromagnetic influence of AC traction network on the railway communication lines. *2022 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity (EMCSI)*.

2022. P. 326–329. DOI: 10.1109/EMCSI39492.2022.9889435.
4. Nicolae P.-M., Nicolae I.-D., Nuca I., Nicolae M.-S. Determination of electromagnetic noise from a power supply substation of railway traction systems. *2022 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity (EMCSI)*. 2022. P. 619–624. DOI: 10.1109/EMCSI39492.2022.9889567.
  5. Wang D., Wu F., Yang B., Wang K., Li H., Wei H. Development of environmentally friendly and efficient new energy rail locomotives for industrial and mining enterprises. *2022 IEEE 6th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*. 2022. P. 2402–2408. DOI: 10.1109/EI256261.2022.10117300.
  6. Sarma U., Ganguly S., Adda R. Design and control of multi-input single-output DC/DC boost converter for the application of PEM fuel cell-battery-hybrid energy system in locomotives. *2022 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*. 2022. P. 1–5. DOI: 10.1109/PESGM48719.2022.9917089.
  7. Crotti G., D’Avanzo G., Landi C., Letizia P. S., Luiso M. Evaluation of voltage transformers’ accuracy in harmonic and interharmonic measurement. *IEEE Open Journal of Instrumentation and Measurement*. 2022. Vol. 1. P. 1–10. DOI: 10.1109/OJIM.2022.3198473.
  8. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я. *Тези доповідей XIX Міжнародної науково-практичної конференції, ч. I (01–03 червня 2011 р., Харків) / за ред. Л. Л. Товажнянського*. Харків: НТУ «ХП», 2011. 280 с.
  9. Kobenkins G., Marinbahs M., Bizans A., Rilevs N., Sliskis O. Determination of the level of vibroactivity of the traction motor-gear units. *2023 18th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA)*. 2023. P. 1–4. DOI: 10.1109/ELMA58392.2023.10202391.
  10. Hu H., Liu Y., Li Y., He Z., Gao S., Xiaojuan Z., Tao H. Traction power systems for electrified railways: evolution, state of the art, and future trends. *Railway Engineering Science*. 2023. Vol. 32. P. 1–19. DOI: 10.1007/s40534-023-00320-6.
  11. Zhang J., Liu J., Yang J., Zhao N., Wang Y., Zheng T. A modified DC power electronic transformer based on series connection of full-bridge converters. *IEEE Trans. Power Electron.* 2019. Vol. 34, No. 3. P. 2119–2133.
  12. Purgat P., Bandyopadhyay S., Qin Z., Bauer P. Power flow decoupling controller for triple active bridge based on fourier decomposition of transformer currents. *2020 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*. 2020. P. 1201–1208. DOI: 10.1109/APEC39645.2020.9124006.
  13. Soyed A., Kadri A., Hassnaoui O., Bacha F. Voltage oriented control of indirect matrix converter applied to wind energy conversion system using PMSM generator. *2020 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*. 2020. P. 790–795. DOI: 10.1109/CoDIT49905.2020.9263781.
  14. Rajendran G., Vaithilingam C., Misron N., Naidu K., Ahmed M. Voltage oriented controller based vienna rectifier for electric vehicle charging stations. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 50798–50809. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3068653.
  15. Jamil Asghar M. S. Discontinuous phase controlled (DPC) converters for charging of batteries of electrical vehicles. *2020 IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*. 2020. P. 665–670. DOI: 10.1109/GUCON48875.2020.9231082.
  16. Jamil Asghar M. S. Digital control of thyristor switched reactors using discontinuous phase controlled switching. *2020 IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*. 2020. P. 394–398. DOI: 10.1109/GUCON48875.2020.9231064.
  17. Graber G., Calderaro V., Galdi V., Ippolito L., Massa G. Impact assessment of energy storage systems supporting DC railways on AC power grids. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 10783–10798. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3145239.
  18. Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A. Conceptual model of a micronetwork with distributed energy resources. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2023. Вип. 66. С. 16–20. DOI: 10.15407/publishing2023.66.016.
  19. Chen H., Huang Y., Hu H., Wang J., Wang W. Analysis of the influence of voltage harmonics on the maximum load capacity of the power supply transformer for the LHCD system. *2023 IEEE 6th International Electrical and Energy Conference (CIEEC)*. 2023. P. 2070–2075. DOI: 10.1109/CIEEC58067.2023.10166533.
  20. Дослідження точності моделювання втрат потужності в силових діодах і транзисторах / В. П. Нерубацький, О. А. Плахтій, Д. А. Гордієнко та ін. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Харків: УкрДУЗТ, 2023. Вип. 203. С. 73–87. DOI: 10.18664/1994-7852.203.2023.277905.



21. Fan R., Zhang M., Wang J., Chang X., Gao L., Song J., Zhang S., Xu Y. Overview of power factor calculation method for nonsinusoidal and unbalanced systems. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*. 2023. Vol. 18. P. 1763–1771. DOI: 10.1002/tee.23909.
22. Khomenko I. V., Nerubatskyi V. P., Plakhtii O. A., Hordiienko D. A., Shelest D. A. Research and calculation of the levels of higher harmonics of rotary electric machines in active-adaptive networks. *4th International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF-2023)*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1254. 012040. P. 1–15. DOI: 10.1088/1755-1315/1254/1/012040.
23. Salles R. S., Ronnberg S. K. Review of waveform distortion interactions assessment in railway power systems. *Energies*. 2023. Vol. 16. P. 5411. DOI: 10.3390/en16145411.
24. Nerubatskyi V., Hordiienko D. Analysis of the control system of a wind plant connected to the AC network. *Power engineering: economics, technique, ecology*. 2023. No. 1. P. 87–91. DOI: 10.20535/1813-5420.1.2023.276028.
25. Chakraborty S., Maiti S. Control of a waveshaper-MMC with thyristor-based front-end converter for open-end winding variable speed medium-voltage induction motor drive. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2022. Vol. 58, No. 5. P. 6203–6216. DOI: 10.1109/TIA.2022.3180041.
26. Nerubatskyi V., Hordiienko D. Study of the influence of sliding mode regulator on spectrum higher harmonics of the SEPIC converter. *2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*. 2023. P. 1–4. DOI: 10.1109/MEES61502.2023.10402454.
27. Xiu F., Liu S., Xu S. Design of control system of three-level T-type bidirectional converter. *2022 2nd International Conference on Electrical Engineering and Mechatronics Technology (ICEEMT)*. 2022. P. 185–192. DOI: 10.1109/ICEEMT56362.2022.9862767.
28. Zhu K., Deng F., Chen S., Hou J., Abulanwar S., Ufa R. An AC-side start-up scheme for thyristor-based modular multilevel converters. *2022 IEEE International Power Electronics and Application Conference and Exposition (PEAC)*. 2022. P. 1426–1431. DOI: 10.1109/PEAC56338.2022.9959105.
29. Nnoli K. P., Delic F., Kettemann S. Transient dynamics and propagation of voltage and frequency fluctuations in transmission grids. *IEEE Access*. 2023. Vol. 11. P. 11307–11328. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3241014.
30. Nerubatskyi V. P., Plakhtii O. A., Hordiienko D. A., Khoruzhevskyi H. A. Study of the energy parameters of the system «solar panels – solar inverter – electric network». *4th International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF-2023)*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1254. 012092. P. 1–12. DOI: 10.1088/1755-1315/1254/1/012092.
- Nerubatskyi V., Plakhtii O., Ivakhno V., Hordiienko D., Shelest D. Analysis of control methods of the rectifier-inverter converter of an electric locomotive. The article presents a study of the characteristics of electromagnetic compatibility in the «electric locomotive – contact network» system. An analysis of the influence of the quality of electrical energy on the reliability and service life of railway devices and other objects was carried out. It was determined that the distortion of the sinusoidal form of voltage in the contact network negatively affects both the operational characteristics of electric locomotives and the traction power supply system, which, accordingly, reduces their operational resource. The shortcomings of the operation mode of thyristor rectifiers in static converters of single-phase alternating current electric locomotives have been determined. According to the standard mode of operation of the control system on modern alternating current electric locomotives, commutation in all rectifying inverter converters occurs simultaneously, as a result of which dips occur in the commutation intervals, which distort the shape of the voltage curve and lead to the appearance of higher harmonic components. An adaptive multi-phase control system of the rectifier-inverter converter using a diode arm connected in parallel to the rectified current circuit is presented, which allows, regardless of the location on the feeder zone, to maximally perform the function of significantly reducing the harmonics corresponding to the frequencies of these oscillations and to reduce the distortion factor of the sinusoidality of the voltage curve, i.e. electrical energy in the catenary network. Simulation of different control modes of the rectifier-inverter converter of the electric locomotive was carried out. The proposed algorithm of the converter installation with multi-phase control by sections is the most acceptable, as it allows to reduce the forced voltage jump when turning on and off each group of converters and the amplitude of free fluctuations of the voltage on the pantograph, which increases the stability of the operation of the electric locomotive control equipment, as well as all systems of railway automation and telemechanics, reduces interference in communication lines.**
- Key words:** rectifier-inverter converter, electric rolling stock, electromagnetic compatibility, power factor, control system, traction electric motor.
- Нерубацький Володимир Павлович, кандидат*

технічних наук, доцент, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна.

E-mail: [NVP9@i.ua](mailto:NVP9@i.ua).

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4309-601X>.

**Плахтій Олександр Андрійович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна.

E-mail: [a.plakhtiy1989@gmail.com](mailto:a.plakhtiy1989@gmail.com).

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1535-8991>.

**Івахно Володимир Вікторович**, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри промислової і біомедичної електроніки, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна.

E-mail: [v-ivakhno@ukr.net](mailto:v-ivakhno@ukr.net).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2122-6151>.

**Гордієнко Денис Анатолійович**, аспірант кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна. E-mail: [D.Hordiienko@i.ua](mailto:D.Hordiienko@i.ua).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0347-5656>.

**Шелест Дмитро Андрійович**, аспірант кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна. E-mail: [shelllogist@gmail.com](mailto:shelllogist@gmail.com).

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6095-658X>.

**Nerubatskyi Volodymyr**, PhD, Associate Professor, Associate Professor of Department of Electrical Energetics, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: [NVP9@i.ua](mailto:NVP9@i.ua).

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4309-601X>.

**Plakhtii Olexandr**, PhD, Associate Professor of Department of Electrical Energetics, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [a.plakhtiy1989@gmail.com](mailto:a.plakhtiy1989@gmail.com).

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1535-8991>.

**Ivakhno Volodymyr**, Doctor of Science, Associate Professor, Professor of Department of Industrial and Biomedical Electronics, National Technical University

«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine. E-mail: [v-ivakhno@ukr.net](mailto:v-ivakhno@ukr.net).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2122-6151>.

**Hordiienko Denys**, postgraduate of Department of Electrical Energetics, Electrical Engineering and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [D.Hordiienko@i.ua](mailto:D.Hordiienko@i.ua).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0347-5656>.

**Shelest Dmytro**, postgraduate of Department of Electricity Transmission, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine. E-mail: [shelllogist@gmail.com](mailto:shelllogist@gmail.com).

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6095-658X>.

БЕРЕСТОВ І. В., к.т.н., доцент,  
ПЕСТРЕМЕНКО-СКРИПКА О. С., к.т.н., доцент  
(Український державний університет залізничного транспорту)

## Удосконалення процедур митного контролю та оформлення міжнародних вантажів при перевезенні залізничним транспортом в умовах цифровізації

*Міжнародні вантажні перевезення є невід'ємною складовою сучасної глобальної економіки, і залізничний транспорт відіграє важливу роль у забезпеченні ефективного та надійного перевезення вантажів між країнами. Одним із ключових аспектів, що впливає на швидкість і безпеку таких перевезень, є митний контроль і оформлення вантажів. У зв'язку з розвитком цифрових технологій виникає необхідність удосконалення цих процесів шляхом інтеграції цифрових рішень. У статті проаналізовано сучасні методи і технології, такі як електронне декларування, автоматизовані системи аналізу даних та інтегровані інформаційні платформи, що дають змогу підвищити ефективність митного контролю.*

**Ключові слова:** міжнародні вантажні перевезення, митний контроль, цифровізація, декларації, штучний інтелект.

### Вступ

У наш час на мережі залізниць України створено цілий ряд інформаційних, інформаційно-керуючих, автоматизованих і автоматичних систем, які стали невід'ємною складовою технології перевізного процесу та системи керування залізничним транспортом у цілому. Ефективність експлуатації цих систем істотно знижується через відсутність або недостатність розвитку на їхній базі інформаційно-аналітичних надбудов, що вирішують завдання підтримки прийняття рішень із використанням математичних методів аналізу та обробки інформації.

В Україні діють загальні мережеві інформаційно-керуючі автоматизовані системи управління перевезеннями, оновлювані за рахунок впровадження перспективних інформаційних технологій; працює система НАСК УЗ – національна автоматизована система керування Укрзалізниця [1].

Єдина інформаційно-керуюча система прикордонних передавальних станцій транспортної системи залізниць України має з часом призвести до створення злагодженої системи обміну інформаційними даними між вантажовідправниками, вантажоодержувачами, станціями, прикордонними, митними та іншими органами державного контролю, власниками вантажів, рухомого складу тощо [2].

Виходячи з цього виникає потреба в проведенні комплексного дослідження і вирішенні завдання удосконалення інформаційно-керуючих систем прикордонних передавальних станцій за рахунок цифровізації митних процедур, а саме використання штучного інтелекту при перевірці вантажних митних декларацій в електронному вигляді.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Багато науковців із транспортної науки досліджували такі проблеми з удосконалення:

- взаємодії процесів перевезення широкою і західноєвропейською коліями;
- інформаційного забезпечення для формування вагонопотоків на прикордонній станції;
- технічного оснащення прикордонних станцій;
- методів нормування часу знаходження вагонів на прикордонній станції та ін.

Деякі вчені, такі як Савенко А. С., Шевченко А. І., Андрущенко В. О., Альошинський Є. С., Скалзуб В. В. [3-7] приділяли увагу ефективності використання контейнерних міжнародних поїздів, ефективного розвитку інтермодальних перевезень, удосконаленню роботи пунктів переходів за відсутності попередньої інформації для формування міжнародних вагонопотоків. Згодом вирішували завдання скорочення тривалості знаходження вагонів на перевантажувальних станціях.

Проблеми інформатизації, автоматизації та цифровізації митної системи України є предметом дослідження багатьох науковців, практиків і спеціалістів, таких як Копняк К., Покин'єчерда В. [8] та ін. Слід зазначити, що вчені все більше цікавляться проблемами автоматизації та цифровізації митних процедур, інноваційним розвитком митної політики на основі підвищення рівня інформатизації відповідно до сучасних прагнень розвинених країн, але мало уваги приділяють саме міжнародним вантажним перевезенням на залізничному транспорті. Тому питання удосконалення процедур митного контролю та оформлення при перевезенні міжнародних вантажів залізничним транспортом в умовах цифрової трансформації є актуальним.

**Визначення мети та завдання дослідження**

У світі спостерігають постійне зростання обсягів міжнародної торгівлі та туризму, що призводить до збільшення кількості декларацій, які необхідно обробляти на прикордонних передавальних станціях. Використання штучного інтелекту може значно полегшити і прискорити процес обробки декларацій.

Метою статті є розроблення інноваційних підходів щодо удосконалення процедур митного контролю та оформлення міжнародних вантажів при перевезенні залізничним транспортом, зокрема шляхом інтеграції технологій штучного інтелекту для підвищення ефективності, точності та швидкості цих процесів.

Отже, постає ряд завдань, спрямованих на покращення ефективності та автоматизації робочих процесів:

1. Автоматизація митного контролю: розроблення та впровадження систем електронного митного контролю для автоматизації процесів перевірки документів і вантажів.
2. Електронна обробка декларацій: створення системи для електронної обробки митних декларацій і забезпечення їхньої відповідності митним вимогам.
3. Інтеграція з іншими ІТ-системами: забезпечення сумісності та інтеграції інформаційних систем із системами інших логістичних і транспортних служб.
4. Безпека та кіберзахист: розроблення та впровадження заходів із кіберзахисту для забезпечення надійності та захищеності інформаційних систем від несанкціонованого доступу.
5. Ефективне використання даних: створення систем для аналізу та використання даних для прийняття стратегічних рішень у сфері логістики і транспорту.

У рамках ідеї використано штучний інтелект, такий як машинне навчання та обробка природної мови для аналізу та перевірки електронних декларацій.

Його також можна використовувати для арифметичних обчислень, логічних зв'язків і перевірки відповідності законодавчим нормам. Після аналізу декларацій система може генерувати звіти і рекомендації для користувачів, щоб вони могли виправити помилки або надати додаткові пояснення. Використання штучного інтелекту дає змогу проводити перевірку декларацій швидко і точно, зменшуючи можливість людських помилок.

Це спрощує та прискорює робочі процеси організацій, що потребують обробки великого обсягу декларацій. Цей підхід може допомогти підприємствам і організаціям забезпечити дотримання законодавчих вимог державної митної політики та уникнути штрафів чи інших санкцій. Систему можна адаптувати для різних видів декларацій і вимог, а

також інших сфер, де потрібна перевірка та контроль. Ця ідея передбачає використання сучасних технологій для покращення процесу перевірки документів і відомостей за здійснення міжнародних залізничних перевезень.

Використання штучного інтелекту дає змогу ефективно розподіляти людські ресурси та пристрої для обробки митних декларацій. Це зменшує витрати і покращує продуктивність.

Людські помилки при обробці митних документів і відсутність уваги до деталей можуть призвести до серйозних наслідків. Штучний інтелект працює без втоми і з високою точністю, зменшуючи ризик помилок; він може прискорити обробку митних декларацій, даючи змогу вантажам і пасажиром швидше перетинати кордон залізничним транспортом; зменшити затори і простої вантажів на прикордонних передавальних станціях.

Враховуючи ці обставини, розроблення варіантів удосконалення технології обробки митних декларацій за міжнародного залізничного сполучення на прикордонних передавальних станціях із використанням штучного інтелекту є нагальною потребою, вирішення якої сприятиме покращенню ефективності роботи, безпеки та контролю на залізничних прикордонних передавальних станціях, а також зростанню ефективності та зменшенню ризиків у залізничному міжнародному русі товарів та осіб.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

У сучасному світі штучний інтелект вже широко використовують у залізничній галузі в різних країнах світу. Програми та системи штучного інтелекту допомагають покращити різні аспекти залізничних перевезень, включаючи оптимізацію розкладів, моніторинг безпеки, підвищення ефективності руху поїздів, прогнозування попиту і багато інших завдань.

Деякі з найбільш відомих ініціатив і програм із використанням штучного інтелекту в залізничній галузі у світі:

1. Програма ETCS (англ. European Train Control System) – Європейська система керування поїздами [9]. Система має основні рівні керування, які передбачають постійний контроль за рухом поїзда, тобто бортовий комп'ютер постійно контролює максимально дозволена швидкість і розраховує криву гальмівного шляху до місця, куди поїзду дозволено прямувати. Також ця система дає додаткову інформацію про виявлення поїзда та його цілісність за допомогою додаткових систем колійного оснащення безперервного зв'язку.

2. Система ERTMS (англ. European Rail Traffic Management System) [10] – це європейська система керування рухом поїздів, розроблювана для стандартизації та уніфікації систем сигналізації та керування рухом поїздів у Європі. Вона призначена для заміни різних систем, які існують у країнах Європи, забезпечуючи єдиний стандарт для всіх членів Європейського Союзу.

3. Система PTC (англ. Positive Train Control) [11] – запроваджена у США та інших країнах з використанням штучного інтелекту для моніторингу руху поїздів, попередження можливих аварій, зупинку

руху поїзда в разі його порушення. Більша частина пробігу національної залізничної мережі США має форму РТС. До 2020 року систему РТС було введено в експлуатацію на 100 %.

Процес автоматизації обробки митних декларацій на прикордонних передавальних станціях за допомогою штучного інтелекту передбачає використання різних технологій та інструментів:

- обробка природної мови (NLP): технології NLP допомагають в автоматичному аналізі та обробці текстової інформації, яка міститься в митних деклараціях. Це дає змогу системі розуміти і класифікувати інформацію з документів, таких як код товару, кількість товарів, їхня вартість тощо;

- машинне навчання (ML): алгоритми машинного навчання можна використовувати для прогнозування ризиків, виявлення шахрайства та помилок у митних деклараціях. Наприклад, система може виявляти нетипові шаблони в наданих відомостях, які можуть свідчити про потенційні порушення;

- роботизація процесів (RPA): роботизована автоматизація процесів дає змогу автоматизувати рутинні завдання, такі як введення даних, перевірка документів, заповнення форм і т. д. RPA може взаємодіяти з різними інформаційними системами для виконання цих завдань без втручання людини;

- інтеграційні платформи: забезпечують з'єднання між різними системами та базами даних, використовуваних у митних операціях. Це дає змогу обмінюватися інформацією в режимі реального часу та забезпечувати узгодженість даних.

Ці технології та інструменти допомагають зменшити час обробки митних декларацій, підвищити

точність і ефективність митних операцій, а також знизити ризики шахрайства та інших порушень митних правил при здійсненні зовнішньоекономічних операцій.

Авторами статті вперше розроблено систему, що, на відміну від раніше відомих, являє собою платформу, яка дає змогу забезпечити подання декларації в електронній формі через вебінтерфейс або мобільний додаток, що дає змогу учасникам зручно вносити інформацію, використовуючи також криптографічні методи для забезпечення передавання даних під час електронного подання (рис. 1, 2). Також ця система має підключення до зовнішніх джерел даних, таких як транспортні компанії, митні служби, виробники, для автоматичного отримання необхідної інформації не тільки для транспортних компаній, а й мандрівників і волонтерів, що перетинають митний кордон залізничним транспортом.

Процес створення та подання митної декларації через вебінтерфейс складається з кількох основних елементів:

1. Авторизація та автентифікація: авторизація – дозвіл на доступ до системи на основі прав користувача; автентифікація – підтвердження особи користувача за допомогою логіна, пароля або цифрового підпису.

2. Введення даних: форми для заповнення інформації – форми для введення даних про товар, відправника, одержувача, вартість товару, код товару (за Українським класифікатором товарів зовнішньоекономічної діяльності), країну походження товару та ін.; автозаповнення – полегшення введення даних через автозаповнення на основі попередніх декларацій або шаблонів.



## Заповніть форму

1 Перший етап

2 Другий етап

### Відправник/Експортер

Прізвище

Ім'я

По батькові

Впишіть прізвище

Впишіть ім'я

Впишіть по батькові

### Одержувач

Прізвище

Ім'я

По батькові

Впишіть прізвище

Впишіть ім'я

Впишіть по батькові

### Декларація

Номер

Всього т-ів

Всього місць

Довідковий номер

Введіть номер

Введіть кількість

Введіть кількість

Введіть номер

### Особа, відповідальна за фінансове врегулювання

Прізвище

Ім'я

По батькові

Впишіть прізвище

Впишіть ім'я

Впишіть по батькові

### Декларант/Представник

Прізвище

Ім'я

По батькові

Впишіть прізвище

Впишіть ім'я

Впишіть по батькові

Код країни відпр/експ

Країна походження

Країна призначення

Введіть код

Введіть код

Введіть код

Ідентифікація, країна  
реєстрації трансп засобу...

Введіть ...

Введіть...

Умови поставки

номер

країна

номер

Ідентифікація країна  
реєстрації активного  
транспортного засібу на  
кордоні

Введіть ...

Введіть...

Валюта та загальна сума за  
рахунком

номер

країна

номер

Ukrainian Trans Connect

Наша головна ідея табору - будь-яка дитина  
талановита, майстер своєї справи, у душі

Напрямки

- Оплата
- Доставка
- Калькулятор
- Ресурси

Контакти

- +38 012 345 67 89
- +38 060 345 67 89
- ukrainian\_trans\_connect@ukr.net

Соціальні мережі



Рис. 1. Вебінтерфейс процесу автоматизації обробки декларацій за допомогою штучного інтелекту (перший етап)





## Заповніть форму

The screenshot shows a web form titled 'Заповніть форму' (Fill out the form) with two steps. Step 1 is 'Перший етап' (First step) and Step 2 is 'Другий етап' (Second step). The form contains several input fields:

- Step 1:**
  - Номер, марка авто та опис (Car number, brand and description) - Впишіть прізвище (Enter surname)
  - Код товару (Goods code) - Впишіть (Enter)
  - Код країни (Country code) - Впишіть (Enter)
  - Вага бруutto кг (Gross weight in kg) - Впишіть вагу (Enter weight)
  - Преференція (Preference) - Впишіть (Enter)
  - Вага нетто кг (Net weight in kg) - Впишіть вагу (Enter weight)
  - Ціна товару (Goods price) - Впишіть (Enter)
  - Сертифікат (Certificate) - Впишіть (Enter)
  - Митна вартість (Duty value) - Впишіть (Enter)
- Step 2:**
  - Нарахування платежів (Payment calculation) - Впишіть (Enter)
  - Вид (Type) - Номер (Number)
  - Основа (Basis) - Номер (Number)
  - Ставка (Rate) - Номер (Number)
  - Сумма (Sum) - Номер (Number)

At the bottom of the form, there are three buttons: 'Додати фото' (Add photo), 'Завершити' (Finish), and 'Завантажити' (Download).

Рис. 2. Вебінтерфейс процесу автоматизації обробки декларацій за допомогою штучного інтелекту (другий етап)

3. Валідація даних: перевірка даних у реальному часі – виявлення помилок або невідповідностей у введених даних, таких як неправильний код товару, неправильно зазначена митна вартість або відсутність обов’язкової інформації про товар.

4. Розрахунок митних платежів – обчислення митних зборів, ПДВ та інших податків на основі введених даних і тарифів.

5. Подання декларації: електронне підписання – підписання декларації цифровим підписом для підтвердження її автентичності; подання декларації – надсилання декларації до митного органу через вебінтерфейс.

6. Взаємодія з митними органами: отримання статусу декларації – інформація про поточний статус декларації (наприклад обробляється, затверджена, відхилена).

7. Архівування та звітність: генерація звітів – формування звітів про подані декларації, сплачені митні платежі та інші важливі показники.

8. Безпека даних: контроль доступу – встановлення рівнів доступу до різних частин системи для запобігання несанкціонованому доступу.

9. Підтримка користувачів: інформаційна підтримка – надання користувачам довідкової інформації та інструкцій із використання вебінтерфейсу; технічна підтримка – можливість отримання допомоги від технічної підтримки за виникнення проблем.

Ці елементи забезпечують ефективний, безпечний і зручний процес подання митної декларації через вебінтерфейс, спрощуючи роботу як для імпортерів та експортерів, так і митних органів.

За умови інтеграції системи до вже наявних систем в Україні, таких як АСК ВП УЗ-С, і наявності алгоритмів штучного інтелекту ця система зможе самонавчатися і вдосконалюватися.

Перевагою такої системи передавання інформації є мобільність, завдяки чому користувачі можуть заповнювати декларації та документи завчасно, у дорозі, удома, у будь-який зручний час.

### Висновки

Основними перевагами електронного подання митних декларацій через вебінтерфейс або мобільний додаток є:

1. Підвищення ефективності процесів: використання вебінтерфейсу та мобільного додатка значно скорочує час на подання та обробку декларацій. Це забезпечує більш швидке і ефективне проходження митного контролю, знижуючи затримки на митниці.

2. Зниження витрат: електронне подання декларацій скорочує витрати на паперову документацію та ручну обробку даних.

3. Покращення точності даних: автоматизація процесу подання декларацій мінімізує ризик людських помилок, що часто трапляються при заповненні паперових форм. Це знижує кількість відмов через некоректно заповнені декларації.

4. Підвищення прозорості: електронні системи дають змогу відстежувати статус декларації в режимі реального часу. Це забезпечує більшу прозорість і можливість оперативно реагувати на будь-які затримки.

5. Інтеграція з іншими системами: вебінтерфейс і мобільний додаток можуть бути

інтегровані з іншими інформаційними системами залізничного транспорту, такими як АСК ВП УЗ-Є.

6. Покращення взаємодії з клієнтами: зручний інтерфейс для подання декларацій спрощує взаємодію клієнтів із митними органами та перевізниками, що підвищує загальний рівень задоволеності клієнтів.

7. Безпека та конфіденційність: використання сучасних технологій захисту даних забезпечує високий рівень безпеки та конфіденційності інформації, подаваної через електронні системи.

8. Гнучкість і доступність: мобільний додаток дає змогу здійснювати подання декларацій із будь-якого місця та в будь-який час.

9. Аналітика та звітність: електронні системи дають змогу легко збирати і аналізувати дані про перевезення та митні процедури, що сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень.

Отже, автоматизовані системи електронного декларування допомагають забезпечити ефективний, точний і прозорий процес митного контролю за міжнародних перевезень і сприяють взаємодії між усіма учасниками митного процесу.

#### Список використаних джерел

1. Пестременко-Скрипка О. С., Ложечка О., Коваленко О. Перспективні напрямки удосконалення технології роботи на прикордонних передавальних станціях при застосуванні засобів інформатизації. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем : матеріали тез V Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції*. Рівне : НУВГП, 2023. С. 97-98. URL: [https://ep3.nuwm.edu.ua/28415/1/Tezu\\_V\\_VNTI\\_Rivne\\_2023\\_%D0%B2%D0%B8%D0%BF%D1%80.pdf](https://ep3.nuwm.edu.ua/28415/1/Tezu_V_VNTI_Rivne_2023_%D0%B2%D0%B8%D0%BF%D1%80.pdf).
2. Пестременко-Скрипка О. С., Берестова Т. Т. Удосконалення системи передачі міжнародного вагонопотоку на прикордонних передавальних станціях. *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна*. 2019. Вип. 17. С. 48–54. URL: [http://tstt.diit.edu.ua/article/view/178215/pdf\\_157](http://tstt.diit.edu.ua/article/view/178215/pdf_157).
3. Савенко А. С. Технология пропуска специализированных поездов в транспортном коридоре Ильичевск-Хутор-Михайловский. *Залізничний транспорт України*. 2003. № 2. С. 28-30.
4. Шевченко А. І. Резерви транзитності вагонопотоків. *Залізничний транспорт України*. 2008. № 2. С. 40-42.
5. Андрущенко В. О. Удосконалення процесів експлуатації вагонних парків з урахуванням особливостей їх обліку і використання: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. В. Лазаряна. Дніпро, 2008. 20 с.
6. Скалозуб В. В. Модели и методы для решения обобщенной транспортной задачи с учетом интересов множества собственников грузовых вагонных парков. *Вісник ДІІТу ім. В. Лазаряна*. 2005. № 6. С. 70-76.
7. Альошинський Є. С. Сучасні концепції аналізу функціонування транспортного процесу міжнародних вантажних перевезень. *Збірник наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2009. Вип. 102. С. 5-14.
8. Kopniak K., Pokynchereda V. Electronic document management: problems of implementation, advantages and prospects. *Electronic publishing house «Public administration: improvement and development»*. 2020. № 10. 10 p.
9. European Commission. Transpot modes. ETCS levels and modes. URL: [https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/ertms/what-ertms-and-how-does-it-work/etcs-levels-and-modes\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/ertms/what-ertms-and-how-does-it-work/etcs-levels-and-modes_en).
10. European Commission. Transpot modes. ERTMS. URL: [https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/ertms\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/ertms_en).
11. European Union. New requirements to travel to Europe. URL: [https://travel-europe.europa.eu/etias/what-etias\\_en](https://travel-europe.europa.eu/etias/what-etias_en).

#### **Berestov I., Pestremenko-Skrypka O. Improvement of procedures for customs control and registration of international cargoes when transported by railway transport in conditions of digitalization** **Abstract.**

The article is devoted to the research of proposals on the organization of rational customs control, processing and passing of trains at the border transfer stations of Ukraine in the service international traffic. For quality work and fast processing of cars there is a need to improve the information component of the transportation process export and import freight flows through border transmission stations.

The introduction of innovative technologies should provide automated equipment for checking cargo when crossing the customs border, creating and scanning all necessary customs documents in electronic form, determining the customs value and product code using artificial intelligence technology, and so on. Thus, there is a need to improve customs control and clearance procedures for the transportation of international cargo by rail in the conditions of digital transformation.

Automated verification of customs declarations in rail transport using artificial intelligence has its advantages, such as increased speed and efficiency: artificial intelligence can automate many processes, which leads to fast and efficient processing of customs declarations of goods and documents; accuracy and speed: artificial intelligence works without fatigue and is not influenced by human factors, which contributes to increasing the accuracy and speed of procedures; automatic report generation: AI systems can automatically generate reports and documents, simplifying the documentation process.

Overall, the use of artificial intelligence to automate rail customs control can lead to improved efficiency and accuracy of procedures, but requires careful design and management.

**Keywords:** international freight transportation, customs control, digitalization, declarations, artificial intelligence.

**Берестов Ігор В'ячеславович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна. E-mail: [i.berestov@i.ua](mailto:i.berestov@i.ua). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1209-6885>.

**Пестременко-Скрипка Оксана Сергіївна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна. E-mail: [ksju2910@gmail.com](mailto:ksju2910@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5335-5399>.

**Berestov Ihor**, Candidate of Tech. Sciencies, Associate Professor of The Department of Railway Stations and Units, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [i.berestov@i.ua](mailto:i.berestov@i.ua). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1209-6885>.

**Pestremenko-Skrypka Oksana**, Candidate of Tech. Sciencies, Associate Professor of The Department of Railway Stations and Units, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [ksju2910@gmail.com](mailto:ksju2910@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5335-5399>.

АНАНЬЄВА О. М., д.т.н., професор,  
БАБАЄВ М. М., д.т.н., професор,  
ДАВИДЕНКО М. Г., к.т.н., доцент,  
ПАНЧЕНКО В. В., к.т.н., доцент  
(Український державний університет залізничного транспорту)

## Оцінювання параметрів неперервного зондуючого сигналу при тестуванні обмотки статора трифазного асинхронного двигуна

*Надійшла робота тягового електродвигуна протягом його терміну служби, а також протяжність самого цього терміну залежать від своєчасного виявлення несправностей або тенденцій до них. Це досягається як прямим, так і непрямим контролем і, шляхом інтерпретації отриманих даних, винесенням діагностичних рішень. Електричні параметри обмоток двигуна несуть як пряму інформацію про їхній стан, так і інформацію про технічний стан низки афілійованих вузлів. Електричні параметри обмотки контролюються шляхом вимірювання амплітуди та початкової фази адитивно внесеного до неї синусоїдного струму відомої частоти. Результати вимірювань можуть бути спотворені в результаті проникнення у вимірювальне коло імпульсної завади. Момент появи завади, її протяжність та спектральна щільність апріорно невідомі. Авторами знайдено математичний опис функції правдоподібності суми неперервного сигналу та одиночної імпульсної завади. Спираючись на нього, отримано вирази для обчислення оцінок амплітуди та фази тестового струму з урахуванням індивідуальних величин параметрів вказаної завади.*

**Ключові слова:** електродвигун, обмотка статора, тестовий сигнал, завада, спектральна щільність, функція правдоподібності.

### Вступ

Трифазні асинхронні електродвигуни широко використовують як основу електропривода транспортних засобів. Від їхнього технічного стану залежить сама можливість подальшої експлуатації цих засобів. Оптимізація їхньої роботи та подовження терміну служби ефективно досягаються при технічному обслуговуванні двигунів за їхнім поточним технічним станом. Такий контроль забезпечується сукупністю вбудованих і зовнішніх засобів оцінювання та моніторингу базових параметрів двигунів, а також системою прийняття рішень за підсумками цих заходів. Дотримання конструктивно встановлених параметрів обмотки статора трифазного асинхронного двигуна є критично важливим для його подальшої експлуатації. Такий контроль можна забезпечити введенням в цю обмотку спеціального тестового струму і вимірюванням його параметрів. Однак низка факторів призводить до спотворення вимірюваних електричних коливань, а відтак – до помилок у визначенні технічного стану. Зі зростанням насиченості транспортних засобів і навколишнього середовища все новими електричними пристроями, робота яких призводить до проникнення завад у вимірювані електричні коливання, зростає і потенційно можливий відсоток неправильних рішень системи контролю технічного стану. Тому набуває все більшої актуальності розв'язання задачі отримання настільки можливо менш залежних від завад величин параметрів тестових електричних коливань.

### Постановка проблеми і аналіз досліджень і публікацій

Адитивне внесення тестуючого струму в склад струму, що протікає обмоткою статора електродвигунів, є одним із шляхів оперативного контролю електричних параметрів цієї обмотки, а відтак – її технічного стану в цілому [1-4]. У вказаних роботах основну увагу приділено технічній стороні додавання тестового струму, його впливу на обертовий момент двигуна та на інтерпретацію результатів вимірювань. Наявність завад вимірюванням в перелічених роботах не приймається до уваги, тим більше не розглянуто засобів зменшення впливу завад на результати вимірювань та їхньої інтерпретації. Вбачається, що однією з перших робіт, присвячених аналізу комплексу завад, які мають місце при спостереженні тестового струму, що протікає обмоткою статора працюючого електродвигуна, є стаття [5]. У ній описано склад цього комплексу завад, визначено діапазон частот, в якому доцільно розташовувати тестовий сигнал, та запропоновано визначати оцінки його параметрів методом найменших квадратів. Ураховано, що при раціональній частотній локалізації тестового сигналу єдиною суттєвою завадою вимірюванням є одиночний імпульс, який може мати місце на інтервалі спостереження. Обмеження запропонованого підходу до вимірювань полягає в урахуванні для завадового імпульсу тільки його спектральної щільності потужності без зазначення часових меж його існування.

З сукупності описаних в роботах [1-4] тестових сигналів авторами статті [5] обрано синусоїдний струм як такий, що у вигляді скінченного відрізка має вельми чітко окреслені частотні межі (це відповідає цілям частотної локалізації).

Теоретичному та практичному розв'язанню задачі оцінювання амплітуди, частоти та початкової фази синусоїдного коливання на фоні адитивних завад приділено та продовжує приділятися багато зусиль з огляду на фундаментальний характер таких коливань. Цю задачу розглянуто з точки зору теорії оптимально приймання сигналів на фоні неперервної завади [6]. Але поширення цих результатів на випадок одиночного завадового імпульсу залишилося поза межами цієї роботи. Вимірювання параметрів синусоїдного сигналу можна також розглядати як складову частину спектрального аналізу коливань [7]. Проте цей процес спрямований лише на визначення форми спектра та, значною мірою, на оцінювання центральних частот компонентів його важливих ділянок і не має на меті цілеспрямовану боротьбу з завадами.

З широким впровадженням цифрової обробки сигналів постала проблема впливу процесу аналого-цифрового перетворення на точність отримуваних оцінок амплітуди, частоти та початкової фази синусоїдного коливання, пов'язані з якою похибки встановлені стандартом IEEE [8]. Цей документ унормовує додаткові фактори, що виникають вже в процесі обробки сигналу і не торкається завадового складу первинного сигналу.

У роботах [9-11] розглянуто оцінювання амплітуди та початкової фази синусоїдного коливання, дискретизованого за часом, при відомій частоті цього коливання. Ураховано вплив адитивного гаусівського шуму та проникнення компонент спектра. Результати цих робіт, однак, обмежені врахуванням малопотужних джерел завад. Роботи [12, 13] розвивають результати щойно вказаних досліджень, але тільки в сторону підвищення обчислювальної ефективності отриманих процедур оцінювання. Можливість боротьби з потужною імпульсною завадою з використанням принципу «широка смуга пропускання тракту – обмежувач – вузька смуга» (ШОУ) розглянуто в роботі [14]. Але використання вказаного принципу не дає змоги адаптувати пристрій обробки сигналу під кожний унікальний імпульс завади. Приглушенню завади відповідно до амплітуди її суми з сигналом присвячено роботи [15, 16]. Фактором, що обмежує застосовність результатів цих робіт, є покладене в їхню основу припущення про малу величину відношення «сигнал/завада». Від цього припущення вільний метод боротьби з імпульсною завадою, описаний у статті [17]. Проте він не може мати високої ефективності при довільній часовій формі імпульсної завади, оскільки розроблений для структурно-детермінованих завад обмеженого класу. Кардинальною мірою в боротьбі з імпульсною завадою виглядає бланкування – видалення ділянки вхідного сигналу, враженої цією завадою. Проблема полягає у визначенні початку та кінця завадового імпульсу. У роботі [18] ці моменти запропоновано визначати, відслідковуючи величину миттєвої

потужності суміші сигналу та завади з використанням ковзної оцінки її середньої величини та дисперсії і їхнім порівнянням з порогом спрацьовування. Недоліком є необхідність у попередньому «навчальному» циклі роботи, протягом якого оцінюються умовно стаціонарні величини середнього та дисперсії для наступного порівняння з ними ковзних оцінок. Інший підхід до виявлення імпульсу завади включно з визначенням його часових меж розглянуто в роботі [19]. Він забезпечує практично повну компенсацію завади. Але суттєве обмеження на його застосування викликано необхідністю мати окремий канал, в якому спостерігається лише завада. Це не завжди можливо. У статті [20] описано вплив повного та неповного бланкування завади на відношення сигнал/шум на виході приймача, визначений шляхом апаратного моделювання. Встановлені числові характеристики позитивного ефекту бланкування, але в умовах, коли точно визначені часові межі існування завадового імпульсу. Отже, на даний час існує широкий спектр методів оцінювання параметрів синусоїдного коливання на фоні малопотужних джерел неперервних завад, або одиночної імпульсної завади з невизначеними часовими межами, або імпульсної завади з заданою часовою структурою. Паралельно існує широкий спектр методів приглушення завад за результатами нерозділеної обробки суми сигналу з завадою при малому енергетичному відношенні «сигнал/завада», або за наявності окремого каналу спостереження завад. Але не вдалося виявити опублікованих розробок, в яких було б розглянуто питання оцінювання параметрів потужного синусоїдного сигналу на фоні потужної одиночної імпульсної завади з невідомими часовими межами, формою та статистичними характеристиками, що є характерною ситуацією при спостереженні сигналу тестування обмотки статора асинхронного двигуна. Вирішення цього питання підвищило б об'єктивність інтерпретування результатів тестування і впливаючу з неї точність діагностування технічного стану двигунів вказаного типу.

---

#### Мета та задачі дослідження

---

Мета дослідження – визначення математично обґрунтованої процедури оцінювання амплітуди та початкової фази синусоїдного коливання на фоні адитивної суміші одиночної імпульсної завади та гаусівського шуму довільної потужності. Для досягнення поставленої мети було розв'язано дві задачі:

- 1) знаходження функції правдоподібності вищеописаної адитивної суміші;
- 2) виведення співвідношень для розрахунку оцінок параметрів синусоїдного коливання з урахуванням індивідуальних числових характеристик імпульсної завади, яка присутня в опрацьовуваному спостереженні.

---

#### Основна частина

---

Знаходження функції правдоподібності суми сигналу та імпульсної завади

Безвідносно до фізичної природи коливань, що спостерігаються, визначимо їх як

$$u(t) = s(t, \vec{\lambda}) + n(t), \quad (1)$$

де  $s(t, \vec{\lambda})$  – структурно-детермінований сигнал;

$t$  – час;

$\vec{\lambda}$  – вектор параметрів сигналу;

$n(t)$  – імпульс, що є фрагментом гаусівського стаціонарного випадкового процесу, при цьому

спектральна густина потужності імпульсу є рівномірною в смузі частот сигналу:

$$N_p(f) = \begin{cases} 0,5N_p & \text{при } f \in [-F_p; F_p]; \\ 0 & \text{при інших величинах } f. \end{cases} \quad (2)$$

Тут  $F_p$  – гранична частота завади, причому  $F_p > F_s$ , де  $F_s$  найвища частота спектра сигналу.

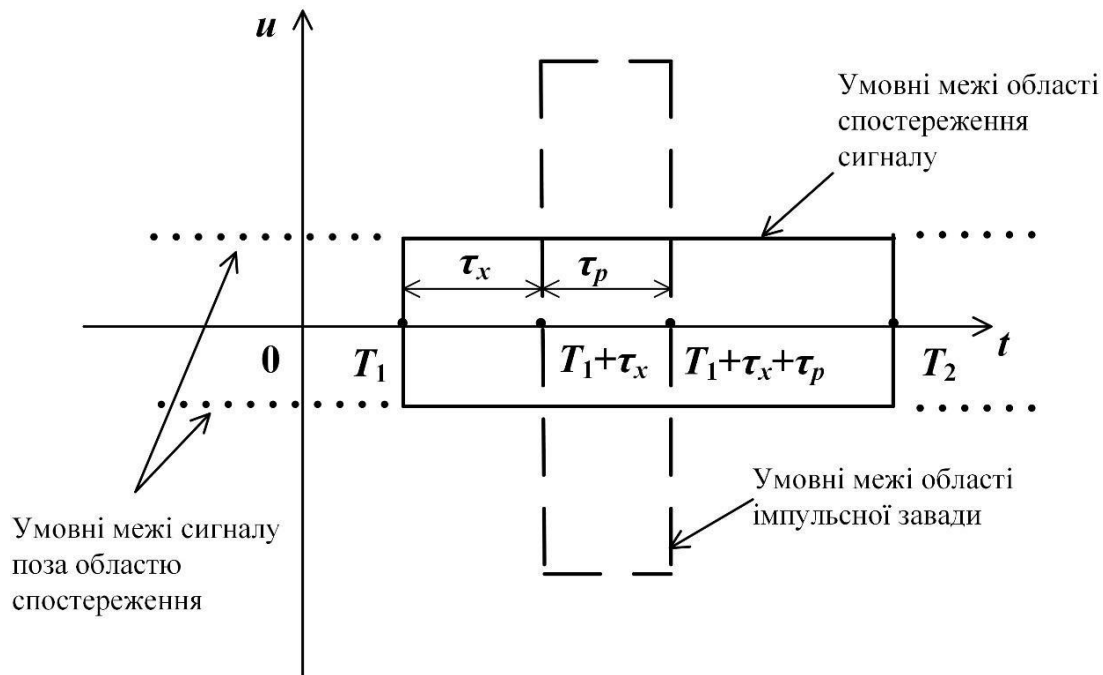


Рис. 1. Часові співвідношення між сигналом та імпульсною завадою:

$T_1$  і  $T_2$  – відповідно початок та кінець інтервалу спостереження;

$\tau_x$  – зсув моменту виникнення завади відносно початку інтервалу спостереження;  $\tau_p$  – тривалість імпульсу завади

Згідно з теоремою відліків усі функції часу, що входять до формули (1), можна однозначно відтворити за часовими вибірками, взятими з інтервалом

$$\Delta t = \frac{1}{(2F_p)}, \quad (3)$$

тобто за величинами  $u_k = u(k\Delta t)$ ,  $s_k(\vec{\lambda}) = s(k\Delta t, \vec{\lambda})$ ,  $n_k = n(k\Delta t)$ , де  $k$  – номер відліку. При цьому  $k_1 = \text{Int}[2F_p T_1] + 1$ ,  $k_2 = \text{Int}[2F_p T_2]$ .

Для відтворення коливань служить інтерполяційна формула

$$u(t) = \sum_{k=k_1}^{k_2} u_k \text{sinc}[2\pi F_p (t - k\Delta t)] = \sum_{k=k_1}^{k_2} [s_k(\vec{\lambda}) + n_k] \cdot \text{sinc}[2\pi F_p (t - k\Delta t)], \quad (4)$$

де  $\text{sinc}(x) = \frac{\sin x}{x}$ .

Рівність (4) є наближеною, оскільки функція  $\text{sinc}(x)$  має нескінченну протяжність. Але за протяжності інтервалу спостереження  $T_2 - T_1$ , набагато більшої ніж  $\Delta t$ , з достатнім ступенем точності досить прийняти до уваги тільки ті відліки цієї функції, які потрапили до інтервалу спостереження.

Припустимо, що на інтервалі спостереження існує ще один стаціонарний гаусівський випадковий процес  $n_0(t)$ , статистично незалежний від процесу  $n(t)$ . Спектральна густина потужності процесу  $n_0(t)$  визначається співвідношенням

$$N_0(f) = \begin{cases} 0,5N_0 & \text{при } f \in [-F_p; F_p]; \\ 0 & \text{при інших величинах } f. \end{cases} \quad (5)$$

З урахуванням цього вираз (1) перетворюється на

$$u(t) = s(t, \vec{\lambda}) + n(t) + n_0(t), \quad (6)$$



а вираз (4) – на

$$u(t) = \sum_{k=k_1}^{k_2} [s_k(\vec{\lambda}) + n_k + n_{0k}] \cdot \text{sinc}[2\pi F_p(t - k\Delta t)], \quad (7)$$

де  $n_{0k} = n_0(k\Delta t)$ .

Відомо, що відліки гаусівського випадкового процесу, взяті з інтервалом часу, визначеним виразом (3), є незалежними. Ймовірність реалізації неперервного коливання  $u(t)$  дорівнює спільній густині ймовірності сукупності відліків  $\{u_{k_1}, \dots, u_{k_2}\}$ . Процес  $u(t)$  є гаусівським з математичним очікуванням  $s(t, \vec{\lambda})$  тобто

$$E\{u_k\} = s_k(\vec{\lambda}). \quad (8)$$

Кореляційна матриця сукупності відліків коливання, яке спостерігається, дорівнює

$$\begin{aligned} E\{[u_k - s_k(\vec{\lambda})] \cdot [u_m - s_m(\vec{\lambda})]\} &= E\{(n_k + n_{0k}) \cdot (n_m + n_{0m})\} = \\ &= E\{n_k \cdot n_m\} + E\{n_{0k} \cdot n_{0m}\} = N_p F_p \delta_{km} + N_0 F_p \delta_{km}, \end{aligned} \quad (9)$$

де  $\delta_{km} = \begin{cases} 1 & \text{при } k = m; \\ 0 & \text{при } k \neq m. \end{cases}$

Тому дисперсії величин відліків  $u_k$  дорівнюють  $N_0 F_p$  на ділянках, де присутній тільки неперервний шум, та  $(N_0 + N_p) F_p$  на ділянці, де присутні неперервний шум та імпульсна завада разом. Відліки гаусівського випадкового процесу, узяті з інтервалом (3), є некорельованими, а тому і незалежними. Тому спільна густина ймовірності сукупності  $\{u_{k_1}, \dots, u_{k_2}\}$  дорівнює добутку гаусівських густин ймовірностей відліків:

$$p(u|\vec{\lambda}) = \prod_{k=k_1}^{k_2} p(u_k|\vec{\lambda}) = \prod_{k=k_1}^{k_{x1}} p(u_k|\vec{\lambda}) \cdot \prod_{k=k_{x1}+1}^{k_{x2}} p(u_k|\vec{\lambda}) \cdot \prod_{k=k_{x2}+1}^{k_2} p(u_k|\vec{\lambda}), \quad (10)$$

де  $k_{x1} = \text{Int}[2F_p(T_1 + \tau_x)] + 1$ ;

$k_{x2} = \text{Int}[2F_p(T_1 + \tau_x + \tau_p)]$ , пояснення на рис. 1

Обчислимо окремі добутки з виразу (10). По-перше:

$$\prod_{k=k_1}^{k_{x1}} p(u_k|\vec{\lambda}) = \prod_{k=k_1}^{k_{x1}} \left\{ \frac{1}{\sqrt{N_0 F_p} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[ -\frac{[u_k - s_k(\vec{\lambda})]^2}{2N_0 F_p} \right] \right\}$$

Зауважимо, що

$$\begin{aligned} k_{x1} - k_1 &= \text{Int}[2F_p(T_1 + \tau_x)] + 1 - \text{Int}[2F_p T_1] + 1 \approx \\ &\text{Int}[2F_p \tau_x] \approx 2F_p \tau_x \end{aligned} \quad (11)$$

оскільки  $\text{Int}[2F_p T_1]$  є великим числом порівняно з одиницею. Тоді

$$\prod_{k=k_1}^{k_{x1}} p(u_k|\vec{\lambda}) = \frac{1}{(N_0 F_p 2\pi)^{F_p \tau_x}} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{N_0 2F_p} \sum_{k=k_1}^{k_{x1}} [u_k - s_k(\vec{\lambda})]^2 \right\} \quad (12)$$

В аналогічний спосіб можна записати другий добуток виразу (10) як

$$\begin{aligned} \prod_{k=k_{x1}+1}^{k_{x2}} p(u_k|\vec{\lambda}) &= \frac{1}{[(N_0 + N_p) F_p 2\pi]^{F_p \tau_p}} \times \\ &\times \exp \left\{ -\frac{1}{(N_0 + N_p) 2F_p} \cdot \sum_{k=k_{x1}+1}^{k_{x2}} [u_k - s_k(\vec{\lambda})]^2 \right\}, \end{aligned} \quad (13)$$

оскільки

$$k_{x2} - (k_{x1} + 1) \approx 2F_p \cdot \tau_p. \quad (14)$$

Третій добуток виразу (10) можна записати як

$$\begin{aligned} \prod_{k=k_{x2}+1}^{k_2} p(u_k|\vec{\lambda}) &= \frac{1}{[(N_p F_p 2\pi)]^{F_p(T_2 - T_1 - \tau_x - \tau_p)}} \times \\ &\times \exp \left\{ -\frac{1}{N_0 2F_p} \cdot \sum_{k=k_{x2}+1}^{k_2} [u_k - s_k(\vec{\lambda})]^2 \right\}, \end{aligned} \quad (15)$$

оскільки кількість співмножників дорівнює

$$k_2 - (k_{x2} + 1) + 1 \approx 2F_p \cdot (T_2 - T_1 - \tau_x - \tau_p). \quad (16)$$

Після підстановки добутоків (12)-(15) до виразу (10) отримаємо, що

$$\begin{aligned} p(u|\vec{\lambda}) &= C(T_2 - T_1, \tau_x, \tau_p, N_0, N_p) \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{N_0 2F_p} \cdot \sum_k [u_k - s_k(\vec{\lambda})]^2 - \right. \\ &\left. - \frac{1}{(N_0 + N_p) 2F_p} \cdot \sum_{k=k_{x1}+1}^{k_{x2}} [u_k - s_k(\vec{\lambda})]^2 \right\}, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} C(T_2 - T_1, \tau_x, \tau_p, N_0, N_p) &= \frac{1}{[(2\pi N_0 F_p)]^{F_p(T_2 - T_1)}} \cdot \\ &\frac{1}{(1 + \frac{N_p}{N_0})^{F_p \tau_p}} \end{aligned} \quad (18)$$

Введемо функцію

$$\begin{aligned} \Phi(k) &= \\ &\begin{cases} 1, & \text{коли } k \text{ не належить до області імпульсу завади;} \\ 1 + \frac{N_p}{N_0}, & \text{в протилежному випадку.} \end{cases} \end{aligned} \quad (19)$$

Позначимо також, що  $\Phi_k = \Phi(k)$ . З урахуванням введених позначень вираз (17) для спільної густини ймовірності можна записати як

$$p(u|\vec{\lambda}) = C(T_2 - T_1, \tau_x, \tau_p, N_0, N_p) \times \exp \left\{ -\frac{1}{N_0 2F_p} \cdot \sum_{k=k_1}^{k_2} \frac{[u_k - s_k(\vec{\lambda})]^2}{\Phi_k} \right\}. \quad (20)$$

Перейдемо до неперервного часу. Для цього спочатку розглянемо допоміжну функцію

$$V(t) = \frac{u(t) - s(t, \vec{\lambda})}{\sqrt{\Phi(t)}} = \sum_{k=k_1}^{k_2} \left\{ \frac{[u_k - s_k(\vec{\lambda})]}{\sqrt{\Phi_k}} \cdot \text{sinc}[2\pi F_p (t - k\Delta t)] \right\}, \quad (21)$$

де  $\Phi_k$  є часовими відліками неперервної функції часу  $\Phi(t)$ .

Візьмемо від  $V^2(t)$  інтеграл в нескінченних границях, урахувавши ортогональність функцій відліків. Отримаємо, що

$$\int_{-\infty}^{\infty} V^2(t) dt = \Delta t \cdot \sum_{k=k_1}^{k_2} \frac{[u_k - s_k(\vec{\lambda})]^2}{\Phi_k}. \quad (22)$$

При  $T_2 - T_1 \gg \Delta t$  границі інтегрування можна замінити на  $T_1$  (нижня) та  $T_2$  (верхня). Тоді матимемо, що

$$\int_{T_1}^{T_2} V^2(t) dt = \int_{T_1}^{T_2} \frac{[u(t) - s(t, \vec{\lambda})]^2}{\Phi(t)} dt = \frac{1}{2F_p} \cdot \sum_{k=k_1}^{k_2} \frac{[u_k - s_k(\vec{\lambda})]^2}{\Phi_k}, \quad (23)$$

де  $\Delta t = \frac{1}{(2F_p)}$  згідно з формулою(3).

Співвідношення (23) дає змогу переписати вираз (20) для спільної щільності ймовірності у вигляді

$$p(u|\vec{\lambda}) = C(T_2 - T_1, \tau_x, \tau_p, N_0, N_p) \times \exp \left\{ -\frac{1}{N_0} \cdot \int_{T_1}^{T_2} \frac{[u(t) - s(t, \vec{\lambda})]^2}{\Phi(t)} dt \right\}. \quad (24)$$

Протяжність інтервалу спостереження дорівнює

$$T = T_2 - T_1.$$

А функцію  $\Phi(t)$  для урахування спектральних щільностей обох завод перепозначимо як  $\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)$ . Тоді

$$p(u|\vec{\lambda}) = \frac{1}{(2\pi N_0 F_p)^{F_p T} \cdot \left(1 + \frac{N_p}{N_0}\right)^{F_p T_p}} \times \exp \left\{ -\frac{1}{N_0} \cdot \int_{T_1}^{T_2} \frac{[u(t) - s(t, \vec{\lambda})]^2}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt \right\}. \quad (25)$$

Перетворимо показник експоненти:

$$\frac{1}{N_0} \cdot \int_{T_1}^{T_2} \frac{[u(t) - s(t, \vec{\lambda})]^2}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt = \frac{1}{N_0} \cdot \int_{T_1}^{T_2} \frac{u^2(t)}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt - \frac{2}{N_0} \cdot \int_{T_1}^{T_2} \frac{u(t) \cdot s(t, \vec{\lambda})}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt + \frac{1}{N_0} \cdot \int_{T_1}^{T_2} \frac{s^2(t, \vec{\lambda})}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt. \quad (26)$$

Введемо позначення вектора параметрів завод

$$\vec{\psi} = \left( \frac{N_p}{N_0, \tau_x, \tau_p} \right)^T; \quad (27)$$

а також

$$C_w(\vec{\psi}) = \exp \left[ -\frac{1}{N_0} \cdot \int_{T_1}^{T_2} \frac{u^2(t)}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt \right], \quad (28)$$

$$q_w(\vec{\lambda}, \vec{\psi}) = \frac{2}{N_0} \cdot \int_{T_1}^{T_2} \frac{u(t) \cdot s(t, \vec{\lambda})}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt, \quad (29)$$

$$\mu_w(\vec{\lambda}, \vec{\psi}) = \frac{1}{N_0} \cdot \int_{T_1}^{T_2} \frac{s^2(t, \vec{\lambda})}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt \quad (30)$$

і назвемо  $q_w(\cdot)$  зваженою кореляцією, а  $\mu_w(\cdot)$  зваженим енергетичним відношенням «сигнал/завада».

У підсумку отримаємо, що

$$p(u|\vec{\lambda}) = \frac{C_w(\vec{\psi})}{(2\pi N_0 F_p)^{F_p T} \cdot \left(1 + \frac{N_p}{N_0}\right)^{F_p T_p}} \times \exp \{ q_w(\vec{\lambda}, \vec{\psi}) - \mu_w(\vec{\lambda}, \vec{\psi}) \}. \quad (31)$$

Величина  $\vec{\lambda}$  оцінки вектора параметрів сигналу доставить максимум функції  $p(u|\vec{\lambda})$  густини ймовірності. Множник перед експонентою не залежить від параметрів сигналу, а відтак не впливає на  $\vec{\lambda}$ . Експонента ж є монотонною функцією свого показника, тому максимізації підлягає саме він.

*Оцінювання параметрів синусоїдного тестового струму*

Розглянемо ситуацію, в якій необхідно обчислити оцінки амплітуди та початкової фази синусоїдного тестового струму відомої частоти, введеного до обмотки статора асинхронного електродвигуна [5]. Опишемо його як корисний сигнал:

$$s(t, \vec{\lambda}) = I_{ms} \cdot \sin(\omega t + \varphi_s), \quad (32)$$

де  $\omega$  – відома частота;

$I_{ms}$  та  $\varphi_s$  – відповідно оцінювані амплітуда та початкова фаза;

$\vec{\lambda} = (I_{ms} \varphi_s)^T$  – вектор інформаційних параметрів.

З урахуванням (32) маємо

$$q_w(\vec{\lambda}, \vec{\psi}) = \frac{2I_{ms}}{N_0} \int_{T_1}^{T_2} \frac{i(t) \sin(\omega t + \varphi_s)}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt =$$

$$= \frac{2I_{ms}}{N_0} \left[ \cos \varphi_s \int_{T_1}^{T_2} \frac{i(t) \sin \omega t}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt + \sin \varphi_s \int_{T_1}^{T_2} \frac{i(t) \cos \omega t}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt \right], \quad (33)$$

де  $i(t)$  – коливання, зняте з датчика струму.

Також

$$\mu(\vec{\lambda}, \vec{\psi}) = \frac{i_s^2}{N_0} \cdot \int_{T_1}^{T_2} \frac{\sin^2(\omega t + \varphi_s)}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt.$$

Оскільки в інтервал спостереження укладається велика кількість періодів сигналу, то з великою точністю

$$\mu_w(\vec{\lambda}, \vec{\psi}) = \frac{i_s^2}{2N_0} \cdot \left( T - \tau_p + \frac{\tau_p}{1 + \frac{N_p}{N_0}} \right). \quad (34)$$

Шукатимемо глобальний максимум отриманої з формули (31) цільової функції

$$\delta(\vec{\lambda}, \vec{\psi}) = q_w(\vec{\lambda}, \vec{\psi}) - \mu(\vec{\lambda}, \vec{\psi}). \quad (35)$$

Оцінку  $\hat{\varphi}_s$  початкової фази отримуємо, привівнявши  $\frac{\partial \delta(\vec{\lambda}, \vec{\psi})}{d\varphi_s}$  до нуля. Маємо

$$\frac{2I_{ms}}{N_0} \left[ -\widehat{\sin} \varphi_s \int_{T_1}^{T_2} \frac{i(t) \sin \omega t}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt + \widehat{\cos} \varphi_s \int_{T_1}^{T_2} \frac{i(t) \cos \omega t}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt \right] = 0.$$

Звідси

$$\hat{\varphi}_s = \arctg \frac{\int_{T_1}^{T_2} \frac{i(t) \cos \omega t}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt}{\int_{T_1}^{T_2} \frac{i(t) \sin \omega t}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt}. \quad (36)$$

Оцінку  $\hat{I}_{ms}$  амплітуди отримаємо, привівнявши  $\frac{\partial \delta(\vec{\lambda}, \vec{\psi})}{dI_{ms}}$  до нуля і підставивши туди  $\hat{\varphi}_s$ :

$$\hat{I}_{ms} = \frac{2\left(1 + \frac{N_p}{N_0}\right)}{\left[T\left(1 + \frac{N_p}{N_0}\right) - \tau_p \frac{N_p}{N_0}\right]} \int_{T_1}^{T_2} \frac{i(t) \sin(\omega t + \hat{\varphi}_s)}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} dt. \quad (37)$$

Математичний сенс виразів (36) та (37) полягає в тому, що відома операція обчислення кореляційного інтеграла модифікується так, що на ділянці існування імпульсу завади спостережене коливання  $i(t)$  підлягає зменшенню в  $\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)$  разів. Це є аналогом автоматичного регулювання підсилення, однак тут воно здійснюється як реакція тільки на заваду, а не як традиційне регулювання за величиною  $i(t)$  суми «сигнал плюс завада». Неможливість спостереження завади в чистому вигляді не є перешкодою для такого нового виду регулювання, оскільки підстановка оцінки фази (36) та оцінка амплітуди (37) до цільової функції  $\delta(\vec{\lambda}, \vec{\psi})$  зводить останню до функції трьох

параметрів  $\delta(\vec{\psi}) = \delta\left(N_p/N_0, \tau_x, \tau_p\right)$ , яка підлягає максимізації числовими методами. На практиці задача максимізації суттєво спрощується, оскільки у вимірному струмі  $i(t)$  статора обмотки асинхронного двигуна спектральна щільність  $N_0$  неперервної завади дуже мала і за будь-якої імпульсної завади величина  $\frac{N_p}{N_0}$  є настільки великим числом, що на ділянці існування імпульсної завади ваговий множник  $\frac{1}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)}$  практично дорівнює нулю. За

цих же умов передінтегральний множник у виразі (37) набуває вигляду  $\frac{2}{(T - \tau_p)}$ . Отже, задача максимізації

цільової функції  $\delta(\vec{\psi})$  зводиться до задачі максимізації функції  $\delta(\tau_x, \tau_p)$ , яка при цифровій обробці сигналу не є аж надто затратною в обчислювальному плані.

Позначимо як

$$\Theta = [T_1, \tau_x] \cup [T_1 + \tau_x, \tau_p, T_2] \quad (38)$$

ту частину інтервалу спостереження, в якій  $\frac{1}{\Phi\left(t, \frac{N_p}{N_0}\right)} = 1$ , тобто яка не «вирізається» із спостережень (іншими словами, не бланкується). З урахуванням вище описаних спрощень вирази (36) і (37) для оцінок інформаційних параметрів набудуть вигляду

$$\hat{\varphi}_s = \arctg \frac{\int_{\Theta} i(t) \cos \omega t dt}{\int_{\Theta} i(t) \sin \omega t dt}, \quad (39)$$

$$\hat{I}_{ms} = \frac{2}{T - \tau_p} \int_{\Theta} i(t) \sin(\omega t + \hat{\varphi}_s) dt. \quad (40)$$

Вирази (39) та (40) дають змогу, в принципі, отримати оцінки амплітуди та початкової фази за будь-яких довільно призначених величин  $\tau_x$  і  $\tau_p$ . Але це відповідає довільному вибору початкової точки та ширини забланкованого відрізка спостереженого сигналу, тобто таке бланкування не видалить, принаймні, частину враженої завадою ділянки. Тому дисперсія отриманих оцінок не буде найменш

можливою. Для забезпечення найменшої дисперсії слід підставити оцінки (39) та (40) до виразів (33) та (34) та після цього мінімізувати цільову функцію (35) за параметрами  $\tau_x$  і  $\tau_p$  числовими методами.

### Обговорення результатів визначення процедури оцінювання

Розглянуте питання входить до сфери методів і засобів здійснення контролю обмоток електродвигунів шляхом подання в них тестового струму додатково до тягового струму. Однак в цій роботі розглянуте вимірювання інформаційних параметрів тестового струму за умов наявності імпульсної завади на інтервалі спостереження. Наявність завад не було враховано в попередніх роботах з цієї проблематики. Отже, в цій роботі запропоновано можливий шлях математичної обробки результатів вимірювань, який призводить до зменшення впливу імпульсних завад на отримані величини інформаційних параметрів. Це дасть змогу підвищити точність діагностування технічного стану електродвигуна. Кінцеві вирази для оцінок інформаційних параметрів зберігають функціональну залежність від часу початку відрізка бланкування та від протяжності цього відрізка. Ця невизначеність принципово не унеможливує розрахунку оцінок, але вимагає вжиття додаткових заходів з покращення їхньої точності, а саме – додаткової максимізації цільової функції за двома часовими параметрами відрізка бланкування. Визначення математичних і апаратних засобів для розв'язання цієї задачі за прийнятної обсягу відповідних обчислень є напрямом подальших досліджень.

### Висновки

1. На базі статистичного подання адитивної суміші дискретних в часі інформаційного сигналу та імпульсної завади, а також з використанням представлення цієї суміші в базисі ортогональних функцій відліків знайдено вираз для функції правдоподібності вимірювального струму тестування обмотки статора електродвигуна.
2. Шляхом аналізу отриманої функції правдоподібності знайдено співвідношення для розрахунку амплітуди та початкової фази тестового струму з урахуванням величин спектральної щільності, часу початку та протяжності імпульсної завади.

### Список використаних джерел

1. Magnetic Effects of DC Signal Injection on Induction Motors for Thermal Evaluation of Stator Windings / P. Zhang, Y. Du, T.G. Habetler, B. Iu. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 58(5): 1479-1489. DOI: 10.1109/TIE.2010.2089935.
2. Optimization of HF signal injection parameters for EV applications based on sensorless IPMSM drives / L. Idkhajine, E. Monmasson, Z. Makni, P.-A. Chauvenet, B. Condamine, A. Bruyere. *IET Electric Power Applications*. Vol. 12, Issue 3. P. 347-356. URL : <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2017.0228>.
3. Signal injection method without torque ripple for stator winding temperature estimation of surface-mounted PMSM drive systems / J. Fang, S. Ding, Y. Sun, J. Hang. *Journal of Power Electronics*. November 2020. 20(6): 1504-1513. DOI:1007/s43236-020-00153-0.
4. A Study of Frequency Domain Reflectometry Technique for High-Voltage Rotating Machine Winding Condition Assessment / J. Cheng, Y. Zhang, H. Yun, L. Wang, N. Taylor. *Machines*. 2023. 11 (9), 883. URL : <https://doi.org/10.3390/machines11090883>.
5. Ананьєва О. М., Бабаєв М. М., Давиденко М. Г., Панченко В. В. Частотна локалізація та оцінювання параметрів сигналу тестування обмотки статора трифазного асинхронного двигуна. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2023. № 4. С. 28-37. URL: <https://doi.org/10.18664/iksz.v28i4.296413>.
6. Van Trees H. L. Detection, Estimation, and Modulation Theory, Part I: Detection, Estimation, and Linear Modulation Theory. Wiley & Sons, Inc. 2001. 686 p. DOI: 10.1002/0471221082.
7. Kay S. M. Marple S. L. Spectrum Analysis – A Modern Perspective. *Proc. IEEE*. 1981. Vol. 69. No 11. Pp. 1380-1419. DOI: 10.1109/Proc.1981.12184.
8. IEEE 1241-2000. IEEE Standard for Terminology and Test Methods for Analog-to-Digital Converters. URL: [standards.ieee.org/ieee/1241/1889/](https://standards.ieee.org/ieee/1241/1889/)
9. Martino M., Losito R., Masi A. Analytical metrological characterization of the three-parameter sine fit algorithm. *ISA Transaction*. 2012. Vol. 51. Issue 2. Pp. 262-270. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2011.10.003>.
10. Belega D., Petri D., Dallet D. Amplitude and Phase Estimation of Real-Valued Sine-wave Via Frequency-Domain Linear Least-Squares Algorithms. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. January 2018. DOI: 10.1109/TIM.2017.2785098.
11. Ye S., Sun J., Aboutanios E. On the Estimation of the Parameters of a Real Sinusoid in Noise. *IEEE Signal Processing Letters*. May 2017. Vol. 24. No 5. Pp. 638-642. DOI: 10.1109/LSP.2017.2684223.
12. Wu J. K. Fast algorithms for frequency, amplitude and phase evaluation of nonsinusoidal signals with noises. *Measurement*. December 2006. Vol. 39. Issue 10. Pp. 909-917. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2006.03>.
13. Chen P., Su X., Shen T., Mou L. A Parameter Estimation Algorithm for Damped Real-Value Sinusoid in Noise. *Measurement Science Review*.



2023. Vol. 23. No 3. Pp. 99-105. URL: [sciendo.com/article/10.2478/msr-2023-0013](https://doi.org/10.2478/msr-2023-0013).
14. Safeev A. Suppression of Pulse Interference. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*. 2020. 8(4). Pp. 125-130. DOI: 10.12691/ajeec-8-4-5.
  15. Bastirde F., Akos D., Macabian C., Roturier B. Automatic gain control (AGC) as an interference assessment tool. *ION GPS/GNSS*, 2003, 16<sup>th</sup> International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Sep. 2003. Portland, United States. pp. 2042-2053. hal-01021721. <https://enac.hal.science/hal-01021721>.
  16. Ananieva O., Babaiev M., Blyndiuk V., Davidenko M. Design of a device for optimal reception of signals against the background of a two component Markov interference. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 6. № 9(90) pp. 4-9. Doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118869>.
  17. Synthesis of a device for anti-jamming reception of signals of tonal rail circuits on the background of additive five-component interference / S. Panchenko, O. Ananieva, M. Babaiev, M. Davidenko, V. Panchenko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 3. № 9(111). Pp. 94-102. Doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235835>.
  18. Noppasin Niamsuwan, Johnson J. T. Examination of a simple pulse-blanking technique for radio frequency interference mitigation. *Radio Science*. 2005. Vol. 40. RS503. Doi: 10.1029/2004RS003155, 2005.
  19. Development of a direct penetrating signal compensator in a distributed reception channel of a surveillance radar / H. Khudov, S. Yarosh, O. Droban et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 2. № 9(110). Pp. 16-26. Doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.228133>.
  20. Suppression of Pulsed Interference through blanking / C. Hegarty, A. J. Van Dierendonck, D. Bobyin et al. *Electronic resource*. January 2000. URL: [https://researchgate.net/publication/252351232\\_Suppression\\_of\\_Pulsed\\_Interference\\_through\\_blanking](https://researchgate.net/publication/252351232_Suppression_of_Pulsed_Interference_through_blanking).

**Ananieva O., Babaiev M., Davidenko M., Panchenko V. Estimation of parameters of a continuous probing signal during testing the stator winding of a three-phase asynchronous motor.**

**Abstract.** Three-phase asynchronous electric motors are widely used as the basis of the electric drive of vehicles. The very possibility of further exploitation of these means depends on their technical condition. Optimizing their operation and extending their service life are effectively

achieved by maintaining engines in their current technical condition. Such control is provided by a set of built-in and external means of evaluating and monitoring the basic parameters of engines, as well as a decision-making system based on the results of these measures. Compliance with the structurally established parameters of the stator winding of a three-phase asynchronous motor is critically important for its further operation. The reliable operation of the traction electric motor during its service life and the length of this period itself both depend on the timely detection of malfunctions or tendencies towards them. This is achieved by direct and indirect control, by interpreting the received data, and making diagnostic decisions. The electrical parameters of the motor windings carry both direct information about their condition and information about the technical condition of a number of affiliated nodes. The electrical parameters of the winding are controlled by measuring the amplitude and initial phase of the sinusoidal current of a known frequency additively added to it.

Additive introduction of the testing current into the composition of the current flowing through the stator winding of electric motors is one of the ways of operational control of the electrical parameters of this winding, and therefore its technical condition as a whole. Measurement results may be distorted as a result of impulse interference entering the measuring circuit. The moment of appearance of the disturbance, its length and spectral density are unknown a priori. The authors found a mathematical description of the probability function of the sum of a continuous signal and a single impulse disturbance. Based on it, we obtained expressions for calculating the amplitude and phase estimates of the test current, taking into account the individual values of the specified interference parameters.

**Key words:** electric motor, stator winding, test signal, interference, spectral density, likelihood function.

*Ананьєва Ольга Михайлівна, д.т.н., професор, кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна. E-mail: romashka13052015@gmail.com. ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6686-8249>.*

*Бабаєв Михайло Михайлович, д.т.н., професор, завідувач кафедри, кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна. E-mail: mmbxiiit@gmail.com. ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3553-8786>.*

*Давиденко Михайло Георгійович, к.т.н., доцент, кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна.*

*E-mail: [davdenk@kart.edu.ua](mailto:davdenk@kart.edu.ua). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7255-3059>.*

*Панченко Владислав Вадимович, к.т.н., доцент, кафедра електроенергетики, електротехніки та*

електромеханіки, Український державний  
університет залізничного транспорту, м. Харків,  
Україна.

E-mail: [vlad\\_panchenko@ukr.net](mailto:vlad_panchenko@ukr.net). ID ORCID: [https://  
orcid.org/0000-0003-4822-7151](https://orcid.org/0000-0003-4822-7151).

**Olha Ananieva**, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Department of automation and computer telecontrol train  
traffic, Ukrainian State University of Railway Transport,  
Kharkiv, Ukraine. E-mail:  
[romashka13052015@gmail.com](mailto:romashka13052015@gmail.com). ID ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0001-6686-8249>.

**Mykhailo Babaiev**, Doctor of Technical Sciences,  
Professor, Department of electroenergy, electrical  
equipment and electromechanics, Ukrainian State  
University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-  
mail: [mmbxiit@gmail.com](mailto:mmbxiit@gmail.com). ID ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0003-3553-8786>.

**Mykhailo Davidenko**, PhD, Associate Professor,  
Department of of electroenergy, electrical equipment and  
electromechanics, Ukrainian State University of Railway  
Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail:  
[davdenk@kart.edu.ua](mailto:davdenk@kart.edu.ua). ID ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0001-7255-3059>.

**Vladyslav Panchenko**, PhD, Associate Professor,  
Department of of electroenergy, electrical equipment and  
electromechanics, Ukrainian State University of Railway  
Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail:  
[vlad\\_panchenko@ukr.net](mailto:vlad_panchenko@ukr.net). ID ORCID: [https://  
orcid.org/0000-0003-4822-7151](https://<br/>orcid.org/0000-0003-4822-7151).



КУЦЕНКО М.Ю., канд. техн. наук

ТОКАРЕНКО С.О., магістрант

ВІВДИЧЕНКО С.В., аспірант

(Український державний університет залізничного транспорту)

## Метод визначення положення одновагонних відчепів у момент їхнього відриву від состава при розпуску з гірки

**Анотація.** Найважливішим параметром сортувальної гірки є поздовжній профіль, від конструкції якого залежить продуктивність і безпека роботи всього сортувального комплексу. Окремим завданням є забезпечення відповідності параметрів поздовжнього профілю гірок проекту. У чинних правилах і нормах проєктування сортувальних пристроїв подано діапазони допустимих значень визначення конструктивних параметрів перевальної частини гірок, при цьому методів і рекомендацій щодо визначення оптимальних значень не наведено. Отже, удосконалення методів розрахунку параметрів перевальної частини гірки є актуальним напрямом наукових досліджень. У статті розроблено новий аналітичний метод визначення положення одновагонних відчепів у момент їхнього відриву від состава під час розпуску з гірки, що забезпечує точність розрахунків, порівнянню з імітаційним моделюванням. Результати досліджень можуть бути використані при корегуванні норм проєктування та утримання сортувальних гірок.

**Ключові слова:** сортувальна гірка, горб гірки, відчеп, точка відриву.

### Вступ.

Сортувальні гірки є ключовими компонентами систем переробки потоків вагонів і визначають ефективність, надійність і результати їхньої роботи. Один із основних параметрів сортувальної гірки – це її поздовжній профіль, який впливає на продуктивність і безпеку всього сортувального комплексу. Особливо важливою є перевальна частина гірки, де состав розділяється на відчепи, створюються просторові інтервали між ними, що визначає різні параметри сортувального процесу, такі як швидкість розпуску, гірковий технологічний інтервал і переробна спроможність гірки.

Одним із важливих завдань є забезпечення відповідності параметрів поздовжнього профілю гірок проекту. Неоднорідності у профілі можуть призводити до зниження продуктивності і безпеки процесу сортування. Тому важливо вивчити вплив зміни поздовжнього профілю на експлуатаційні властивості гірки і визначити доцільність його корегування. У чинних правилах і нормах проєктування сортувальних пристроїв наведено допустимі значення для параметрів гірок, але відсутні методи та рекомендації щодо визначення оптимальних параметрів. Отже, удосконалення методів розрахунку параметрів гірок є важливим напрямом наукових досліджень.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На сьогодні при розробленні та вдосконаленні конструкцій гірок для визначення моменту відділення вагонів від состава на гірці застосовують аналітичні методи. Ці методи базуються на припущенні, що момент відділення одновагонного відчепу на гірці відбувається в той момент, коли тангенс нахилу вагона до горизонтальної площини, еквівалентний питомій профільній прискорювальній силі чисельно перевищує сумарний питомий опір руху  $\sum \omega$  [3–5]. Однак таке спрощене уявлення може призводити до появи неточностей під час розрахунків.

Застосування методу імітаційного моделювання процесу розпуску составів, який базується на концепції шарнірно-осьового подання відчепів, дає змогу отримувати більш точні результати згідно з дослідженнями [1, 2, 6]. За цією моделлю, від'єднання вагона від состава відбувається в той момент, коли середній нахил під осями вагона перевищує сумарне значення питомого опору руху. У зв'язку з тим, що вплив довжини бази візка вагона на розрахункове значення середнього нахилу є незначним, для спрощення подальших розрахунків у цьому дослідженні розглядають лише нахили колії під п'ятниками вагона. Умова від'єднання одновагонного відчепу від состава відповідно до шарнірно-осьової моделі вагона описується так [8]:

$$-(i_1 + i_2) / 2 > \sum \omega ,$$

де  $i_1, i_2$  – уклони поздовжнього профіля колії на горбі гірки під п'ятником вагона з боку насувної та спускної частин відповідно (знак мінус прийнято за прискорювального впливу уклону на відчеп), ‰;

$\sum \omega$  – сумарний питомий опір руху відчепа в момент відриву від состава, Н/кН.

У виразі (1) не враховано вплив нахилу поздовжньої осі вагона до горизонтальної площини, коли він проходить перевальну частину гірки. Тому в роботах [9, 10] використано рівняння рівноваги плоскої системи сил, що діють на п'ятники вагона, для виведення умови відриву одновагонного відчепа. Новий вираз враховує цей нахил:

$$\frac{\sin \alpha_2 \cos \alpha_1 - \sin \alpha_1 \cos \alpha_2}{\cos \alpha_1 \cos \alpha_2 + \cos \alpha_2 \cos \alpha_1} > \sum \omega \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

Подальше перетворення умови (3) дає змогу отримати таке:

$$\frac{tg \alpha_2 - tg \alpha_1}{2} > \sum \omega \cdot 10^{-3}.$$

Водночас спрощену умову (4) доцільно перетворити до вигляду, аналогічному виразу (1):

$$\frac{-(i_1 + i_2)}{2} > \sum \omega,$$

де  $i_1, i_2$  – значення уклонів поздовжнього профіля колії на горбі гірки під п'ятниками вагона з боку насувної та спускної частин відповідно (знак мінус

$$\frac{\sin \alpha_2 \cos(\alpha_1 + \beta) - \sin \alpha_1 \cos(\alpha_2 - \beta)}{\cos \alpha_1 \cos(\alpha_2 - \beta) + \cos \alpha_2 \cos(\alpha_1 + \beta)} > \sum \omega \cdot 10^{-3},$$

де  $\alpha_1, \alpha_2$  – кути нахилу дотичних до лінії поздовжнього профілю перевальної частини гірки під заднім і переднім п'ятниками вагона відповідно;

$\beta$  – кут нахилу поздовжньої осі вагона до горизонтальної осі.

Кути нахилу поздовжньої осі вагона на перевальній ділянці сортувальної гірки мають невелике значення (приблизно три градуси або менше). Тому в цій роботі припущено, що кут нахилу поздовжньої осі вагона до горизонтальної площини в момент відриву відчепа дорівнює нулю ( $\beta = 0$ ), і вираз (2) набуває такого вигляду:

прийнято за прискорювального впливу уклону на відчеп), ‰.

Очевидно, що спрощена умова відриву одновагонного відчепа від состава (5), отримана з використанням рівняння рівноваги плоскої системи сил, має схожість із умовою відриву (1), яка базується на шарнірно-осьовій моделі, що використовують за імітаційного моделювання. Вирази (2) і (5) відрізняються в лівій частині, де визначають питому рушійну силу. Порівняння результатів розрахунку питомої рушійної сили, отриманих за допомогою

виразу (2) і спрощених виразів (5) або (1), показало, що відносна різниця результатів не перевищує 0,2 ‰ (табл. 1). Можна зробити висновок, що для практичного застосування при аналітичних розрахунках можна використовувати вираз (5).

Таблиця 1

Порівняння результатів розрахунку питомої рушійної сили, що діє на одновагонний відчеп

Уклон поздовжнього профілю колії під п'ятником вагона*, ‰		Кут нахилу поздовжньої осі вагона до горизонту, ‰	Питома рушійна (профільна) сила, Н/кН		Відносна різниця результатів, ‰
заднім	переднім		визначена з використанням виразу (2)	визначена з використанням спрощеного виразу (5)	
16	-20	10	2,00324	2,0	0,162
8	-10	5	1,00041	1,0	0,040
8	-20	0	6,00000	6,0	0,000
20	-30	-10	4,99375	5,0	-0,125
5	-25	-10	9,99775	10,0	-0,023
0	-25	-15	12,49766	12,5	-0,019
0	-50	-25	24,98438	25,0	-0,062
-20	-50	-35	34,99213	35,0	-0,022
-50	-50	-50	50,00000	50,0	0,000

Примітка. \* – знак мінус приймається при прискорюючому впливі уклону на відчеп.

**Визначення мети та завдання дослідження.**

Метою дослідження є розроблення аналітичного методу визначення положення одновагонних відчепів у момент їхнього відриву від

состава при розпуску з гірки, який буде здатний забезпечити точність розрахунків, співставну з методом імітаційного моделювання за використання шарнірно-осьової моделі відчепа. Реалізація цієї мети

потребує постановки та вирішення таких завдань дослідження:

- визначити аналітичні залежності для опису проходження одновагонного відчепа по ділянках перевальної частини сортувальної гірки;
- визначити можливі варіанти розташувань п'ятників вагона на розрахункових ділянках у момент відриву від состава;
- сформулювати вирази для розрахунку координати точки відриву  $X_0$  відповідно до різних варіантів розташувань п'ятників вагона;
- порівняти результати розрахунку координат одновагонних відцепів у момент їхнього відриву від состава, отриманих різними методами.

**Основна частина дослідження.**

Для отримання розв'язку нерівності (5) рекомендовано використовувати рівняння траєкторії руху п'ятників вагона по горбу гірки, які наведені в табл. 2. Для цього поздовжній профіль перевальної частини сортувальної гірки, показаний на рис. 1, розбивають на чотири ділянки, для кожної з яких складають рівняння траєкторії руху заднього та переднього п'ятників. При цьому тангенс кута нахилу дотичної до поздовжнього профілю горба гірки, який чисельно дорівнює уклону під п'ятником вагона, буде визначений через першу похідну рівняння його траєкторії руху.

Таблиця 2

Аналітичні залежності для опису проходження одновагонного відчепа по ділянках перевальної частини сортувальної гірки

Рівняння траєкторії руху п'ятників вагона на ділянках поздовжнього профілю горба гірки, $y = f(x)$		Рівняння тангенса кута нахилу дотичної під п'ятниками вагона на ділянках поздовжнього профілю горба гірки, $tg\alpha = y' = f'(x)$	
заднього	переднього	заднім	переднім
1	2	3	4
I – ділянка протиухилу			
$y_1 = i_n(x-l-T_n) \cdot 10^{-3}$ , при $x-l \leq -2T_n$	-*	$tg\alpha_1 = i_n \cdot 10^{-3}$ , при $x-l \leq -2T_n$	-*
II – ділянка вертикальної кривої з боку насувної частини			
$y_1 = -\frac{(x-l)^2}{2R_n}$ , при $-2T_n < x-l < 0$	-*	$tg\alpha_1 = -\frac{x-l}{R_n}$ , при $-2T_n < x-l < 0$	-*
III – ділянка вертикальної кривої з боку спускної частини			
$y_1 = -\frac{(x-l)^2}{2R_c}$ , при $0 \leq x-l < 2T_c$	$y_2 = -\frac{(l+x)^2}{2R_c}$ , при $0 < x+l < 2T_c$	$tg\alpha_1 = -\frac{x-l}{R_c}$ , при $0 \leq x-l < 2T_c$	$tg\alpha_2 = -\frac{x+l}{R_c}$ , при $0 < x+l < 2T_c$
Продовження табл. 2			
1	2	3	4
IV – ділянка швидкісного елемента			
-*	$y_2 = -i_c(l+x-T_c) \cdot 10^{-3}$ , при $x+l \geq 2T_c$	-*	$tg\alpha_2 = -i_c \cdot 10^{-3}$ , при $x+l \geq 2T_c$

Примітки:

- $x$  – координата центра відчепа відносно вершини гірки, м;
- $l$  – половина бази вагона, м;
- $i_n$  – кругість протиухилу, ‰;
- $i_c$  – уклон швидкісного елемента, ‰;

- $R_n, R_c$  – радіуси вертикальних кривих з боку насувної і спускної частин відповідно, м;
- $T_n, T_c$  – значення тангенсів вертикальних кривих з боку насувної і спускної частин відповідно, м;
- \* – варіант не розглядають, оскільки при розташуванні п'ятника на цій ділянці відрив відчепа неможливий.

Під час подолання перевальної ділянки гірки можливі п'ять різних розташувань п'ятників вагона на розрахункових ділянках у момент відриву від состава (рис. 2).

Ця різноманітність обумовлена різними конструктивними параметрами гірок, різноманітністю моделей вагонів і різницею в значеннях сумарного питомого опору руху відцепів.

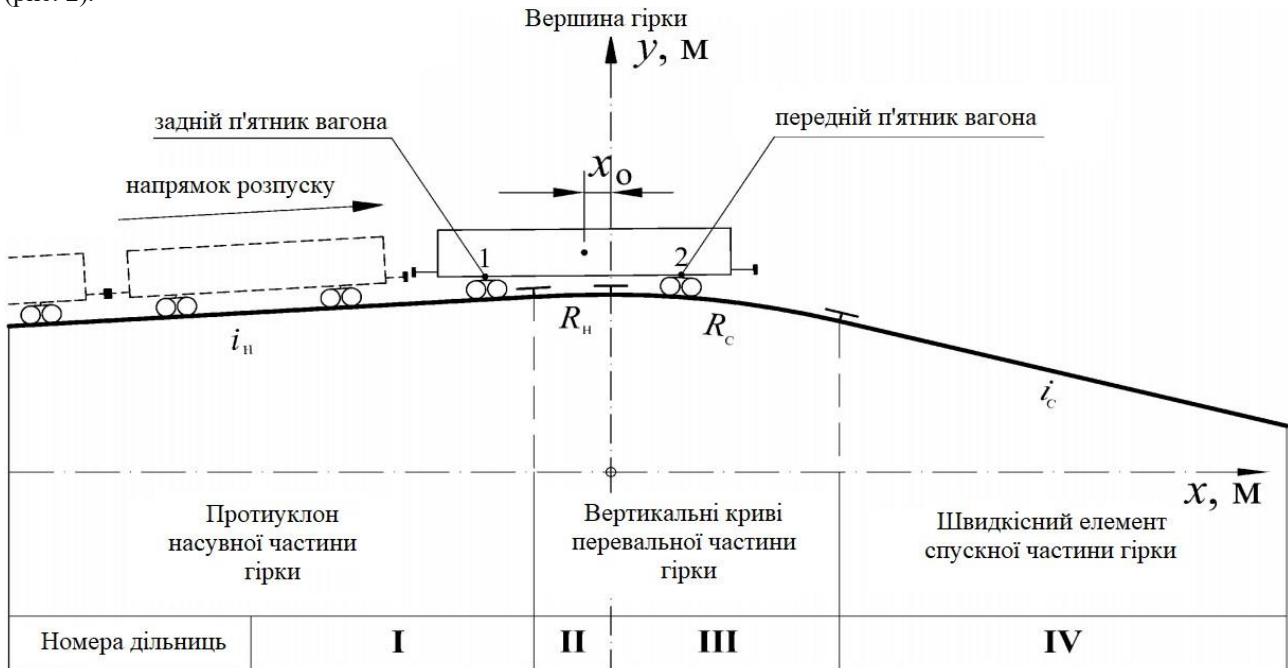


Рис. 1. Схема для визначення уклонів під п'ятниками вагона на ділянках поздовжнього профілю горба гірки  
 На рис. 1, 2 позначені зони гірки: I зона – насувної частини; III зона – вертикальна крива з боку спускної частини; II зона – вертикальна крива з боку протиухил; IV зона – швидкісний елемент.

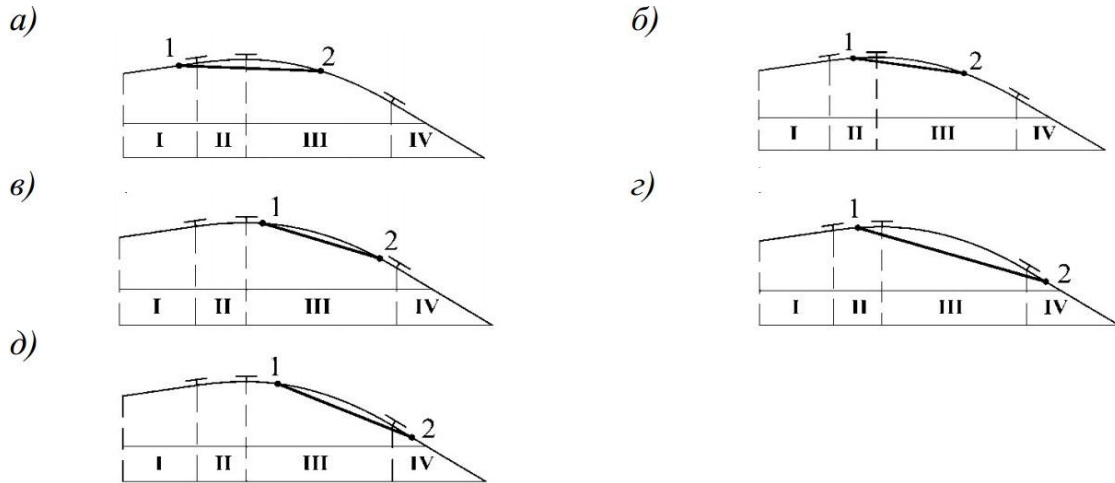


Рис. 2. Можливі варіанти розташування п'ятників вагона на горбі гірки в момент відриву одновагонного відчепа від состава

Очевидно, що для більшості типів гірок і конструкцій вагонів у момент відриву від состава найбільш імовірно місцезнаходження заднього п'ятника вагона буде на протиухилі, а переднього п'ятника – на вертикальній кривій з боку спускної частини або швидкісному елементі, як це показано на рис. 2, а. Отже, у першу чергу розраховують координати точки відриву  $X_0$  відповідно до цього

розташування п'ятників, для чого підставляють у вираз (5) рівняння ухилів із табл. 2, які відповідають траєкторіям руху п'ятників вагона у вказаних зонах гірки. Отже, результатом розв'язання виразу (5) буде визначення координати центра вагона відносно вершини гірки в момент його відриву від состава за формулою

$$x_0 = R_c (2 \sum_n \omega + i_n) \cdot 10^{-3} - l, \text{ якщо } \begin{cases} x_0 \leq l - 2T_n, \\ -l \leq x_0 \leq 2T_c - l. \end{cases} \quad (6)$$

У випадку, коли значення  $x_0$  не задовольняє умови виразу (6), розташування п'ятників не буде відповідати розрахунковій схемі варіанта 1 (рис. 2, а).

Тому необхідно зробити додатковий розрахунок для варіанта 2 (рис. 2, б) за формулою

$$x_0 = \frac{2 \sum_n \omega \cdot 10^{-3} \cdot R_c - l(R_c - R_n)}{R_c + R_n}, \text{ якщо } \begin{cases} l - 2T_n \leq x_0 \leq l, \\ -l \leq x_0 \leq 2T_c - l. \end{cases} \quad (7)$$

Зазначене положення є найбільш характерним для короткобазних вагонів, крутих протиуклилів чи великих значень сумарного питомого опору руху відчепа в момент відриву.

п'ятники розташовують на вертикальній кривій з боку спускної частини. Таке положення можливе при ускладненні відриву вагонів і за високих значень сумарного питомого опору руху відчепа в момент його відриву. Для варіанта 3 координату відриву розраховують за формулою

У випадку, коли значення  $x_0$  не задовольняє і умови виразу (7), виконують подальший розрахунок для варіанта 3 (рис. 2, в). При цьому задній і передній

$$x_0 = R_c \sum_n \omega \cdot 10^{-3}, \text{ якщо } \begin{cases} x_0 \geq l - 2T_c + l, \\ -l \leq x_0 \leq 2T_c - l. \end{cases} \quad (8)$$

Якщо значення  $x_0$  не відповідає умовам виразу (8), потрібно провести додатковий розрахунок для варіанта 4 (рис. 2, г). Таке положення є малоімовірним і можливе лише у випадку ускладнення відриву довгобазних вагонів або

незначного уклону швидкісного елемента, або значної суми питомого опору руху на момент відриву. Для варіанта 4 координата центра вагона в момент відриву визначатиметься за такою формулою:

$$x_0 = R_n (2 \sum_c \omega - i_c) \cdot 10^{-3} + l, \text{ якщо } \begin{cases} x_0 \leq l - 2T_c - l, \\ l - 2T_n \leq x_0 \leq l. \end{cases} \quad (9)$$

Якщо значення  $x_0$  і в цьому випадку не відповідає умовам виразу (9), то розташування п'ятників буде відповідати варіанту 5 (рис. 2, д). Така ситуація є найменш імовірною і можливою лише за значного сумарного питомого опору руху відчепа в момент його відриву від состава, спричиненого

сильним зустрічним вітром або (і) високим опором роз'єднанню взаємодіючих автозчеплень. У цьому випадку розрахунок координати проводиться за формулою

$$x_0 = R_c (2 \sum_c \omega - i_c) \cdot 10^{-3} + l, \text{ якщо } \begin{cases} x_0 \leq l - 2T_c - l, \\ l \leq x_0 < 2T_c + l. \end{cases} \quad (10)$$

Якщо значення  $x_0$ , отримане за допомогою формул (6)–(10), не відповідає умовам для застосування цих виразів, то відрив відчепа від состава буде неможливим через силу надзвичайно великого значення сумарного питомого опору руху.

виникнути лише в разі високих значень сумарного питомого опору руху відчепа, що є малоімовірним.

Слід зауважити, що зазвичай достатньо провести розрахунок для визначення координати точки відриву, використовуючи лише формулу (6), і лише за певних умов може знадобитися додатковий розрахунок за допомогою формули (7). Потреба в подальшому застосуванні формул (8)–(10) може

У роботі було проведено аналіз координат точок відриву, визначених за допомогою розробленого аналітичного методу, і їхнє порівняння з результатами, отриманими за допомогою інших аналітичних методів. Порівняння було проведено для різних типів вагонів, конструктивних виконань горбів гірок і різних значень сумарного питомого опору руху в момент відриву (табл. 3).

Таблиця 3

Порівняння результатів розрахунку координат одновагонних відчепів у момент їхнього відриву від состава, отриманих різними методами

Параметри профіля перевальної	Сумарний питомий опір руху відчепа,	Координата центра вагона (критичний вагон довжиною 14,73 м / напіввагон довжиною 13,92 м) відносно вершини гірки в момент відриву від состава, м	
		Аналітичні методи	Метод

частини гірки	H/кН	Розроблений метод	Метод [3]	Метод [4, 11]	Метод [5]	імітаційного моделювання (крок 0,01 м)
$i_n = 5_0 / \text{ }_{00}$ ; $i_c = 50^0 / \text{ }_{00}$ ; $R_n = 350 \text{ м}$ ; $R_c = 250 \text{ м}$	0,5	-3,50/-2,83	0,13/0,13	-0,66/-0,40	-0,90/-0,58	-3,51/-2,84
	4,5	-1,50/-0,83	1,13/1,13	0,85/0,98	0,72/0,92	-1,51/-0,84
	10	1,25/1,92	2,50/2,50	2,45/2,48	2,47/2,55	1,22/1,85
	15	3,54/3,65	3,75/3,75	3,75/*	3,81/*	3,37/3,62
	25	6,25/6,25	6,25/6,25	*	*	6,247/6,246
	35	10,00/9,33	8,75/8,75	*	*	10,00/9,33
	45	15,00/14,33	11,25/11,25	*	*	15,01/14,34
$i_n = 20_0 / \text{ }_{00}$ ; $i_c = 35^0 / \text{ }_{00}$ ; $R_n = 400 \text{ м}$ ; $R_c = 300 \text{ м}$	0,5	-0,54/-0,45	0,15/0,15	-0,12/-0,07	*	-0,544/-0,449
	4,5	0,83/0,93	1,35/1,35	1,23/1,27	*	0,82/0,92
	10	2,71/2,81	3,00/3,00	2,98/3,00	*	2,71/2,81
	15	4,43/4,50	4,50/4,50	*	*	4,40/4,45
	25	9,50/8,83	7,50/7,50	*	*	9,50/8,83

Примітка. \* – застосування розрахункової формули неможливе через вихід вихідних даних за область допустимих значень.

У результаті використання спрощеної моделі вагона за аналітичних розрахунків, виконаних за методами, описаними в джерелах [3–5], було виявлено, що під час відриву одновагонних відцепів від состава їхнє положення може бути віддалене в бік спускної частини гірки на декілька метрів, що може призвести до неточностей у гіркових розрахунках.

#### Висновки.

Порівняння результатів, отриманих за допомогою аналітичного методу, розробленого в цьому дослідженні, з результатами, отриманими за допомогою методу імітаційного моделювання скочування вагонів з гірки в разі використання шарнірно-осьової моделі [6, 7], показало, що відхилення в координатах точок відриву одновагонних відцепів, отримане цими двома методами, не перевищує 0,01–0,2 м. Це свідчить про високу точність розрахунків за запропонованим методом.

Новий аналітичний метод ілюструє взаємозв'язок між впливовими факторами і забезпечує високу точність розрахунків при значно меншій трудомісткості порівняно з методом імітаційного моделювання. Порівняно з іншими аналітичними методами [3–5] запропонований метод не має обмежень на діапазон можливих вхідних значень параметрів гірки та величини питомого опору руху.

У розробленому методі розглядають лише одновагонні відцепи, оскільки саме вони використані для гіркових розрахунків. Це важливо для визначення

гранично допустимих рівнів технічних і технологічних параметрів гірок, що впливає на результати розпуску состава. Розроблення аналітичних методів визначення положення точок відриву багатовагонних відцепів є окремим завданням, яке може бути вирішено в майбутньому з використанням розроблених у цьому дослідженні підходів.

#### Список використаних джерел

1. Муха Ю. О., Харланович І. В., Шейкин В. П. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях: Транспорт, 1985. 248 с.
2. Бобровський В. І., Козаченко Д. М. Моделювання процесу скочування відцепів з сортувальної гірки. *Зб. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ: ДЕТУТ, 2010. Вип. 16. С. 20–29.
3. Огар О. М. Удосконалення наукового підходу до розрахунку раціональних параметрів поздовжнього профілю спускної частини сортувальних гірок. *Східно-український журнал передових технологій*. Харків, 2009. Вип. 5/3 (41). С. 11–15.
4. Болвановська Т. В. Розрахунок переробної спроможності сортувальних комплексів. *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна*. 2014. Вип. 8. С. 27–34.
5. Огар О. М. Удосконалення підходів до управління процесом скочування відцепів з гірки. *Збірник наукових праць Укр. держ. ун-ту залізнич.*



трансп. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип. 158. Т. 1. С. 18-22.

6. Берестов І. В., Огар О. М., Ахієзер О. Б., Куценко М. Ю. До питання розробки методики комплексного розрахунку оптимальних конструктивних параметрів сортувальних гірок. *Східно-європейський журнал передових технологій*. Харків, 2009. Вип. 2/3 (38). С. 56-59.

7. Муха Ю. О., Муратов А. А. Імітаційне моделювання процесу скочування відчепів при виконанні гіркових розрахунків. *Механізація та автоматизація сортувального процесу на станціях: міжвуз. зб. наук. праць*. Дніпропетровськ: 1990. С. 11-20.

8. Огар О. М. Розрахунок координат осей вагона при скочуванні відчепів з гірки. *Збірник наукових праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ, 2014. Вип. 143. С. 16-21.

9. Оптимізація режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках: монографія / В. І. Бобровський, Д. М. Козаченко, М. П. Божко [та ін.]. Дніпропетровськ: Вид-во Маковецький, 2010. 260 с.

10. Шабельников О. М. Системи автоматизованих сортувальних гірок на базі промислових комп'ютерів. *Автоматика, зв'язок, інформатика*. 2001. № 11. С. 13-16.

**PhD (Tech.) M. Kutsenko, postgraduate student S. Tokarenko, master S. Vydychenko METHOD FOR DETERMINING THE POSITION OF SINGLE RAILCARS AT THE MOMENT OF THEIR DETACHMENT FROM THE TRAIN DURING DOWNHILL DISSOLUTION**

**Abstract.** *The most important parameter of the hump yard is the longitudinal profile, the design of which determines the productivity and safety of the entire sorting complex operation. Of particular significance is the crest section of the hump, where the composition is distributed into cuts and initial spatial intervals are formed between them, which largely define the indicators of the entire sorting process, such as uncoupling speed, technological hump interval, and hump processing capacity.*

*A separate task is to ensure compliance with the parameters of the longitudinal profile of the project humps. Changes in the profile that occur during operation can lead not only to a decrease in hump productivity but also to a reduction in the level of sorting process safety.*

*Therefore, one of the important areas of research is to determine the impact of changes in the longitudinal profile of the crest section on the operational properties of the hump and to determine the feasibility of its correction, including economic criteria.*

*The existing rules and norms for designing sorting devices provide ranges of permissible values for determining the structural parameters of the crest sections of the humps, but methods and recommendations for determining optimal values are not provided. Thus, improving methods for calculating the parameters of the*

*crest section of the hump is a relevant direction for scientific research.*

*The methodological and theoretical basis of the research conducted in the article is the works of domestic and foreign scientists in the field of designing and operating humps. When solving tasks, data collection and processing on the operation of humps, analysis of longitudinal profile shooting materials, and field observations of the sorting process were carried out. The positions of the experimental design theory and reliability theory were used in the work.*

*The article proposes a new analytical method for determining the position of single-car cuts at the moment of their detachment from the composition during hump uncoupling, which ensures calculation accuracy comparable to simulation modeling. The results of the research can be used in adjusting the design standards and maintenance of sorting humps.*

**Keywords:** *sorting hump, hump crest, railcars, detachment point.*

Куценко Максим Юрійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0001-6020-7749. Тел.: +38 (068) 953-37-86. E-mail: [kucenko@kart.edu.ua](mailto:kucenko@kart.edu.ua).

Токаренко Сергій Олександрович, аспірант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: +38 (050) 981-25-21. E-mail: [maksimus84@meta.ua](mailto:maksimus84@meta.ua).

Вівдиченко Сергій Валентинович, магістрант, група 221-ОПУТ-Д22, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: +38 (066) 268-55-57. E-mail: [kucenko@kart.edu.ua](mailto:kucenko@kart.edu.ua).

Kutsenko Maksym, PhD (Tech). Associate Professor, department of railway stations and units, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0001-6020-7749. Tel.: +38 (068) 953-37-86. E-mail: [kucenko@kart.edu.ua](mailto:kucenko@kart.edu.ua).

Tokarenko Serhii, postgraduate student, department of railway stations and units, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38 (050) 981-25-21. E-mail: [maksimus84@meta.ua](mailto:maksimus84@meta.ua).

Vydychenko Serhii, master, Group 221-ОПУТ-Д22, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38 (066) 268-55-57. E-mail: [kucenko@kart.edu.ua](mailto:kucenko@kart.edu.ua).

МОЙСЕЄНКО В. І., д.т.н., професор,

ГАВРИЛОВ М. О., магістр

(Український державний університет залізничного транспорту)

## Удосконалення системи електроживлення об'єктних контролерів мікропроцесорної централізації

У статті розглянуто удосконалення системи електроживлення мікропроцесорних централізації і розроблено рекомендації з удосконалення показників надійності живлення об'єктних контролерів. Наведено порівняльний аналіз показників працездатності навантаження для традиційної системи живлення та застосування АПФ. Визначено переваги та недоліки кожної з систем. Сформульовано критерії, за якими слід розробляти пристрої електропостачання МПЦ.

**Ключові слова:** об'єктний контролер, резервування, автоматичний перемикач фаз (АПФ), система живлення пристроїв залізничної автоматики, мікропроцесорна система централізації (МПЦ).

### Вступ

Функціонування залізничної галузі і, зокрема, систем керування рухом поїздів на сучасному етапі стикається з двома основними проблемами – це практично критичний рівень зношеності основних засобів, який посилюється знищенням наявних систем у районах активних бойових дій. Подальший розвиток вітчизняних систем залізничної автоматики пов'язаний із впровадженням мікропроцесорних систем керування. На думку авторів, цей процес є безальтернативним через фактори, вказані вище, і відсутність в Україні розгорнутого виробництва реле першого класу.

Набутий досвід впровадження мікропроцесорної централізації (МПЦ) вказує на деякі принципові відмінності в організації побудови пристроїв живлення релейних і цифрових систем. Найбільше ця проявляється в децентралізованих МПЦ з територіально розгалуженими об'єктними контролерами. За такої організації системи структура пристроїв електроживлення об'єктних контролерів може суттєво впливати на показники відмовостійкості та функційної безпечності системи в цілому.

Другою, не менш важливою, проблемою є вибір оптимальних щодо функційної безпечності принципів побудови технічних рішень керування напільним обладнанням.

Беручи до уваги вищевказане, на думку авторів, тема публікації є своєчасною та актуальною.

### Аналіз результатів досліджень та публікацій

Наукові публікації з питань побудови та впровадження мікропроцесорних систем централізації поступово переходять від загальнотеоретичних до більш конкретних проблем їхнього еволюційного розвитку. У цьому сенсі має інтерес публікація [1], у якій сформовано основи побудови та функціонування систем МПЦ.

Аналіз наукових досліджень фахівців із розроблення сучасних цифрових систем залізничної автоматики показує зростання інтересу до систем МПЦ із децентралізованою структурою та розташуванням об'єктних контролерів на полі. У цьому плані актуальними є монографія з тематики, пов'язаної з принципами побудови та забезпечення показників функціонування саме об'єктних контролерів. У монографії подано результати робіт із модернізації схеми керування стрілочними електроприводами під керівництвом професора С. Буряковського [2].

Щодо сучасних методів побудови мікропроцесорних систем електроживлення, то можна розглядати публікації М. Хай, М. Бурштинського, Б. Харчишина [3] і М. Штерна [4]. Автори розглядають принципи побудови та схемні рішення сучасних систем електричного живлення цифрових систем керування, передбачаючи в основному традиційні підходи до організації живлення пристроїв СЦБ.

Побудова та сучасні підходи до удосконалення електроживлення мікропроцесорних систем викладені в роботах [5, 6], деякі підходи авторів доцільно використовувати і у вітчизняних розробках із урахуванням особливостей національних регламентуючих документів.

Також важливою проблемою залишається питання захисту мікропроцесорних систем від перенапруг, про що свідчать останні публікації як вітчизняних [7], так і закордонних [8, 9] авторів.

**Метою** статті є удосконалення системи електроживлення мікропроцесорних централізації і розроблення рекомендацій, направлених на удосконалення показників надійності живлення об'єктних контролерів.

**Викладення основного матеріалу**

Існуючі на сьогодні методи живлення мікропроцесорних систем централізації МПЦ базуються на симбіозі уявлень про системи релейної та мікропроцесорної централізації. Частково це пояснюється виконанням у багатьох вітчизняних МПЦ напільного обладнання від релейних систем.

Це схеми стрілок, рейкових кіл, світлофорів та іншого обладнання релейного типу. У свою чергу воно потребує відповідних пристроїв, також не слід забувати про необхідність панелі введення, пристроїв захисту, розподілу енергії тощо.

Тобто фактично разом із цими приладами до систем живлення МПЦ переходить і стара релейна ідеологія її побудови.

Набутий досвід впровадження сучасних систем централізації на залізничному транспорті України, у метрополітені та на підприємствах промисловості вказує на все більше розповсюдження децентралізованих систем.

Вони передбачають широке застосування об'єктних контролерів для керування напільним обладнанням. Очевидно, для того щоб гарантувати їхнє стійке функціонування, необхідно забезпечити систему електроживлення з достатньо високими показниками відмовостійкості.

Спочатку проаналізуємо відомі підходи та методи забезпечення надійності пристроїв живлення релейних систем централізації. В її основі лежить принцип резервування, тобто наявність основного та резервного живлення (основний і резервний фідер).

Система автоматики за допомогою реле напруги контролює напругу кожної фази і в разі її

зникнення або зменшення нижче допустимого значення дає команду на перемикання до іншого фідера.

Фактично це означає, що при виході з ладу однієї фази фідер вважають не придатним до роботи.

На думку авторів, цей підхід не можна вважати раціональним із таких причин:

- при виході з ладу однієї фази на двох залишається напруга;

- переважна більшість споживачів електричної енергії МПЦ є однофазними.

Крім того, сучасна техніка і технології дають змогу синтезувати трифазну напругу без особливих проблем.

Головною причиною існування наведеного вище алгоритму перемикання фідерів є використання специфічної конструкції випрямляча, який потребує саме існування двофазної напруги.

Вирішити ці протиріччя можна шляхом застосування в системі живлення станційних систем централізації приладу – автоматичного перемикача (АПФ). АПФ традиційно застосовують для живлення відповідальних компонентів системи керування.

Він забезпечує автоматичний пошук робочої фази і перехід за таких значень напруги:

- верхній рівень 210 – 270 В;

- нижній рівень 120 – 200 В.

Час перемикання, як правило, не перевищує 0,02 с.

У табл. 1 наведено порівняння показників працездатності навантаження для традиційної системи живлення та з застосуванням АПФ.

Таблиця 1

Стани фідерів живлення систем електричної централізації

Номер з/п	Фаза фідера			Можливість живлення навантаження	
	А	Б	С	Без АПФ	З АПФ
1	+	+	+	є	є
2	-	+	+	нема	є
3	+	-	+	нема	є
4	+	+	-	нема	є
5	-	-	+	нема	є
6	+	-	-	нема	є
7	-	+	-	нема	є

Введено позначення подій, які відбуваються під час роботи фідера:

- ХА-подія, що характеризує появу нештатного стану у фазі А;

- ХБ-подія, що характеризує появу нештатного стану у фазі Б;

- ХС-подія, що характеризує появу нештатного стану у фазі С.

Функцію традиційної системи електроживлення станційних пристроїв можна подати у вигляді елементарної диз'юнкції рангу m

$$Y_1 = \bigcup_{K=1}^m X_K$$

Аналогічно для системи живлення з АПФ маємо елементарну кон'юнкцію рангу m

$$Y_1 = \bigcap_{K=1}^m X_K$$

Надалі будемо вважати події  $X_i$  незалежними в сукупності, таке припущення може існувати, тому що метою аналізу є тільки порівняння двох способів живлення навантажень, а не визначення чисельних характеристик подій.

Тоді ймовірність неуспішного та успішного функціонування пристроїв навантаження в частині їхнього забезпечення електроенергією матиме вигляд функцій, наведених нижче.

Для системи без АПФ з  $Y_1$  ймовірність неуспішного або успішного результату функціонування

$$Q_1 = P\{\bigcup_{K=1}^m X_K = 1\};$$

$$P_1 = P\{\bigcap_{K=1}^m X_K = 0\}.$$

Аналогічно для функції алгебри логіки (2) системи з АПФ

$$Q_2 = P\{\bigcap_{K=1}^m X_K = 1\};$$

$$P_2 = P\{\bigcup_{K=1}^m X_K = 0\},$$

де  $Q_1$ ,  $Q_2$  та  $P_1$ ,  $P_2$  – відповідно ймовірності неуспішної та успішної роботи системи електропостачання.

Зважаючи на проблеми в частині доступності статистичних даних про відмови пристроїв сигналізації та блокування, автори скористалися методом експертного опитування фахівців господарства сигналізації та зв'язку Південно-Західної залізниці. Результати опитування експертів наведені в табл. 2, де показані відмови пристроїв електропостачання в системах залізничної автоматики за період 2020-2023 років.

Таблиця 2

Відмови пристроїв електропостачання

Причина пошкодження	2020	2021	2022	2023
Аварійне вимикання першого або другого	3	5	29	11

фідера				
Зниження напруги у фазах робочого фідера	4	3	5 (1)	8
Порушення фазування живлення фаз	1	1	1	1
Вихід із ладу розрядників, вирівнювачів і пристроїв захисту	4	1	1 (2)	6
Пошкодження кабельної або контактної мережі	-	-	2	4
Разом	12	10	38	30

Очевидно, що різке збільшення відмов за пристроями електропостачання обумовлено саме ворожими обстрілами, а не звичайним перебігом подій. Тому до уваги брали тільки відмови до війни, тобто 2020-2021 років. Також автори виходять із загальноприйнятої гіпотези про незалежність подій у сукупності і припускають експоненціальний закон розподілу зібраних даних. Більш того, до самих результатів нема вимог щодо точності, оскільки вони необхідні тільки для порівняльного аналізу. Відповідно порівняльний аналіз статистичних даних показує, що ймовірність відмови живлення за годину для традиційної системи приблизно 0,003, а при застосування АПФ цей показник дорівнює приблизно 0,001.

Але ці дані є не досить точними та вказують скоріше на потенційні можливості<sup>(4)</sup> нової системи. Фактично в реальній ситуації все ускладнено як функцією навантаження, так і його ступенем критичності, або значущості для успішного функціонування системи централізації в цілому.

Наприклад, схеми перевірки логіки централізації, контрольні кола схем стрілок і світлофорів живляться від джерела постійного струму і їхнє функціонування є критичним для безпечної роботи системи в цілому. Навіть за появи окремого пошкодження і переходу МПЦ в захисний стан доцільно зберегти повноцінне функціонування контрольних кіл датчиків і виконавчих пристроїв. У той же час втрати напруги в робочому колі стрілок призводять до захисної відмови.

Отже, можна сформулювати деякі критерії, за якими слід розробляти пристрої електропостачання МПЦ:

1. Система електроживлення МПЦ (її організація та способи забезпечення показників функціонування має бути чітко прив'язана до функцій, які реалізує система).

2. Вибір способу забезпечення стійкості пристроїв електроживлення безпосередньо залежить

від стратегії функційної безпеки, закладеної в механізмі реалізації конкретної критичної функції.

У розглянутому випадку для системи МПЦ з об'єктними контролерами живлення робочих кіл стрілок із двигуном асинхронного типу доцільно підключити напряму до фаз фідера. А для кіл живлення контрольних кіл, які є більш критичними, доцільно використовувати систему з АПФ. Це пояснюється необхідністю мати стійкий контроль положення стрілок за появи інших пошкоджень, які не впливають безпосередньо на функціонування контрольного кола.

Тобто робоче коло не функціонує, але стрілка має контроль відповідного положення.

В ідеалі для кожної відповідальної функції МПЦ має бути своя організація безперервного подавання живлення. Але такий підхід потребує значних капітальних витрат, які навряд будуть виправдані. Та застосовуючи сучасні підходи до живлення електричних кіл, можна і для розглянутої ситуації запропонувати заходи для підвищення відмовостійкості схем електроживлення.

Так, сучасні схеми робочого кола стрілок змінного струму використовують електронні комутатори фаз із контролем працездатності, наприклад, схема керування стрілочним електроприводом МПЦ Ebilock (рис. 1) має безпечний переривач і безконтактний комутатор фаз.

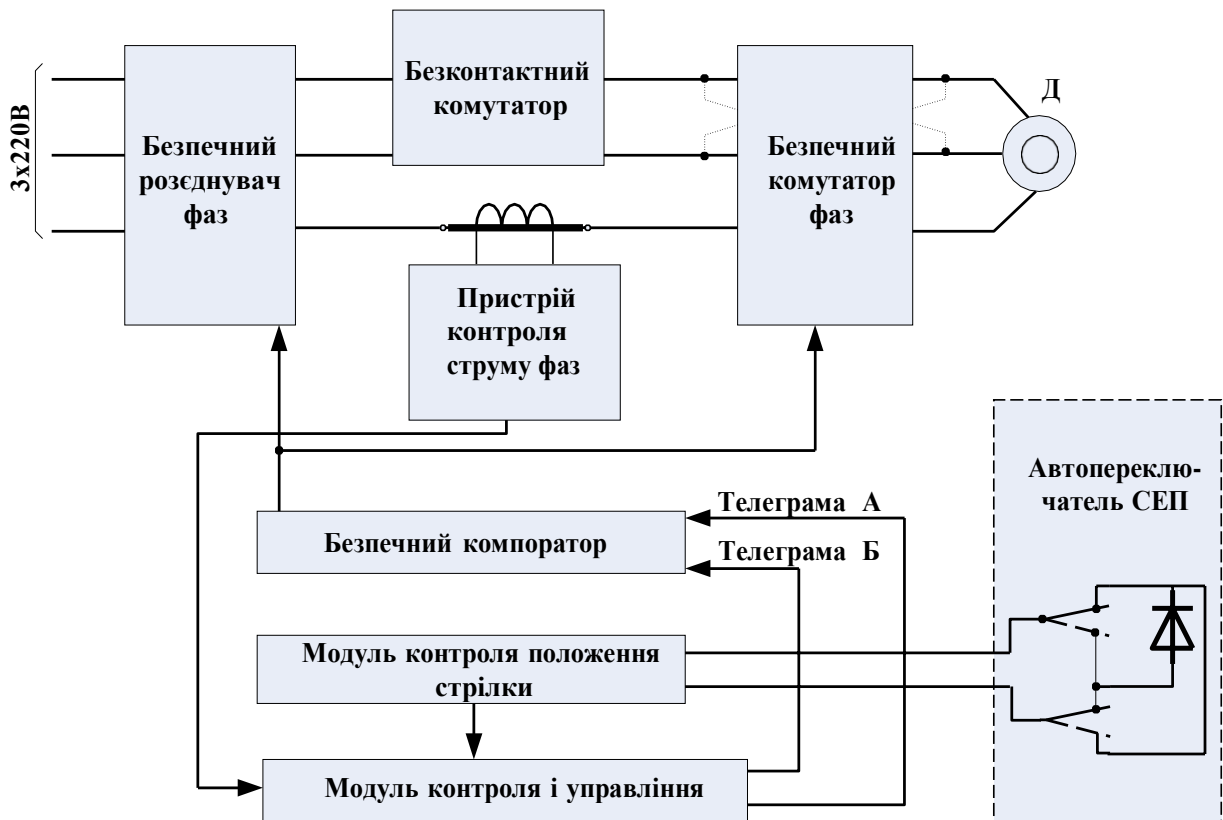


Рис. 1. Структурна схема комутації робочого кола стрілочного електропривода МПЦ Ebilock

Як видно з наведеного на рис. 1 фрагмента структурної схеми, вона виконує функції безпечної комутації фаз А, В, С, підключених до неї. Очевидно, що при такому підході необхідно мати два джерела живлення: одне для електродвигуна, інше для електричних схем, що керують процесом комутації робочого кола.

Інший підхід базується на застосуванні методів перетворення напруги змінного струму в постійний, а далі перетворення останнього в трифазну напругу змінного струму (рис. 2).

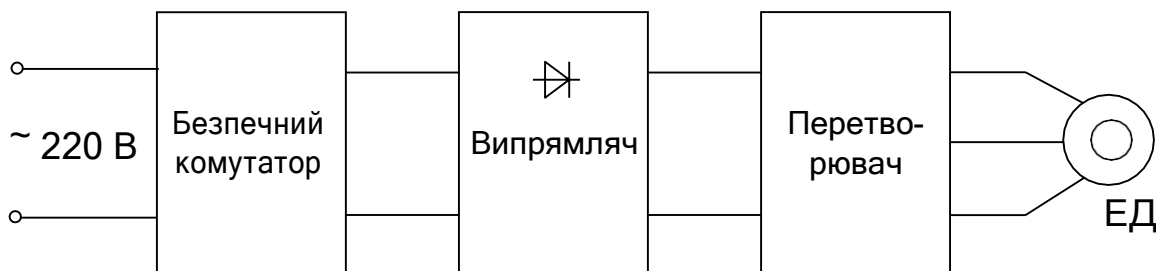


Рис. 2. Приклад спрощеної структурної схеми робочого кола стрілки з перетворенням напруги

Наведена на рис. 2 структурна схема не претендує на детальність, вона відображує сутність процесу перетворення робочого струму. Схема забезпечує перетворення напруги змінного струму в постійний, а потім змінного трифазного, від якого і живляться обмотки електродвигуна.

За такого підходу для функціонування об'єктного контролера і його об'єктів керування та контролю достатньо напруги одного виду.

Розглянемо побудову мережі живлення об'єктних контролерів для МПЦ децентралізованого типу: апаратура об'єктних контролерів розміщується на полі в безпосередній близькості до напільного обладнання системи централізації.

Для забезпечення відмовостійкості мережі живлення пропонується застосувати кільцеву схему підключення навантажень.

Такий підхід дає змогу:

- підвищити надійність системи електроживлення, зокрема її відмовостійкість;
- зменшити величину струму в жилі кабелю за рахунок її дублювання за кільцевої схеми.

За структурною схемою мережі живлення об'єктних контролерів (ОК) на рис. 3, система має два джерела живлення змінного струму. Основне джерело знаходиться на посту централізації і має основний і резервний фідери живлення. Резервне джерело живлення знаходиться біля вхідного світлофора. Напругу змінного струму подають через трансформатор типу ОМ від високовольтно-сигнальної лінії автоблокування.

На відміну від основного живлення, резервне має обмеження за потужністю, яку має трансформатор ОМ.

Як видно з наведеної структурної схеми, живильна магістраль має кільцевий вигляд і прокладена від поста централізації до вхідного світлофора і далі у зворотному напрямку. Для

підвищення надійності пряму та зворотну магістралі прокладають по узбіччю колійного розвитку з обох боків горловини станції.

Живлення заводять у розгалужувальні муфти (РМ), з яких і відбувається живлення об'єктних контролерів (ОК). На кожний ОК подають живлення змінного струму 220 В (однофазне або трифазне) від поста централізації та високовольтно-сигнальної лінії автоблокування. З поста централізації може поступати однофазна або трифазна напруга, а від релейної шафи вхідного світлофора тільки однофазна напруга змінного струму 220 В (клема 2 вхідного пристрою).

Живлення об'єктного контролера забезпечено напругою з поста централізації та від релейної шафи вхідного світлофора.

Живлення від поста централізації є основним, воно забезпечує реалізацію всіх функцій ОК. Натомість живлення від ВЛ СЦБ є резервним і забезпечує реалізацію тільки основних функцій, що пов'язано з контролем.

Для живлення ОК використовують блок живлення, підключений до ліній через автоматичний перемикач фаз. Зважаючи на зазначене вище, АПФ об'єктних контролерів мають пріоритет за вхідною напругою від поста централізації, яка є основною. Резервне живлення підключено тільки за відсутності основного.

Пошкодження силового кабелю не призводить до перерви у подаванні живлення, оскільки в цьому випадку його подають на ОК через іншу гілку. За повної втрати постового живлення ОК переходять на резервне живлення від апаратури релейної шафи поста централізації. При цьому стрілку не переводять. На світлофорах ввімкнені заборонні показання, ОК реалізують тільки функції, пов'язані з контролем.



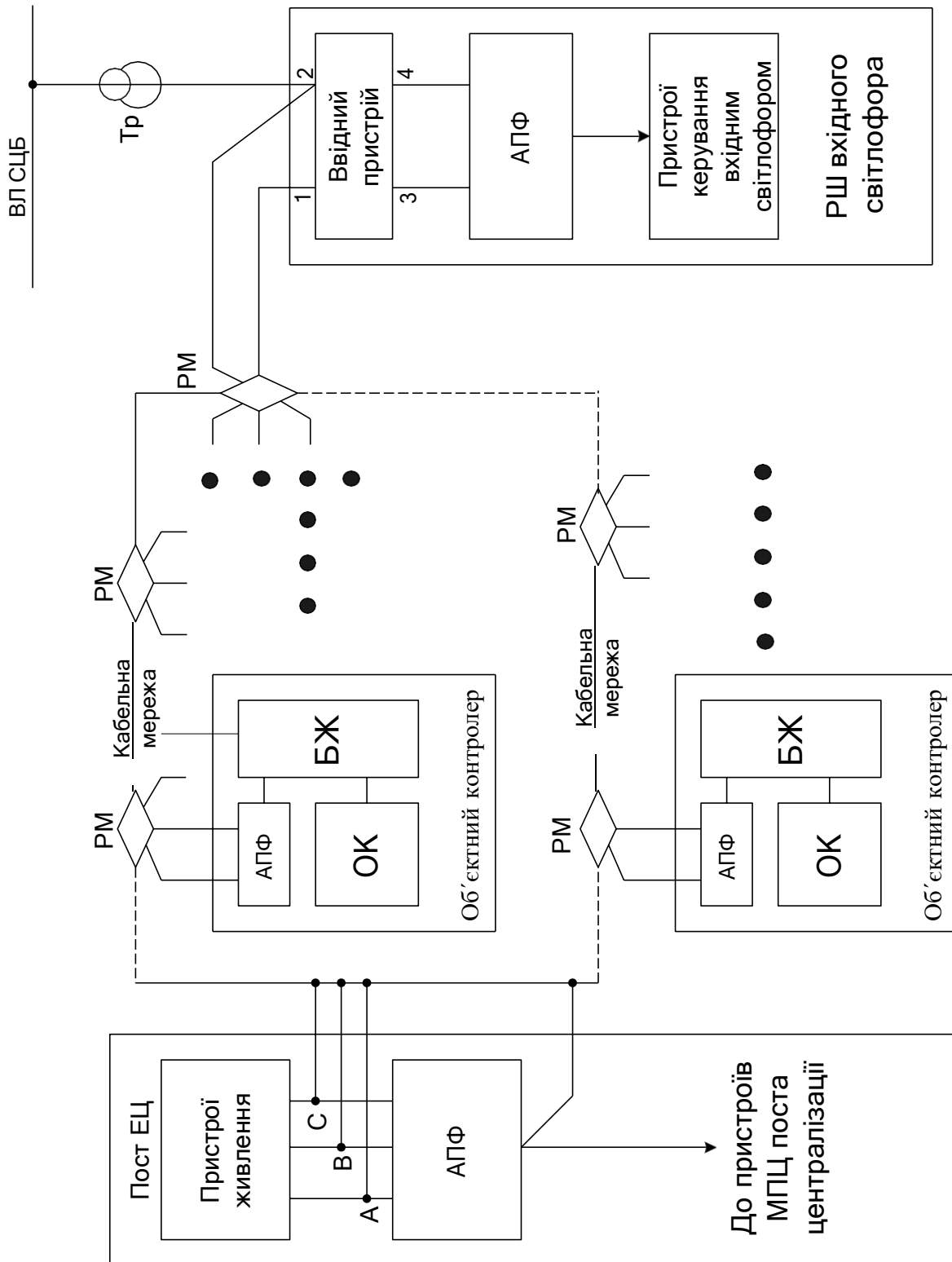


Рисунок 3 - Структурна схема живлення об'єктних контролерів МПСЦ

### Висновки

Розглянуто питання удосконалення системи живлення територіально розгалужених об'єктних контролерів систем мікропроцесорної централізації.

Запропоновано застосування принципу ранжування кіл живлення залежно від переліку функцій керування та контролю. На відміну від

релейних систем, застосована кільцева схема живильної магістралі має кращі енергетичні характеристики і показники відмовостійкості.

Застосування в системі живлення автоматичних перемикачів фаз дало змогу покращити показники відмовостійкості у випадках пошкодження окремих фаз. У подальшому необхідно доопрацювати схемні рішення автоматичного перемикача фаз з урахуванням фактора пріоритетності.

## Список використаних джерел

1. [Moiseenko V.](#), [Kameniev O.](#), [Butenko V.](#), [Gaievskiy V.](#) Determination model of the apparatus state for railway automatics with restrictive statistical data. *ICTE in Transportation and Logistics 2018 (ICTE 2018)*. [Procedia Computer Science](#). 2019. [Vol. 149](#). P. 185-194. Open access – [doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.122](https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.122) (видання індексується в базі Scopus).
2. Електроприводи стрілочних переводів: монографія / С. Г. Буряковський, В. В. Смірнов, Ар. С. Маслій та ін. Київ: ДП «ІНФОТЕХ», 2023. 178 с.
3. Хай М. В., Бурштинський М. В., Харчишин Б. М. Електричні апарати. Низковольтна апаратура розподілу, керування та захисту. Загальний курс. Львів: Львівська політехніка, 2021. 480 с.
4. Штерн М. І. Керування силовими навантаженнями, освітленням та не тільки. *Наука і техніка*, 2020.
5. Heydari-doostabad, Hamed (January 2019). A new approach to design an observer for load current of UPS based on Fourier series theory in model predictive control system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 104 (1): 898–909.
6. Loeffler Chris; Spears, Ed (2022). UPS basics. *White paper – Markets Served – Data centers*. 8 p.
7. Moiseenko V., Gaievskiy V., Mikiieva H. Assessment of the Safety of using computer systems of railway purposes, UA-DIGITAL 2023, UK team of Science For Ukraine and the University of Liverpool with the support of EPSRC's Global Challengers Research Fund (GCRF), online twinning conference, 27 – 30 March 2023.
8. Trevor Linsley. *Electrical installation work: Level 2*. Routledge, 2019. 331 p.
9. Trevor Linsley. *Electrical installation work: Level 3*. Routledge, 2020. 313 p.

**Moiseenko V. I., Gavrilo M. O. Improvement of the power supply system of object controllers of microprocessor centralization.**

**Abstract.** The article discusses the methods of improving the power supply system of microprocessor centralizations and developed recommendations for improving the reliability indicators of power supply of object controllers. A comparative analysis of load efficiency indicators for a traditional power supply system and the use of ACE is given. The advantages and disadvantages of each of the systems are determined. Formulated criteria according to which MOC power supply devices should be developed.

**Keywords:** object controller, automatic phase switch (APS).

**Мойсеєнко Валентин Іванович**, д.т.н., професор, завідувач кафедри СКС, Український державний

університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [mvi53@ukr.net](mailto:mvi53@ukr.net). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1377-8703>.

**Гаврилов Микола Олександрович**, магістр, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [nikgawr2020@gmail.com](mailto:nikgawr2020@gmail.com). ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-9715-6877>.

**Valentin Moiseenko**, doctor of tech. sciences, chief of chair Specialized Computer Systems, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [mvi53@ukr.net](mailto:mvi53@ukr.net). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1377-8703>.

**Mykola Havrylov**, Master, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [nikgawr2020@gmail.com](mailto:nikgawr2020@gmail.com). ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-9715-6877>.

ЄЛІЗАРЕНКО А. О., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)  
ЄЛІЗАРЕНКО І.О., провідний інженер ХФ УДЦР

## Регулювання користуванням радіочастотним спектром в системах залізничного технологічного радіозв'язку

*В статті розглянуті зміни в законодавстві України в зв'язку з набуттям чинності Закону України «Про електронні комунікації». Закон регулює взаємовідносини між постачальниками телекомунікаційних послуг та споживачами і стосується всіх користувачів в сфері регулювання користування радіочастотним спектром. Окремим законом регламентується діяльність Національної комісії з електронних комунікацій, яка здійснює державне регулювання та державний нагляд в сфері електронних комунікацій.*

*Технологічний радіозв'язок на залізницях України є типовим представником сухопутного рухомого радіозв'язку. Для залізничного радіозв'язку актуальність питань пов'язана з необхідністю модернізації радіомереж, які в теперішній час працюють в аналоговому режимі в метровому діапазоні радіохвиль. В зв'язку з цим важливим є запровадження сучасних радіотехнологій з освоєнням нових діапазонів радіочастот.*

*В роботі розглянуті основні напрямки модернізації систем залізничного технологічного радіозв'язку та процедури планування, виділення, розподілу та користування радіочастотним спектром у світлі нового законодавства.*

*Ключові слова: залізничний технологічний радіозв'язок, використання радіочастотного спектру, Закон України «Про електронні комунікації», відомче регулювання систем радіозв'язку.*

### Вступ

В Україні державне регулювання та управління у сфері користування радіочастотним спектром здійснюється на основі закону Закону України «Про електронні комунікації», який набув чинності з 01.01.2022 року [1]. В зв'язку з цим Закони України «Про радіочастотний ресурс України» і «Про телекомунікації» втратили чинність.

Порядок регулювання у сфері використання радіочастотним спектром (РЧС) в Україні здійснюється шляхом уведення та застосування спеціальних дозвільних процедур на базі положень Закону України «Про електронні комунікації».

Закон насамперед регулює відносини у сфері надання телекомунікаційних послуг та не поширюється на користувачів, засоби яких не мають підключення до мереж загального користування, окрім питань з регулювання користування радіочастотним ресурсом. Стосовно всіх користувачів регулюються процедури планування, виділення та розподілу радіочастотного ресурсу.

Основним регуляторним органом є Національна комісія з електронних комунікацій (НКЕК), яка здійснює державне регулювання та державний нагляд в сфері електронних комунікацій. До її складу входить Український державний центр радіочастот (УДЦР), який здійснює присвоєння радіочастот, веде реєстр радіоелектронних засобів, забезпечує процедури контролю, моніторингу та електромагнітної сумісності мереж [2, 3].

Присвоєння радіочастот для радіообладнання загальних користувачів здійснюється УДЦР на підставі відповідності Плану розподілу і користування РЧС в Україні і розрахунку електромагнітної сумісності [4,5].

Для розрахунку електромагнітної сумісності радіообладнання загальних користувачів застосовуються рекомендації ITU-R [6].

Системи залізничного технологічного радіозв'язку є типовими представниками сухопутної рухомої служби. На залізниці знаходиться в експлуатації розгалужена мережа систем технологічного радіозв'язку, яка налічує понад 40 тис. радіостанцій різного призначення [7].

Актуальність розгляду цих питань визначається змінами в законодавчому регулюванні та тим, що модернізація та розвиток систем залізничного технологічного радіозв'язку пов'язана з освоєнням нових діапазонів радіочастот та застосуванням сучасних радіотехнологій.

### Постановка проблеми

Аналіз планування, виділення, розподілу та користування радіочастотним ресурсом в системах залізничного технологічного радіозв'язку в сучасних умовах.

### Основні результати

Радіочастотний спектр надбання людства і має використовуватись всіма країнами, а в кожній країні різними категоріями користувачів. В зв'язку з цим використання РЧР підлягає міжнародному та державному регулюванню.

Питаннями регулювання використанням спектра, розвитку мереж та служб електрозв'язку, у всесвітньому масштабі займається Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ) International Telecommunication Union (ITU).

Основним документом, що визначає порядок управління використанням РЧС на міжнародному рівні, є Регламент радіозв'язку МСЕ, який містить Міжнародну таблицю розподілу частот між

службами. В регламенті налічується більше чотирьох десятків служб, наприклад: фіксована, повітряна, сухопутна рухома служба та ін.[8].

Основними засадами державного регулювання в сфері радіочастотного спектра є зближення розподілу смуг радіочастот в Україні з міжнародними нормами [1].

Планування використання РЧС України здійснюється за багаторівневою схемою. Верхнім рівнем планування використання РЧС є розподіл смуг радіочастот між радіослужбами.

На першому етапі процедури регулювання використання РЧС, на підставі застосування міжнародної таблиці розподілу частот (МТРЧ) розробляється План розподілу і користування радіочастотним спектром в Україні, який затверджено постановою КМУ від 19.12. 2023 року № 1340. Національна таблиця розподілу смуг радіочастот України є складовою Плану розподілу і користування радіочастотним спектром [4]. В Плані [4] встановлено перелік радіослужб, які використовуються в Україні. Налічується 35 радіослужб. Виходячи з цільового призначення важливу роль відіграє сухопутна рухома служба.

Виділення та присвоєння номіналів радіочастот конкретним користувачам здійснюється в межах відповідної радіослужби. Умовно процедури можна розділити на дозвільні, обмежувальні та процедури технічного контролю радіовипромінювання.

На рисунку 1 приведена послідовність та зміст окремих етапів порядку регулювання користування радіочастотним спектром України.

Замовник подає заявку до УДЦР для виконання Розрахунку електромагнітної сумісності між плануємим та чинним на даний момент радіообладнанням. Відповідно до [5] в заявці приводиться характеристика радіотехнологій, діапазон використовуємих частот та потужність передавачів, тип радіообладнання, параметри антенно-фідерних трактів, географічні координати. При надходженні заявки на розрахунок ЕМС вноситься інформація до Автоматизованої інформаційної системи управління радіочастотним спектром АІ СУРС [9].

УДЦР уточнює відповідність заявлених номіналів частот і параметрів випромінювання чинному частотному плану, відповідність використовуємого радіообладнання Реєстру радіообладнання та випромінювальних пристроїв [3,10], з'ясування обмежень на використання окремих смуг радіочастот та місця розташування.

УДЦР надає Розрахунок ЕМС. В разі необхідності проводиться первинний технічний контроль або натурні випробування оцінки ЕМС на відповідність розрахунку та тестові вклучення.

В процесі розгляду заявки заявлений радіозасіб вважається, при позитивному рішенні, запланованим, а потім задіяним. Результати вносяться в Електронний реєстр присвоєнь радіочастот [9].

В Україні, для залізничного транспорту виділені смуги частот в метровому діапазоні 151,725 – 154,000 МГц та 155,000 – 156,000 МГц для мереж радіозв'язку АТ «Укрзалізниця».

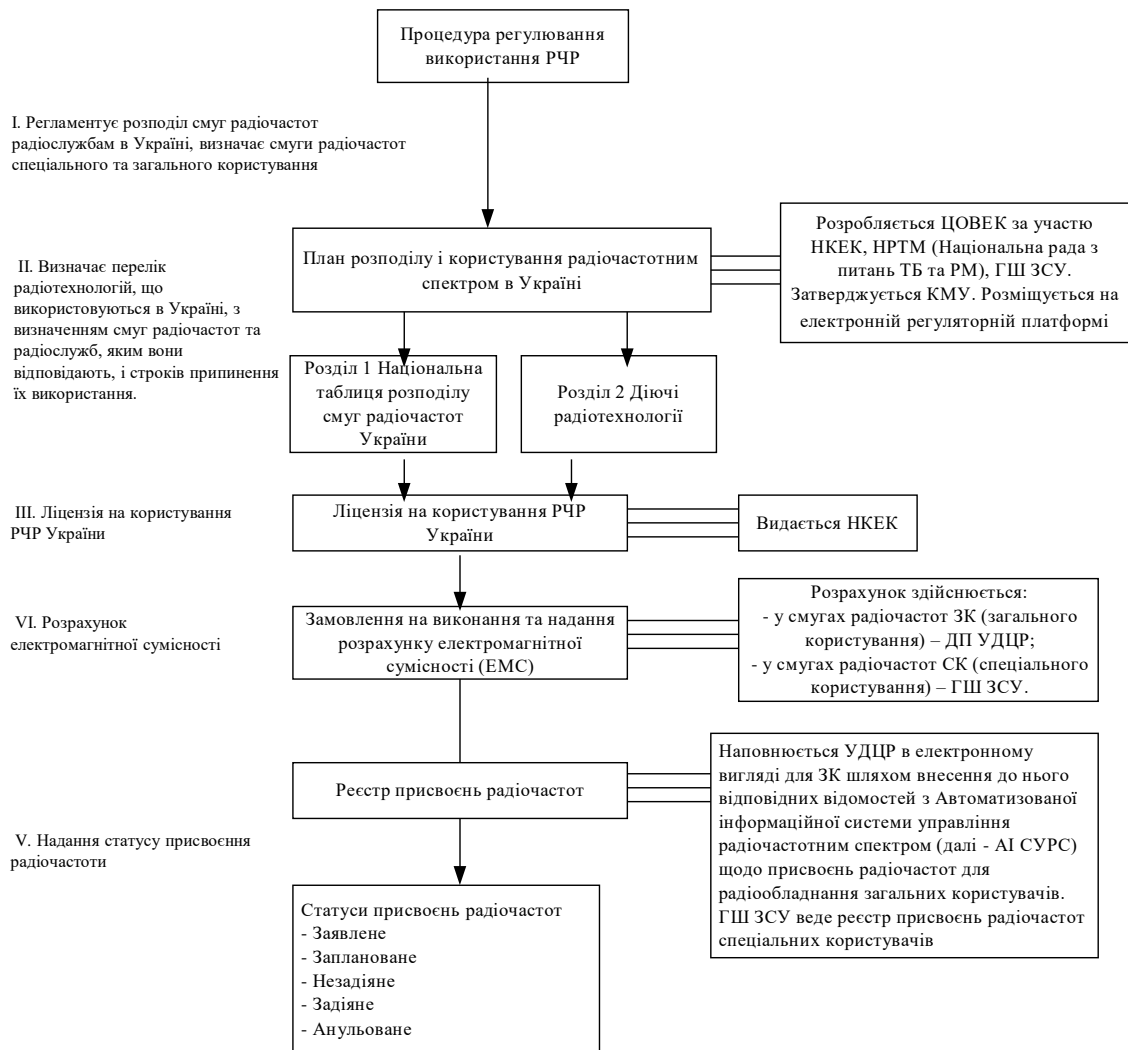


Рисунок 1 – Порядок планування та регулювання користування радіочастотним спектром України

Технологічний радіозв'язок на залізницях України є типовим представником сухопутного рухомого радіозв'язку. Для залізничного радіозв'язку актуальність питань пов'язана з необхідністю модернізації і розвитку радіомереж, які в теперішній час працюють на закріплених каналах в метровому діапазоні радіохвиль. В зв'язку з цим важливим є освоєння нових діапазонів радіочастот та запровадження сучасних радіотехнологій.

Для рухомої наземної служби в Плані виділені певні смуги частот на різних ділянках радіочастотного спектру при використанні різних радіотехнологій [4].

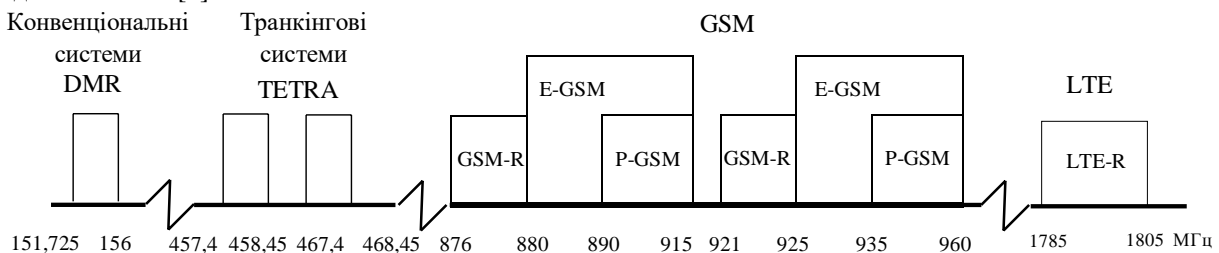


Рисунок 2 – Смуги частот рухомого радіозв'язку

Для систем LTE використовують смуги радіочастот в діапазонах 1800 МГц та 2600 МГц. Для впровадження систем LTE-R в технологічних мережах залізничного радіозв'язку доцільно виділити смугу 1785 – 1805 МГц.

Перспективними є застосування цифрових методів та систем адаптованих для умов залізничного транспорту.

Системи радіозв'язку за стандартом DMR (Digital Mobile Radio) дають можливість поетапного впровадження нових радіозасобів. Радіозасоби стандарту DMR розраховані на роботу в діапазоні метрових радіохвиль 160 МГц та дециметровому діапазоні 450 МГц. Таким чином, можлива організація мереж технологічного радіозв'язку у виділених для залізничного транспорту смугах частот [11].

Транкінгові системи передбачають об'єднання деякої кількості каналів в єдину систему, які можуть використовуватись всіма абонентами спільно за різними алгоритмами. Це дозволяє забезпечити більш ефективне використання радіочастотного ресурсу [12].

Основними особливостями стільникових систем є частотне-територіальне планування на основі малих зон обслуговування і повторного використання робочих частот. Системи GSM-R широко впроваджені на залізницях Європи.

Система GSM-R реалізується з метою впровадження EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network), це дозволяє забезпечити сумісність транс'європейської мережі залізничного радіозв'язку. GSM-R дозволяє відмовитися від кількох паралельних мереж радіозв'язку. Забезпечити високу надійність радіозв'язку на ділянках швидкісного руху. Можливість реалізації послуг на єдиній платформі. При використанні GSM-R у Європейській системі управління залізничним рухом ERTMS (European Railway Traffic Management System) підвищується пропускна спроможність ліній [13].

Відповідно до чинного частотного плану технологічного радіозв'язку залізничного транспорту, встановлюється розподіл каналів в метровому діапазоні радіохвиль для організації комплексу мереж станційного, поїзного та ремонтно-оперативного радіозв'язку [7]. В межах виділеної смуги частот 151,725 – 154,000 МГц (92 канала з частотним рознесенням 25 кГц) і 155,000 – 156,000 МГц (41 канал) розподіл здійснюється на основі відомчих нормативних документів.

На рисунку 3 приведена існуюча сітка частот радіоканалів в мережах технологічного радіозв'язку. Показані умовні номери радіоканалів (від 1 до 133 каналу) і їхня частота з кроком сітки частот 25 кГц.

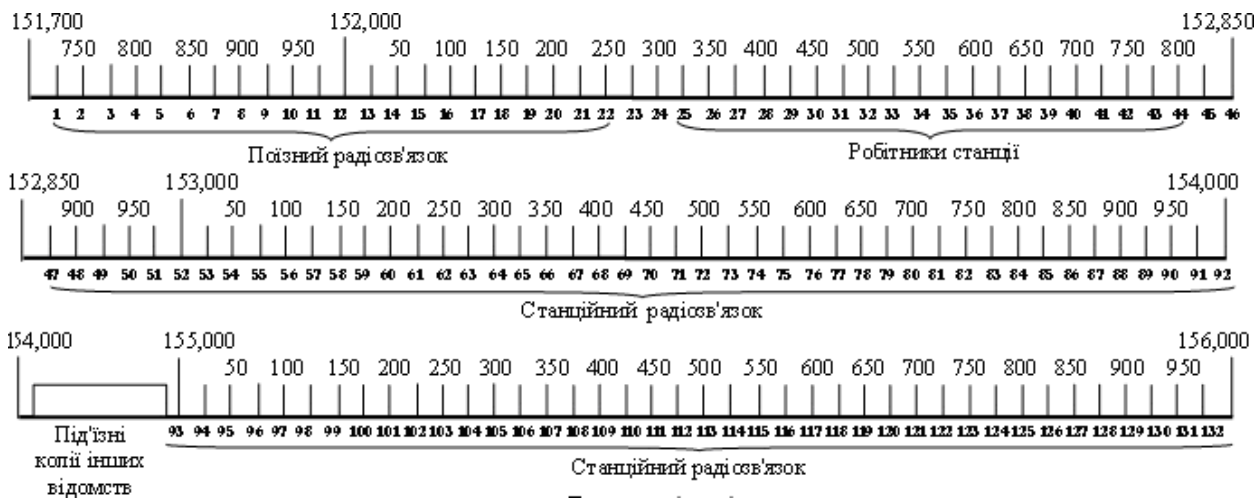


Рисунок 3 – Частотний план технологічного радіозв'язку

Існуючі аналогові мережі технологічного радіозв'язку значною мірою забезпечують виконання основних вимог Правил технічної експлуатації і будуть функціонувати певний період часу при збереженні існуючих частотних присвоєнь. В основному, чинні частотні присвоєння відповідають рекомендаціям існуючого частотного плану. Це дозволило впорядкувати використання радіочастот різними службами, виключити однакові частотні присвоєння абонентам різних категорій, на різних станціях і ділянках, та забезпечити уніфікацію використання частот для певних категорій абонентів на всіх ділянках регіональних філій АТ «Укрзалізниця».

В зв'язку з прийняттям рішення Національної комісії з регулювання зв'язку та інформатизації [14],

необхідно забезпечити перехід на використання радіозасобів з сіткою частот 12,5 кГц в мережах технологічного радіозв'язку. Це дозволить суттєво підвищення ефективність використання радіочастотного спектру.

Першочерговою задачею при впровадженні нових радіозасобів є розробка нового частотного плану технологічного радіозв'язку з кроком сітки частот 12,5 кГц. План визначає розподіл смуг частот без прив'язки до конкретних станцій та перегонів.

В дозвільних документах використовуються номінали радіочастот, але на наш погляд у відомчих документах зручніше використовувати умовні номери.

Пропонується для плану з новою сіткою частот використовувати тризначну нумерацію частот



від 201 (частота 151,725 МГц) до 464 (частота 156,000 МГц), що зручніше чим використовувати значення несвільної частоти. Це дасть можливість використовувати існуючі нормативні документи з розподілу смуг частот в мережах технологічного радіозв'язку [15].

При виборі номіналів робочих частот для стаціонарних радіозасобів (базових станцій) повинні бути виключені набори частот, що викликають інтермодуляційні впливи виду  $2f_1 - f_2 = f_{роб}$ . При

Таблиця 1 – Групи інтермодуляційно сумісних частот, рекомендованих для організації мереж станційного технологічного радіозв'язку маневрового та гіркового

Призначення частот	Номер групи каналів								
	1 група			2 група			3 група		
	Частота, МГц	Номер каналу, 25кГц	Номер каналу, 12,5кГц	Частота, МГц	Номер каналу, 25кГц	Номер каналу, 12,5кГц	Частота, МГц	Номер каналу, 25кГц	Номер каналу, 12,5кГц
Мережі станційного технологічного радіозв'язку маневрового та гіркового	153,375	67	333	153,450	70	339	153,050	54	307
	153,400	68	335	153,500	72	343	153,025	53	305
	153,475	71	341	153,600	76	351	153,825	85	369
	153,625	77	353	153,650	78	355	153,875	87	373
	153,675	79	357	153,725	81	361	153,950	90	379
	153,800	84	367	153,775	83	365	154,000	92	383

Кожна група в таблиці 1 містить набір інтермодуляційно сумісних частот та відповідність номерів каналів існуючої та нової сітки частот. Це дає можливість використовувати всі чинні нормативні документи з розподілу частот.

Після обґрунтованого вибору однієї з радіотехнології, яка буде впроваджуватись на залізницях, у відповідності з чинним законодавством необхідно пройти процедури виділення та присвоєння радіочастот, які розглянуті вище.

#### Висновки

1. Розглянуті зміни в нормативно-правовому регулюванні користування радіочастотним спектром, в зв'язку з набуттям чинності нових Законів України.
2. Проведено аналіз основних дозвільних, обмежувальних та контрольних процедур в сфері користування радіочастотним спектром України.
3. Проведено аналіз впровадження сучасних систем технологічного радіозв'язку та їх частотного забезпечення.
4. Підготовлені пропозиції з розробки нового частотного плану.

#### Список використаних джерел

1. Закон України «Про електронні комунікації» від 16.12.2020 р. № 1089-IX із змінами та доповненнями. Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-20#Text>
2. Закон України «Про національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку» від 16.12.2021 р. № 1971-IX із змінами та доповненнями. Режим

високої інтенсивності використання радіоканалів і високої щільності установки радіозасобів, що особливо важливо на великих станціях і в вузлах, при частотному плануванні необхідно виключення частот, що викликають впливи виду  $f_1 + f_2 - f_3 = f_{роб}$ .

У таблиці 1 показано відповідність номерів каналів мереж маневрового і гіркового радіозв'язку з існуючою і новою нумерацією каналів.

доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1971-20#Text>

3. Слободянюк П.В. Довідник з радіомоніторингу/П.В. Слободянюк, В.Г. Благодарний, В.С. Ступак – Ніжин.: Тов «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2008. – 588 с.

4. План розподілу і користування радіочастотним спектром в Україні, затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 19.12.2023 р. №1340. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1340-2023-%D0%BF#Text>

5. Порядок виконання та надання розрахунку електромагнітної сумісності для загальних користувачів, затверджений постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку від 03.08.2022 №133.

6. Recommendation ITU-R P.1546-3. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz. 2007. – 57 с.

7. Правила організації та розрахунку мереж поїзного радіозв'язку ЦШ-0058. Державна адміністрація залізничного транспорту України Укрзалізниця, Київ –2009. 123 с.

8. Radio Regulations, editions of 2016: Volum 1: Articles. Режим доступу: [https://nkrzi.gov.ua/images/upload/307/4298/Reglament\\_R\\_MCE\\_2016.pdf](https://nkrzi.gov.ua/images/upload/307/4298/Reglament_R_MCE_2016.pdf)

9. Порядок ведення реєстру присвоєнь радіочастот загальних користувачів, затверджений постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку від 17.08.2022 №149. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1134-22#Text>

10. Реєстр радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв, що можуть застосовуватися на території України в смугах радіочастот загального користування. – Режим доступу: <https://nkrzi.gov.ua/index.php?r=site/index&pg=59&id=4182&language=uk>.

11. Standard ETSI 102361-1 v1.4.5. Elektromagnetik compatibility and Radio spectrum Matters. Digital Mobile Radio (DMR) Systems. Part1. DMR AIR Interfase protocol – France. ETSI, 2007. – 172 с.

12. Транкінгові мережі залізничного технологічного радіозв'язку / О. В. Єлізаренко, А. О. Єлізаренко, В. П. Поляков, К. А. Трубочанінова; Харків, УкрДАЗТ – 2007. 114с.

13. GSM-R. Procurement & Implementation Guide / International Union of Railways-Paris, 2009. – 246 с.

14. Рішення НКРЗІ № 411 від 19.10.2006 Про впровадження каналної сітки радіочастот 12,5 кГц для засобів зв'язку УКХ діапазону. Режим доступу до ресурсу <https://nkrzi.gov.ua/index.php?r=site/index&pg=122&id=3876&language=uk>

15. Приходько С.І. Особливості спільної роботи радіостанцій з різним частотним рознесенням каналної сітки частот / С.І. Приходько, А.О. Єлізаренко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. – Харків:УкрДУЗТ, 2023. – №2. – С.36-42.

The paper examines the main directions of modernization of railway technological radio communication systems and the procedures for planning, allocation, distribution and use of the radio frequency spectrum in the light of the new legislation. Proposals for the development of a new frequency plan for duplex digital networks of the DMR standard have been prepared.

**Keywords:** railway technological radio communication, use of radio frequency spectrum, Law of Ukraine "On Electronic Communications", departmental regulation of radio communication systems

*Єлізаренко А.О., к.т.н., доцент кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [elizarenko1@ukr.net](mailto:elizarenko1@ukr.net) <https://orcid.org/0000-0002-8567-7576>*

*Yelizarenko Andriy, Associate Professor of "Transport connection" department, Candidate of Techn. Sciences, PhD, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [elizarenko1@ukr.net](mailto:elizarenko1@ukr.net) <https://orcid.org/0000-0002-8567-7576>*

*Єлізаренко І. О., провідний інженер Харківській філії Українського державного центру радіочастот. E-mail: [elizarenko1@ukr.net](mailto:elizarenko1@ukr.net)*

*Yelizarenko Ihor, State Enterprise "Ukrainian State Centre of Radio Frequencies", Leading engineer. E-mail: [elizarenko1@ukr.net](mailto:elizarenko1@ukr.net)*

### **Regulation of the use of the radio frequency spectrum in railway technological radio communication systems. Yelizarenko Andriy, Yelizarenko Ihor**

The article discusses changes in the legislation of Ukraine in connection with the entry into force of the Law of Ukraine "On Electronic Communications". The law regulates relations between providers of telecommunication services and consumers and does not apply to users whose devices are not connected to public networks, except for matters of regulation of the use of radio frequency resources. A separate law regulates the activities of the National Commission for Electronic Communications (NCEC), which carries out state regulation and state supervision in the field of electronic communications. It includes the Ukrainian State Center for Radio Frequencies, which assigns radio frequencies and provides measures for electromagnetic compatibility of networks.

Technological radio communication on the railways of Ukraine refers to the land mobile radio communication service. Technological radio communication networks currently operate in the meter range of radio waves in analog mode. In this regard, it is important to introduce modern digital radio technologies of mobile radio communication with the development of new radio frequency ranges. Within the limits of the allocated frequency band, regulation of the use of the radio frequency spectrum in railway transport is based on departmental regulatory documents.

ПАРХОМЕНКО Л. О., к.т.н.,  
ПРОХОРОВ В. М., к.т.н.,  
КАЛАШНІКОВА Т. Ю., к.т.н.,  
КОФАНОВ О. В.

(Український державний університет залізничного транспорту)

## Формування моделі ризику в задачі забезпечення дотримання строку доставлення вантажів в умовах невизначеності з використанням теорії нечітких множин і теорії Демпстера-Шафера

*Забезпечення своєчасного доставлення вантажів є ключовим моментом у процесі перевезень, значну роль у цьому питанні відіграють залізничні технічні станції, оскільки вони керують процесом обробки вагонопотоків. Складність вирішення цієї проблеми обумовлена наявністю безлічі факторів невизначеності, які можуть впливати на процес прийняття рішень. Традиційні методи керування ускладнюють їх оцінювання та облік при прийнятті управлінських рішень. Стаття присвячена проблемі оцінювання ризиків недотримання строків доставлення вантажів залізничним транспортом і необхідності розроблення сучасних моделей для її вирішення.*

*У рамках дослідження було запропоновано методологію та модель для оцінювання ризику запізнення вагонів із використанням теорії нечітких чисел і Демпстера-Шафера, що дає змогу враховувати варіабельність і невизначеність у прогнозах. Проаналізовано фактори невизначеності, які можуть ускладнювати процеси обробки та формування поїздів, а також параметри вагонів, які необхідно враховувати для мінімізації ризиків і зниження фінансових втрат залізничних перевізників.*

*Стаття пропонує методику обчислення очікуваного ризику, що ґрунтується на інтеграції різних значень часу запізнення та пов'язаних із ними наслідків. Також розроблено модель для комбінування інформації про час запізнення з різних джерел, що сприяє підвищенню точності прогнозів та ефективності оперативного планування.*

*У висновках зазначено про важливість запропонованої моделі для автоматизації процесу керування технічними та сортувальними станціями, що дасть змогу мінімізувати затримки в доставленні вантажів і знизити обсяги виплат штрафів залізничними підприємствами.*

*Ключові слова: дотримання строку доставлення вантажів, прогнозний строк затримки вагона, теорія Демпстера-Шафера, автоматизація керування технічною станцією, невизначеність, функція щільності ризику.*

### Постановка проблеми

У сфері вантажних перевезень, особливо залізничній логістиці, своєчасне доставлення вантажів є важливим завданням. Затримки з прибуття вагонів можуть призводити до значних фінансових і репутаційних втрат для всіх учасників ланцюга постачання. Традиційні методи оцінювання та керування ризиками, пов'язаними з запізненням вагонів, часто не враховують усіх аспектів невизначеності та варіабельності реальних умов експлуатації, через що необхідно розробляти більш точні та адаптивні моделі для прогнозування та оцінювання ризиків.

Метою дослідження є створення сучасної методології і моделі оцінювання ризиків запізнення вагонів для врахування всіх аспектів невизначеності та нелінійних наслідків затримок. Особливу увагу доцільно приділити використанню сучасних методів і теорій у сферах статистики та м'яких обчислень;

розробленню підходів для інтеграції джерел інформації, що дасть змогу підвищити точність прогнозів. Важливим завданням є застосування сучасних технологій автоматизації процесів оперативного планування та керування, що сприятиме зниженню обсягів виплати штрафів залізничними підприємствами.

Це дослідження прагне створити методологічну основу для покращення керування технічними і сортувальними станціями, що у свою чергу підвищить ефективність логістичних операцій і знизить ризики, пов'язані з затримками. За сучасних умов жорсткої конкуренції на транспортному ринку застосування передових методів аналізу даних і автоматизації процесів – це єдиний раціональний шлях для розроблення більш надійних і точних інструментів для оцінювання та керування ризиками в залізничних перевезеннях.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

© ПАРХОМЕНКО Л. О., ПРОХОРОВ В. М., КАЛАШНІКОВА Т. Ю., КОФАНОВ О. В. 2024

Стаття [1] досліджує проблеми та невизначеності, пов'язані з оптимізацією організації перевезень для Китайського залізничного експресу (CRE). Автори пропонують оригінальний метод робастної оптимізації для вирішення коливань попиту, часу поїздки та інших факторів, які можуть впливати на ефективність мережі CRE. Аналіз визнає притаманну невизначеність у факторах, таких як попит, час поїздки та операційні обмеження, які ускладнюють оптимізацію системи CRE. Robust optimization framework розроблений для врахування цих невизначеностей. Дослідження базовано на спрощеній моделі мережі CRE і не повністю враховує складність реальних операцій. Крім того, аналіз обмежений певним періодом часу і може бути неприйнятним для майбутніх сценаріїв з іншими умовами.

Стаття [2] досліджує підхід до інтеграції моделей мережі залізничних вантажних дворів та оптимізаційних моделей для вдосконалення процесів керування в реальному часі. Автори пропонують комплексну модель, що поєднує імітаційну модель функціонування двору з процедурою оптимізації розподілу вагонів і локомотивів.

Проте в статті бракує детальної інформації про практичну реалізацію підходу, зокрема не наведено результатів його застосування на реальних даних. Крім того, не проаналізовано чутливість моделі до вихідних даних, наприклад точності прогнозування надходження вантажів, готовності локомотивів тощо.

Стаття [3] пропонує загальний підхід до розроблення системи керування сортувальною станцією в режимі реального часу (RTMYMS). Автори описують основні функціональні вимоги та архітектуру такої системи, яка включає модулі прогнозування, оптимізації та підтримки прийняття рішень. Проте у статті відсутні конкретні деталі про методи реалізації, а також не надано інформацію про можливі проблеми з впровадженням чи потенційні ризики, такі як необхідність інтеграції з сучасними системами, забезпечення надійності та безпеки даних, вплив на персонал. Також у статті не використано ризикові моделі або моделі для оперування з неповною або нечіткою інформацією та іншими факторами невизначеності, що виникають у процесі оперативного керування технологічним процесом станції. Крім того, стаття не містить жодних доказів чи кількісних оцінок потенційних переваг запропонованого підходу.

Науковий звіт [4] є першим результатом Робочого пакета 2 «Управління сортувальною станцією у режимі реального часу» проекту «Автоматизований консорціум залізничних вантажних перевезень» (ARCC). Основними цілями цієї робочої групи є дослідження та визначення ефективних бізнес-процесів, а також розуміння та оптимізація процесів прийняття рішень на сортувальних станціях і терміналах.

У документі надано огляд динаміки прийняття рішень та оперативних проблем на сортувальних станціях і терміналах. Зазначено про необхідність покращення координації між керуванням мережею/лінією та керуванням операціями на місці для підвищення ефективності та реактивності. Звіт свідчить, що підвищення автоматизації та оптимізація процесу прийняття рішень можуть призвести до переваг, таких як скорочення затримок, краще використання активів і поліпшення прогнозування.

Однак у звіті не надано детальну інформацію про конкретні вимоги до автоматизації чи технічні можливості, необхідні для впровадження запропонованих рішень з оптимізації. Також відсутні кількісні докази або тематичні дослідження, які б підтверджували потенційні переваги. Крім того, у звіті не розглянуто можливі ризики чи бар'єри для впровадження, такі як інтеграція з застарілими системами, проблеми безпеки та надійності, вплив на робочу силу.

Загалом звіт є документом високого рівня, у якому визначено дослідницькі цілі та проблеми, пов'язані з керуванням сортувальною станцією в режимі реального часу.

Наступне дослідження [5] пропонує підхід до оптимізації сортування вагонів для системи керування сортувальними станціями в режимі реального часу для підвищення ефективності та регулярності сортувальних операцій з зосередженням на оптимізації класифікації вагонів. Розроблено математичну модель оптимізації та алгоритм на базі змішаного цілочисельного лінійного програмування для вирішення проблеми. Підхід показав значне покращення продуктивності на реальних даних сортувальної станції в Чехії. Він інтегрований у систему керування станціями для надання оптимальних рішень.

Однак це дослідження не містить деталей про практичну реалізацію та впровадження запропонованого підходу на реальних сортувальних станціях. Також недостатньо даних про вплив рішень на показники ефективності та надійності операцій сортування. Бракує оцінювання масштабованості та застосовності методу за різних умов.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Аналіз сучасних наукових досліджень у галузі залізничного транспорту і логістики показує, що проблема пріоритетизації обробки вагонів на технічних станціях досі залишається недостатньо вивченою. У більшості публікацій цю проблему рідко розглядали як самостійне та чітко визначене завдання, тоді як основну увагу приділяли загальним питанням оптимізації залізничних перевезень та керування логістичними потоками. Найменше в літературі приділено увагу специфіці обробки вагонів на технічних станціях із застосуванням ризикових моделей.

У статті [6] була запропонована модель визначення пріоритету обробки вагонів при переформуванні поїздів на технічних станціях. Як основу такої моделі брали нейронну мережу, яка на основі декількох параметрів давала числову оцінку пріоритету обробки кожного вантажного вагона на станції, що надійшов у підсистему розформування/формування. До того ж така модель призначена для динамічного застосування, що означає, що пріоритет кожного вагона перевизначений динамічно багато разів у ході використання такої моделі в процесі виконання процедури оптимізації цільової функції моделі керування технологічним процесом станції. Тобто залежно від варіанта плану змінюється порядок обробки вагонів, а отже, змінюються і моменти початку обробки цих вагонів і відповідно до цього деякі параметри для визначення пріоритету обробки, такі як залишковий час доїзду вагона. Отже, така модель є відносно простою, її легко застосовувати в ході виконання оптимізаційних процедур, навіть для керування в реальному часі, адже вона практично не потребує обчислювальних ресурсів. Однак за всіх переваг такої моделі вона має значний недолік – вона фактично є чорним ящиком і не дає змогу проаналізувати проміжні етапи обчислень а також вплинути на них або проаналізувати. Цей недолік є концептуально важливим, адже кінцеве призначення таких моделей – це системи підтримки прийняття рішень (СППР), а вони передбачають надання особі, яка приймає рішення, не лише детальної інформації для аналізу, але й декількох варіантів рішень. Але якщо ми маємо таку важливу складову оптимізаційної процедури у вигляді чорного ящика, то надати цю інформацію і навіть забезпечити диверсифікацію проєктів рішень зробити практично неможливо. Така модель побудована за допомогою навчання на історичних даних і напевне формує у своїх внутрішніх структурах залежності, подібні до ризикових моделей, але цю інформацію неможливо надати користувачеві СППР, адже її неможливо отримати з моделі, вона там зберігається у вигляді, який не може бути оброблений людиною, – вона інтегрована в модель і її навіть неможливо виокремити.

Отже, концепція СППР потребує побудови моделей іншого класу, таких, які дають змогу отримувати інформацію про проміжні кроки прийняття рішень. Зокрема в контексті такого завдання важливою є інформація про ризикову складову, яку можна було б проаналізувати окремо від, наприклад, інших експлуатаційних витрат.

#### Формулювання цілей

Метою дослідження є формування моделей для удосконалення процесу керування сортувальними станціями з метою підвищення відсотка вчасно доставлених відправлень і зменшення штрафних виплат з боку залізниці.

Викладення основного матеріалу дослідження

Пропоновано модель, яка буде застосовувати нейронні мережі, однак вона також має містити окрему модель ризику. Нейронна мережа буде використана для визначення поточної затримки вагона, виходячи з пройденого та залишкового шляху, а також витраченого і залишкового часу. Для більшої точності ця мережа буде видавати результат у вигляді інтервального або нечіткого числа. З іншого боку, система АСК ВП УЗ Є має достатньо інформації для приблизного оцінювання часу прибуття вагона до станції призначення, хоча, можливо, і на основі тривіальних приблизних розрахунків, а може, і з урахуванням більш детальної інформації з поїзної і вагонної моделей полігона. Отже, знаючи строк доставлення вантажу, на основі прогнозової інформації системи АСК ВП УЗ Є про час прибуття вагона можна також оцінити поточну затримку вагона. Ця оцінка зазвичай може бути дуже приблизною, тобто вона може лише приблизно оцінити верхню і нижню межі часу запізнення, а отже, фактично є інтервальним числом. Але цією інформацією також не можна нехтувати, її слід урахувати для підвищення точності моделі ризику, адже в умовах невизначеності будь-яка інформація є неабиякою цінністю.

Отже, постає завдання, як одночасно урахувати прогнозовану інформацію з нейромережі та системи АСК ВП УЗ Є. Як відомо, окрім підходів теорії імовірності, існують альтернативні підходи та погляди щодо поняття імовірності та альтернативні теорії. Існує, наприклад, баєсівський підхід до ймовірнісного моделювання, заснований на оновленні ймовірностей при отриманні нової інформації. У цьому підході ймовірність інтерпретують як ступінь впевненості у якійсь події чи гіпотезі. Початкові ймовірності (апостеріорні) переглядають у світлі нових даних, щоб отримати оновлені ймовірності (апостеріорні). Отже, баєсівський підхід дає змогу гнучко змінювати оцінку ймовірності події з надходженням нової інформації. Теорія Демпстера-Шафера (англ. Dempster-Shafer Theory, DST) є узагальненням класичної теорії ймовірностей і баєсівського підходу, даючи змогу працювати з невизначеністю і неповною інформацією більш гнучко. На відміну від традиційних ймовірнісних методів, теорія Демпстера-Шафера розподіляє «масу» не тільки на окремі події, але і об'єднання подій, що особливо корисно, коли не вистачає даних для точного визначення ймовірностей. У теорії Демпстера-Шафера ймовірність замінено функцією маси (або мас-функцією), яка розподіляє ймовірність не тільки на окремі гіпотези, а й їхні об'єднання. Мас-функція (також Belief function, або функція впевненості) визначає нижню межу впевненості в події, засновану на наявній інформації.

І якщо в баєсівському підході кожна можливість точно визначена і оновлена з урахуванням нових даних, то в теорії Демпстера-Шафера невизначеність може бути гнучкішою, розподіляючи ймовірність між множинами подій, що особливо корисно під час роботи з неповною чи неточною інформацією. Баєсівський підхід оновлює ймовірності

на основі нових даних, але потребує точних апріорних ймовірностей, натомість теорія Демпстера-Шафера дає змогу комбінувати інформацію з різних джерел без необхідності в точних апріорних ймовірностях.

Припустимо, ми маємо два джерела інформації про те, що вантажний вагон може запізнитися. Перше джерело каже, що ймовірність запізнення становить 30 %, друге – 50 %. У баєсівському підході ми спробували б оновити ймовірності на основі додаткової інформації, що може бути складно, якщо джерела суперечать одне одному. У теорії Демпстера-Шафера ми можемо розподілити масу ймовірності між множинами подій (наприклад «вагон запізниться» і «вагон не запізниться»), комбінуючи інформацію від обох джерел і вирішуючи конфлікти, щоб отримати більш обґрунтовану оцінку.

Отже, теорія Демпстера-Шафера розширює можливості баєсівського підходу, надаючи інструменти для роботи з більш складними та невизначеними даними, що робить її корисною в умовах неповної чи суперечливої інформації.

Правило комбінації Демпстера є центральним елементом теорії Демпстера-Шафера, його використовують для об'єднання різних джерел інформації, поданих у вигляді мас-функцій. Воно дає змогу агрегувати і оновлювати ступені впевненості за наявності кількох незалежних джерел даних. Ключовим моментом правила Демпстера є також урахування суперечливості інформації.

Розглянемо застосування правила Демпстера на прикладі. Припустимо, що оцінка АСК ВП УЗ Є про запізнення вагона становить від 1 до 11 год. Подано її як трикутне нечітке число. Також припустимо, що є оцінка, отримана з нейронної мережі, вона вже вказує на інтервал від 2 до 6 год. Слід зазначити, що Артур Пентланд Демпстер, один з засновників теорії та професор Гарвардського університету, безпосередньо не узагальнив це правило на нечіткі числа, хоча саме багатовимірна статистика була одним із його головних інтересів. Але підходи до застосування правила Демпстера до нечітких множин і нечітких чисел можна зустріти в роботах його послідовників. Хоча також слід зазначити, що існують також різні підходи і погляди на це питання. І взагалі теорія Демпстера-Шафера має багато невирішених проблем унаслідок її складності і важкості для розуміння. Але саме ця теорія дає можливість розв'язувати надскладні задачі зі статистики та обробки інформації, які неможливо якісно розв'язати в рамках традиційних підходів.

Отже, якщо  $\tilde{C}$  – це нечітке число, отримане в результаті композиції двох нечітких чисел за

правилом Демпстера, то функція  $\mu_{\tilde{C}}$  в контексті

такої задачі може являти собою мас-функцію впевненості в запізненні вагона. Тобто це функція розподілу впевненості в запізненні вагона. Теоретично ми можемо використовувати поняття впевненості як аналог поняття ймовірності в контексті застосування підходу до визначення ризику, як добуток ймовірності запізнення і величину штрафу.

Однак, слід зазначити, що, хоча ми можемо фактично користуватися поняттям впевненості як аналогом поняття ймовірності, воно має суттєві відмінності, особливо в контексті використання мас-функцій. Хоча рівень впевненості, як і величина ймовірності, не може перевищувати значення 1, жодних обмежень на нього не накладено, на відміну від поняття ймовірності. У класичній теорії ймовірностей кожен ймовірнісний простір (або ймовірнісне поле) має підкорятися такому правилу: сума ймовірностей усіх елементарних результатів має дорівнювати 1. Це відображає принцип, що одна з можливих подій обов'язково відбудеться. Наприклад, для набору подій

$$P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) + \dots + P(A_n) = 1. \quad (1)$$

Це обмеження забезпечує коректність ймовірнісної моделі та гарантує, що ймовірність будь-якого результату знаходиться в межах від 0 до 1.

У теорії Демпстера-Шафера використовують мас-функції, які розподіляють «масу впевненості» не лише на окремі події, а і їхні об'єднання. Однією з ключових особливостей мас-функцій є те, що сума всіх мас може бути менше 1. Це дає змогу враховувати невизначеність та неповноту інформації.

Отже, коли ми говоримо про нечіткі числа в контексті теорії Демпстера-Шафера, потрібно враховувати, що функція належності може мати площу, що перевищує 1, але мас-функція має бути нормалізована так, щоб її значення відповідали вимогам теорії.

У теорії Демпстера-Шафера дійсно можна розподіляти масу впевненості серед різних гіпотез, і сума мас усіх підмножин (включаючи порожню множину) має дорівнювати 1. Однак важливо враховувати, що це не заважає сумі впевненості за окремими гіпотезами перевищувати 1, оскільки маси можуть призначатися і об'єднанням гіпотез також. Отже, до отриманого нечіткого числа необхідно застосувати операцію нормалізації. З урахуванням вищевказаного та логіки Демпстера [7] правило композиції інформації з двох джерел, яка задана нечіткими числами, виглядає як



$$\left( m_{\tilde{A}} \oplus m_{\tilde{B}} \right)_{\tilde{C}} = N \left[ \mu_{\tilde{C}}(t_3) \right] = N \left[ \frac{\sum_{A \cap B = C} \mu_A(t_3) \cdot \mu_B(t_3)}{1 - \sum_{\tilde{A} \cap \tilde{B} = \tilde{\emptyset}} \mu_{\tilde{A}}(t_3) \cdot \mu_{\tilde{B}}(t_3)} \right], \quad (2)$$

$$k = \frac{1}{\int_{-\infty}^{+\infty} \mu_C(t_3)}. \quad (3)$$

де  $t_3$  – змінна тривалості затримки доставлення вантажу;

$\mu_{\tilde{A}}(t_3), \mu_{\tilde{B}}(t_3)$  – функції належності нечітких чисел  $\tilde{A}$  (прогнозна інформація з АСК ВП УЗ Є) і  $\tilde{B}$  (прогнозна інформація з нейронної мережі);

$\tilde{C}$  – нечітке число, яке є результатом агрегації нечітких чисел  $\tilde{A}$  і  $\tilde{B}$ , за правилом Демпстера, з відповідною функцією належності  $\mu_{\tilde{C}}(t_3)$ , яка відіграє роль мас-функції;

$N[\dots]$  – операція нормалізації функції належності;

$(m_{\tilde{A}} \oplus m_{\tilde{B}})_{\tilde{C}}$  – результат композиції у вигляді мас-функції, що подана як нормалізована функція належності нечіткого числа  $\tilde{C}$ ;

$\tilde{\emptyset}$  – пуста нечітка множина.

Нормалізація фактично передбачає помноження функції належності отриманого нечіткого числа на нормалізуючий коефіцієнт, який можна обчислити як

Загалом теорія Демстера-Шафера складна і цікава, але поки що фактично експериментальна теорія, яка не є вільною від різноманітних суперечливостей. До композиції мас-функцій, поданих як функції приналежності, можна запропонувати декілька різних підходів. Ми вважаємо, що застосований нами підхід саме і є найбільш зручним і раціональним, який можна назвати підходом з нормалізацією після композиції. Але в принципі можна здійснювати нормалізацію і функцій належності, які беруть участь у композиції ще до виконання цієї операції. Перевагою такого підходу є гарантування, що кожна вихідна функція належності інтерпретована як мас-функція, що і відповідає вимогам теорії Демпстера-Шафера. Однак ми вважаємо, що такий підхід не гарантує того, що отримана функція належності все одно не буде потребувати нормалізації. За винятком якихось часткових випадків нормалізація все одно буде потрібна. А отже, у контексті задачі оперативного керування сотрувальною станцією, у ході виконання процедури оптимізації математичної моделі

керування станцією, яка, наприклад, використовує генетичний алгоритм, багато разів у ході ітерацій будуть здійснені перерахунки прогнозних часів затримок за кожним вагоном для визначення величини ризику недотримання строку доставлення вантажів. Тож такий підхід до композиції є менш зручним і раціональним саме в контексті розв'язання цієї задачі. До того ж підхід із нормалізацією після комбінації дає змогу працювати з вихідними нечіткими числами безпосередньо, що є також його перевагою. На рис. 1 подані зі своїми функціями належності вихідні нечіткі числа  $\tilde{A}$  і  $\tilde{B}$  та нечітке число  $\tilde{C}$ , що є композицією цих чисел, за правилом Демпстера, але до виконання процедури нормалізації.

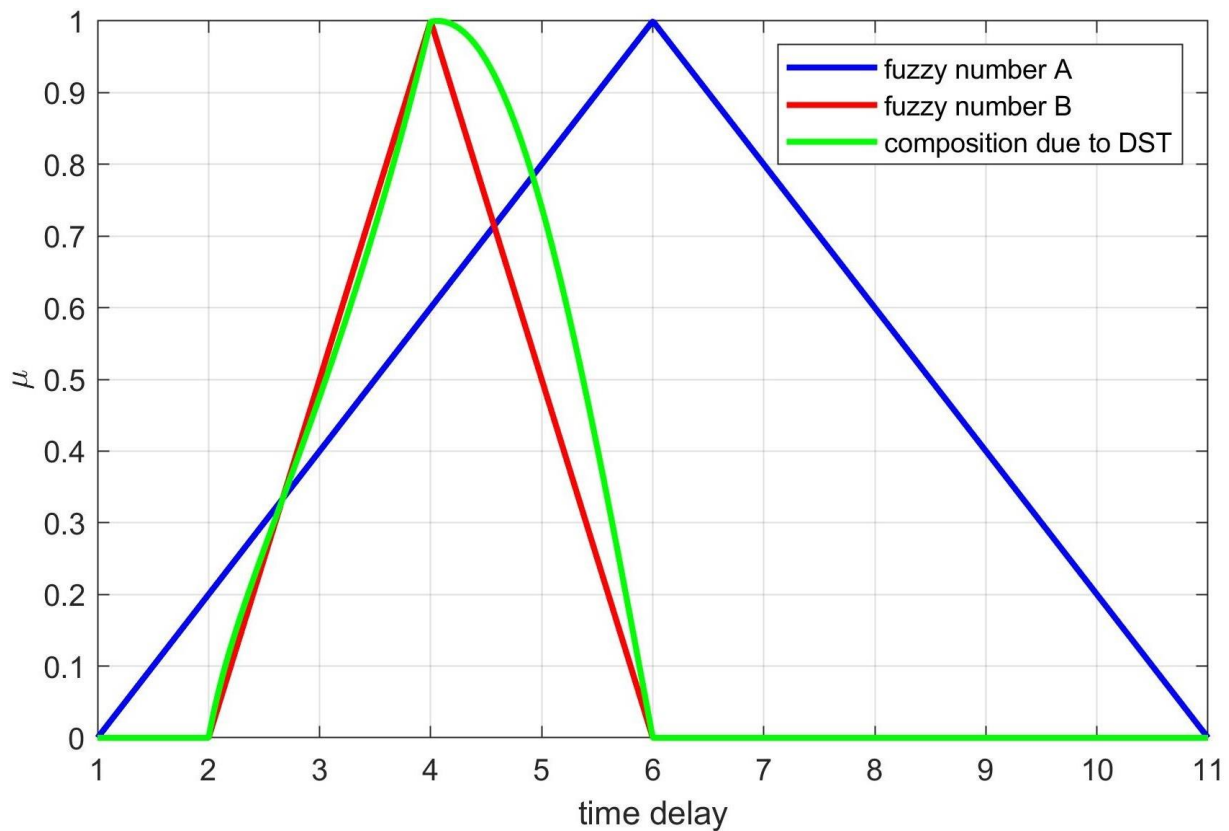


Рис. 1. Нечіткі числа, що є прогнозними даними системи АСК ВП УЗ Є і нейромережі щодо впевненості в недотриманні строку прибуття певного вагона на станцію розвантаження, і нечітке число, що являє собою композицію цих нечітких чисел, за правилом Демпстера, але до виконання процедури нормалізації

На рис. 2 наведено нечітке число, отримане в результаті композиції, подане як функція належності після здійснення процедури нормалізації та результат його дефазифікації за методом центроїд. Тепер функція належності є мас-функцією, яка повністю задовольняє вимоги теорії Демпстера-Шафера.

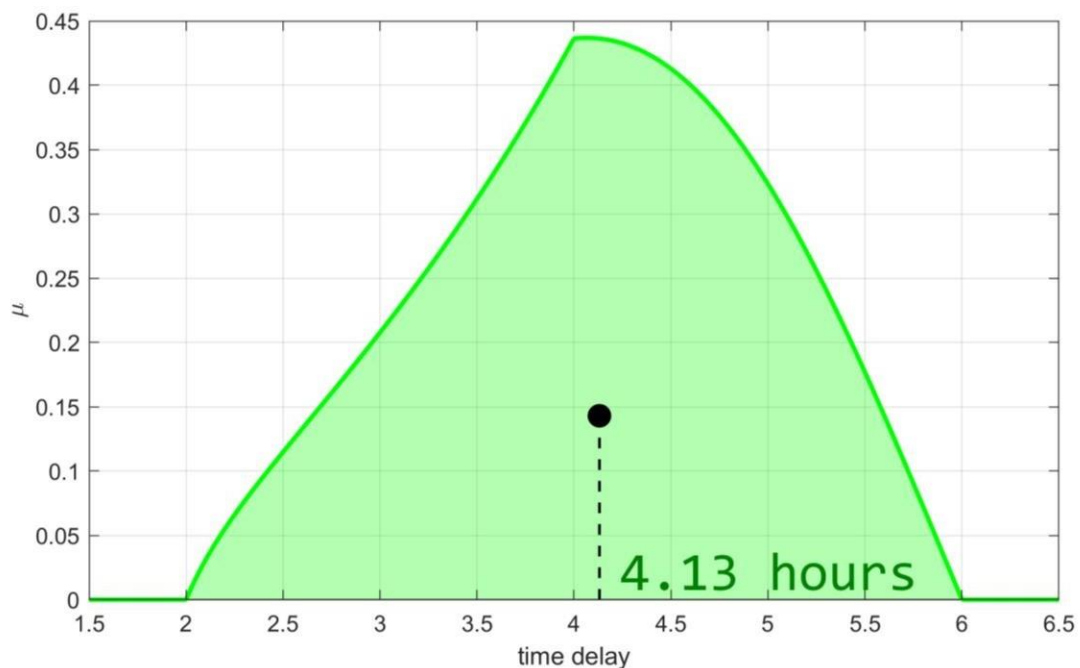


Рис. 2. Архітектура повнозв'язної нейронної мережі прямого розповсюдження сигналу

Слід зазначити, що фактично в результаті здійснення композиції ми маємо не лише ймовірність настання події запізнення, а функцію розподілу, яка фактично співставляє значенням часу запізнення їхні рівні впевненості. Цю впевненість можна трактувати як імовірність, тим паче що мас-функція фактично задовольняє всі відповідні обмеження теорії імовірностей. Отже, ми маємо не лише впевненість у тому, що подія запізнення настане, але й фактично ми маємо інформацію про час запізнення; можемо побудувати більш складну і точну модель визначення величини ризику, застосувавши нетривіальний підхід. Однак, якщо поглянути на цю мас-функцію детальніше, то стає зрозуміло, враховуючи її безперервну природу, що її можна інтерпретувати не як безпосередньо функцію імовірності, а лише як функцію щільності імовірності.

Тоді добуток мас-функції і штрафної функції матиме розмірність гривня за годину (грн/год), і його можна назвати щільністю ризику:

$$\rho(t_3) = m_{\tilde{C}}(t_3) \Upsilon(t_3, E). \quad (4)$$

Тоді функцію ризику можна визначити як

$$R(t_3) = \int_0^{+\infty} m_{\tilde{C}}(t_3) \Upsilon(t_3, E) dt_3, \quad (5)$$

$$\Upsilon(t_3) = \begin{cases} 1000(0,24 + 0,015(t_3 - 24)) & , \text{якщо } 0 \leq t_3 \leq 24 \\ 0 & , \text{якщо } 24 < t_3 \end{cases} \quad (6)$$

В абсолютній аналітичній формі її можна записати як

$$\Upsilon(t_3) = 2,5t_3 |t_3 - 24| + 12,5t_3 - 60. \quad (7)$$

$$m(t_3) = \begin{cases} (t_3 + 1)/14 & , \text{якщо } t_3 < -1 \\ (27 - t_3)/14 & , \text{якщо } -1 \leq t_3 \leq 13 \\ 0 & , \text{якщо } 13 < t_3 \leq 27 \\ 0 & , \text{якщо } t_3 > 27 \end{cases} \quad (8)$$

де  $m_{\tilde{C}}(t_3)$  – мас-функція впевненості в затримці вагона;

$\Upsilon(t_3, E)$  – функція штрафу за недотримання строку доставлення вантажу;

$E$  – провізна плата.

Такий підхід до визначення ризику є дуже зручним, адже якщо б ми спочатку інтегрували функцію щільності імовірності, а потім перемножували її на якусь сталу величину наслідків, то такий тривіальний підхід у контексті цієї задачі є абсолютно некоректним, бо він щонайменше не враховує тривалість запізнення, і виправданий лише у випадку, якщо нараховують фіксовану суму штрафу лише за фактом наявності затримки. У нашому ж випадку величина штрафу залежить від величини затримки вагона, до того ж ця залежність може бути нелінійною. Отже, запропонована модель (4) враховує всі можливі варіанти розвитку подій і відповідні до них величини штрафів одночасно.

Розглянемо приклад. Провізна плата становить 1000 грн. Штрафна функція передбачає виплату 1 % суми провізної плати за кожну годину затримки протягом першої доби затримки, а починаючи з другої доби – 1,5 % суми провізної плати за кожну годину затримки. Функція втрат або штрафу у кусково-лінійній формі запису може бути записана як

Мас-функція впевненості в запізненні вагона подана нормованою трикутною функцією належності

Вочевидь, в абсолютній аналітичній формі цю функцію можна записати як

$$m(t_3) = \frac{|t_3 + 1| - 2|t_3 - 13| + |t_3 - 27|}{392} \quad (9)$$

На рис. 3 наведені графік штрафної функції (1) і графік мас-функції впевненості в запізненні вагона (2).

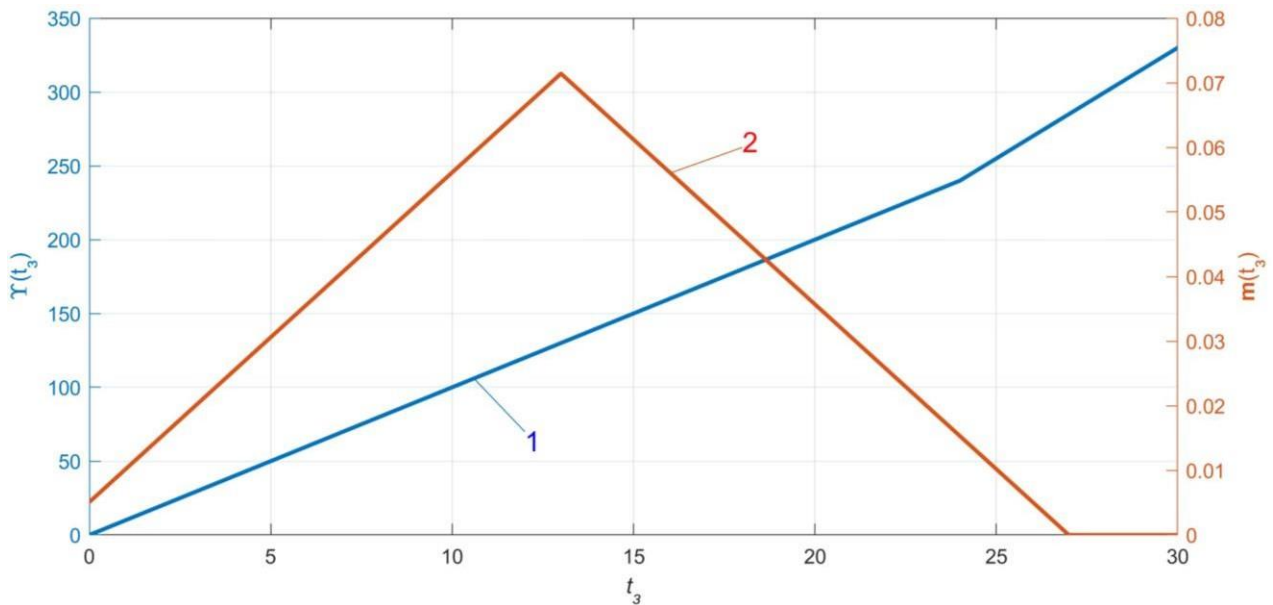


Рис. 3. Штрафна функція (1) і мас-функція впевненості в запізненні вагона (2)

На рис. 4 наведено функцію щільності ризику, яка є добутком штрафної функції та мас-функції впевненості.

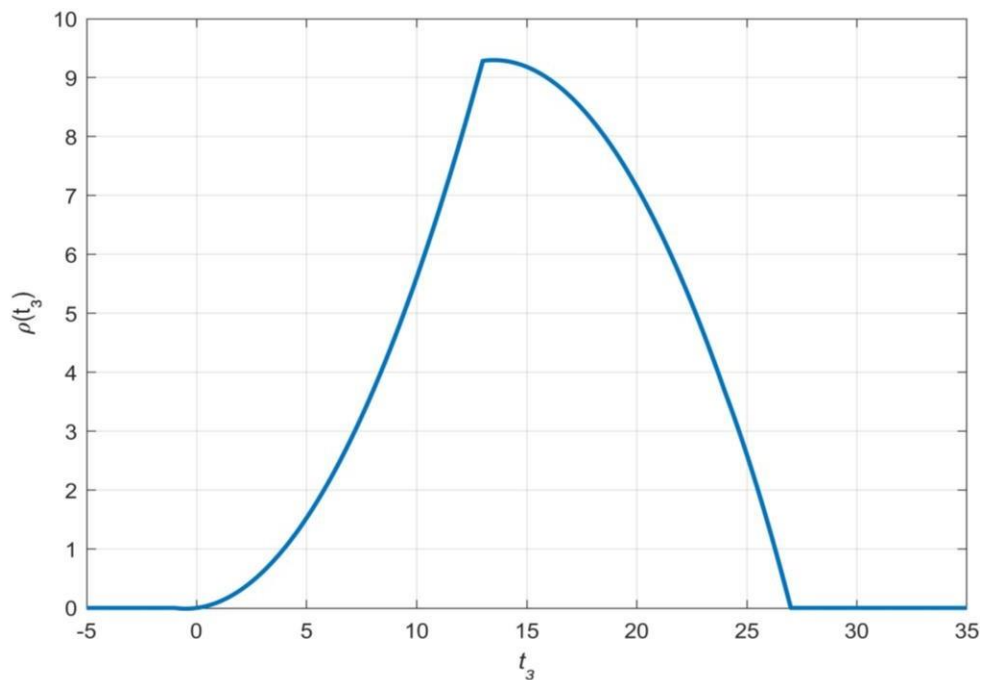


Рис. 4. Функція щільності ризику

Розрахувати величину ризику можна через інтеграл від функції щільності ризику:

$$\begin{aligned}
 R(t_3) &= \int_0^{+\infty} m(t_3) Y(t_3, E) dt_3 = \\
 &= \int_0^{+\infty} \frac{1}{392} \left( |t_3 + 1| - 2|t_3 - 13| + |t_3 - 27| \right) \left( 2,5t_3 |t_3 - 24| + 12,5t_3 - 60 \right) dt_3 = \\
 &= \left( -0,0042517 \left( t_3^3 + 1,5t_3^2 + 3,33067 \cdot 10^{-15}t_3 - 0,5 \right) \left( \operatorname{sgn}(-t_3 - 1) - 1 \right) \times \right. \\
 &\quad \left. \left( \operatorname{sgn}(13 - t_3) + 1 \right) + 0,0042517 \left( t_3^3 - 40,5t_3^2 - 8,99281 \cdot 10^{-14}t_3 + 2197,5 \right) \times \right. \quad (10) \\
 &\quad \left. \left( \operatorname{sgn}(13 - t_3) - 1 \right) \left( \operatorname{sgn}(24 - t_3) + 1 \right) + \right. \\
 &\quad \left. 0,0063776 \left( t_3^3 - 52,5t_3^2 + 648t_3 - 4007 \right) \left( \operatorname{sgn}(24 - t_3) - 1 \right) \left( \operatorname{sgn}(27 - t_3) + 1 \right) - \right. \\
 &\quad \left. 65,0574 \operatorname{sgn}(27 - t_3) + 65,0574 \right) \Big|_0^{+\infty} = 130,12 \text{ грн}
 \end{aligned}$$

Отже, за провізної плати 1000 грн величина ризику становила 130,12 грн. За проведених розрахунків величини ризику з використанням поняття щільності ризику вдалося адекватно врахувати невизначеність і нелінійні наслідки затримок. Результати показали, що отримана величина ризику реалістично відображає вплив різних значень часу запізнення на загальну суму штрафів. Метод виявився ефективним для моделювання та оцінювання ризиків, пов'язаних із затримками вантажних вагонів.

## Висновки

У статті подано комплексну модель оцінювання ризику запізнення вантажних вагонів, засновану на застосуванні теорій нечітких чисел і Демпстера-Шафера. Час запізнення вагона було змодельовано як нечітке число, що дало змогу врахувати варіабельність і невизначеність цього параметра. Нормалізація функції належності дала можливість використати її як мас-функцію впевненості, за теорією Демпстера-Шафера, і забезпечила можливість коректного застосування інтеграційних методів для обчислення ризику. Введення поняття щільності ризику, визначеного як добуток нормалізованої функції належності та штрафної функції, дало змогу інтегрувати ймовірності та наслідки подій для обчислення загального ризику, пов'язаного з затримками.

Обчислення очікуваного ризику через інтеграл щільності ризику показало, що отримана величина адекватно відображає реальні умови та наслідки затримок. Модель виявилася гнучкою і точною, даючи змогу одночасно враховувати різні сценарії затримок і їхні наслідки. Розроблена модель

об'єднання інформації з двох джерел про час запізнення вагона була заснована на теорії Демпстера-Шафера та нечітких числах, що дало змогу ефективно комбінувати дані, отримані з різних джерел, і покращити точність прогнозування часу запізнення і його наслідків.

Методологію розробляли в рамках завдання підвищення частки вантажних залізничних перевезень з дотриманням строку доставлення вантажів і проблеми підвищення якості та рівня автоматизації процесу оперативного планування технічних станцій. Однак така розробка може бути корисною для різних додатків, включаючи логістику, керування ланцюгами постачань і проєктне управління. Модель забезпечує більш точне та реалістичне оцінювання ризиків, пов'язаних із невизначеністю і нелінійними наслідками затримок. Отримані результати підтвердили адекватність і ефективність розробленого підходу, що відкриває нові можливості для практичного застосування в аналізі ризиків у процесі керування вагонопотоками.

Список використаних джерел

1. Zheng Ch., Shen Y., Ma J., Gui L., Zhang Ch. Robust Optimization of Transport Organization for China Railway Express. *Applied Sciences*. 2024. 14(1). 137.
2. Licciardello R., Adamko N., Deleplanque S., Hosteins P., Liu R., Peterson A., Wahlborg M., Zat'Ko M., Pellegrini P. Integrating yard, network and optimisation models towards real-time optimisation of rail freight yard operations. *Scienza e tecnica*. 2020. 6. P. 417–440.
3. Dimitrov L., Purgic S., Tomov P., Todorova M. Approach for Development of Real-Time Marshalling Yard Management System. 2018

- International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech)*. 2018.
4. Trafikverket. Real-Time Yard Management: D2.1 Description of automation optimization requirements and capabilities of decision making process in Marshalling yards and Terminals. *Shift2Rail Joint Undertaking*. 2017. 73 p.
  5. Tomov P., Purgic S., Dimitrov L., Todorova M. Optimization of the Wagons Sorting Process for Needs of Real-Time Marshalling Yard Management System. *II International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech)*. 2019.
  6. Пархоменко Л. О., Прохоров В. М., Калашнікова Т. Ю., Овсянніков Д. О. Формування моделі управління пріоритетністю обробки вагонів на технічних станціях в умовах невизначеності. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2024. № 1. С. 45–54.
  7. Surathong S., Auephanwiriyakul S., Theera-Umpon N. Incorporating fuzzy sets into dempster-shafer theory for decision fusion. *JP Journal of Heat and Mass Transfer*. 2018. 15(Special Issue 3). P. 299-309.

Parkhomenko L. O., Prokhorov V. M., Kalashnikova T. Yu., Kofanov O. V. Forming a Risk Model for Ensuring Cargo Delivery Deadlines under Uncertainty Using Fuzzy Set Theory and Dempster-Shafer Theory

Ensuring timely cargo delivery is a crucial aspect of transportation, and a significant role in this matter is played by railway technical stations as they manage the process of handling freight car flows. The complexity of solving this problem is due to the presence of numerous uncertainty factors that can significantly affect decision-making processes. Traditional management methods complicate their assessment and consideration in managerial decisions. This article addresses the problem of assessing the risks of train delays and the need to develop modern models to solve it.

The study proposes a methodology and model for assessing the risk of train delays using the theory of fuzzy numbers and Dempster-Shafer theory, which allows for considering variability and uncertainty in forecasts. An analysis was conducted on uncertainty factors that may complicate the processes of handling and forming trains, as well as on car parameters that need to be considered to minimize risks and reduce financial losses for railway carriers.

The article proposes a methodology for calculating the expected risk based on the integration of various delay time values and associated consequences. A model was also developed for combining delay time information from various sources, which contributes to improving the accuracy of forecasts and the efficiency of operational planning.

The conclusions of the article emphasize the importance of the proposed model for automating the

management process of technical and sorting stations, which will minimize delivery delays and reduce the volume of penalty payments by railway enterprises.

Keywords: ensuring cargo delivery deadlines, forecasted train delay time, Dempster-Shafer theory, automation of technical station management, uncertainty, risk density function.

*Пархоменко Лариса Олексіївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8963-6467>.*

*E-mail: [parhomenko@kart.edu.ua](mailto:parhomenko@kart.edu.ua).*

*Прохоров Віктор Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1647-7746>.*

*E-mail: [prokhorov@kart.edu.ua](mailto:prokhorov@kart.edu.ua).*

*Калашнікова Тетяна Юріївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6563-5945>.*

*E-mail: [bulavina\\_ty@ukr.net](mailto:bulavina_ty@ukr.net).*

*Кофанов Олександр Володимирович, аспірант кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0005-3277-3731>. E-mail: [alex.vonaf@gmail.com](mailto:alex.vonaf@gmail.com).*

*Parkhomenko Larisa, PhD (Tech), Associate Professor, department of operational work management, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8963-6467>. E-mail: [parhomenko@kart.edu.ua](mailto:parhomenko@kart.edu.ua).*

*Prokhorov Viktor, Associate Professor, department of operational work management, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1647-7746>. E-mail: [prokhorov@kart.edu.ua](mailto:prokhorov@kart.edu.ua).*

*Kalashnikova Tetiana, PhD (Tech), Associate Professor, department of operational work management, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6563-5945>. E-mail: [bulavina\\_ty@ukr.net](mailto:bulavina_ty@ukr.net).*

*Kofanov Oleksandr, postgraduate student, department of operational work management, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0005-3277-3731>. E-mail: [alex.vonaf@gmail.com](mailto:alex.vonaf@gmail.com).*



## Редакційна колегія

Бабасв М. М., д.т.н., професор, УкрДУЗТ;

Буцько Т. В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ;

Гаврилюк В. І., д.ф.-м.н., професор,  
Український державний університет науки і  
технологій;

Доценко С. І., д.т.н., доцент, УкрДУЗТ;

Жуковицький І. В., д.т.н, професор,  
Український державний університет науки і  
технологій;

Каргін А. О., д.т.н., професор, УкрДУЗТ;

Климаш М. М., д.т.н, професор,  
НУ «Львівська політехніка»;

Zbigniew Łukasik Kazimierz Pulaski  
University of Humanities and Technology in  
Radom, Professor;

Ломотько Д. В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ

Mareks Mezitis, Dr.sc.ing., Head of Scientific  
Institution Transporta Akadēmija, Rīga,  
Latvija;

Мойсеєнко В. І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ;

Панченко С. В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ;

Приходько С. І., д.т.н., професор,  
УкрДУЗТ, головний редактор;

Рубан І. В., д.т.н., професор, ХНУРЕ;

Серков О. А., д.т.н., професор, НТУ  
«ХП»;

Скалозуб В. В., д.т.н., професор,  
Український державний університет науки і  
технологій;

Трубчанінова К. А., д.т.н., професор, УкрДУЗТ;

Thierry Horsin, Enseignant chercheur au  
CNAM (PU);

Штомпель М. А., д.т.н., професор, УкрДУЗТ

## © Журнал "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті" (Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте) - Informacijno-kerujuchi systemy na zaliznychnomu transporti

*Свідоцтво про державну реєстрацію  
Серія КВ № 21514-11414 ПР від 18. 08. 2015 р.  
Засновник - Український державний університет  
залізничного транспорту, майд. Фейєрбаха, 7,  
м. Харків, 61050*

*ISSN 2413-3833 (Online), ISSN 1681-4886 (Print)  
Зареєстровано 24 жовтня 2001 р. у Centre International de  
l'ISSN, 75002 PARIS, France.*

*Журнал входить до Переліку наукових фахових видань  
України, категорія «Б» (наказ Міністерства освіти і  
науки України № 409 від 17 березня 2020 р. зі змінами  
від 02.07.2020 р. № 886 )*

*Журнал включено до міжнародної наукометричної бази  
даних Index Copernicus (<http://journals.indexcopernicus.com/++++p24787015,3.html>),  
Google Scholar (<https://scholar.google.com>), науково-видавничої платформи  
«Наукова періодика України» (<http://jks.kart.edu.ua>).*

*Затверджений до друку Вченою радою УкрДУЗТ*

*Рецензування проводиться конфіденційно за принципами  
double-blind*

*Статті друкуються мовою оригіналу*

*Редакція не обов'язково поділяє думку автора і  
не відповідає за фактичні помилки, яких він припустився*

*Передрук матеріалів – тільки з дозволу редакції  
журналу*

*Індекс журналу у Каталозі передплатних видань  
України – 48707*

*Адреса редакції: Україна, 61050, Харків-50,  
майд. Фейєрбаха, 7, УкрДУЗТ, корп. 1, к. 215.  
Тел.: (057) 730-10-84, 730-10-82. E-mail: xiittc@ukr.net*

*Відповідальна за випуск Харін Р.О.  
Редактор Ібрагімова Н. В.*

*Підписано до друку 28.06.2024 р. Формат 60x84 1/8.  
Папір писальний. Ум.-вид. ар. 5,5 Зам №  
Наклад 105 прим. Ціна договірна.  
Частина тиражу розповсюджується безкоштовно.*

*Видавець та виготовлювач  
Український державний університет залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.*