



**УкрДУЗТ**
Український державний університет залізничного транспорту

ISSN 1681-4886 (Print)
ISSN 2413-3833 (Online)

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
**ІНФОРМАЦІЙНО - КЕРУЮЧІ
СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ
ТРАНСПОРТІ**

№1 2023 р.

1 (152)' 2023

ІНФОРМАЦІЙНО - КЕРУЮЧІ
СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ
ТРАНСПОРТІ

Виходить 4 рази на рік

Видається з 23 квітня 1996 р.

INFORMACIJSNO-KERUJUCHI
SYSTEMY NA ZALIZNYCHNOMU
TRANSPORTI

Зміст – Содержание – Contents

Видання

Українського державного
університету залізничного
транспорту

Панченко С. В., Ананьєва О. М., Бабасєв М. М.,
Давиденко М. Г., Панченко В. В.

Математична модель процесу розповсюдження
високочастотних сигналів у колах живлення тягових
двигунів постійного струму.....3



Ломотько Д. В., Красноштан О. М., Кава О. С.

Шляхи розвитку логістики міжнародних пасажирських
залізничних перевезень: інфраструктурний,
операційний та інноваційний аспекти..... 11

Серков О. А., Трубочанінова К. А., Касілов О. В.,
Лисечко В. П.

Теорія інформації та системи безпроводного зв'язку
..... 19

Єлізаренко А. О.

Уніфікована методика розрахунку зон обслуговування
в мережах залізничного технологічного радіозв'язку
..... 25

Бутько Т. В., Пархоменко Л. О., Тарасов К. О., Гайдук Д. А.
Формалізація процедури надання альтернативного маршруту швидкісним
пасажирським поїздам на основі ризик-менеджменту.....31

Vladyslav Kholiev, Olesia Barkovska
Analysis of the of training and test data distribution for audio series classification.....38

Ломотько М. Д.
Формування ланцюга постачання вантажів у контейнерах на основі «зеленої»
логістики.....44

Харченко Д. Р., Киман А. М., Щербина М. Є., Прохорченко А. В.
Удосконалення системи обліку виконання графіка руху пасажирських поїздів.....52

ПАНЧЕНКО С. В., д.т.н., професор,
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)

Математична модель процесу розповсюдження високочастотних сигналів в колах живлення тягових двигунів постійного струму

Тягові двигуни постійного струму широко застосовуються в галузі транспортної електроенергетики. Тому підтримка їх придатності до експлуатації є актуальною проблемою. Для спостереження за технічним станом двигуна можна безконтактно ввести в коло його живлення зондуєчий високочастотний сигнал і спостерігати викликаний ним струм. Це потребує встановлення математичного зв'язку між величинами параметрів його кіл і величинами параметрів спостереженого струму. В роботі отримано диференціальне рівняння, що описує потрібний зв'язок.

Ключові слова: двигун постійного струму, колектор, щітки, обмотка збудження, якір, диференціальне рівняння.

Вступ

Основна частина парку локомотивів, що експлуатуються на залізничному транспорті України, спроектовані і виготовлені в 60-80 роках минулого сторіччя, мають низьку економічність та не можуть забезпечити належного підвищення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів. Знос інвентарного парку тягового рухомого складу (ТРС) складає:

- вантажні електровози змінного струму – 95,5 %;
- вантажні електровози подвійного живлення – 100 %;
- вантажні електровози постійного струму – 92 %;
- пасажирські електровози – 99,7 %;
- маневрові тепловози – 100 %;
- магістральні вантажні тепловози – 100 %;
- магістральні пасажирські тепловози – 96 %.

Значна частка локомотивів має середній вік близько 50 років і вище. Частина потенційно активного локомотивного парку знаходиться в непрацездатному стані та потребує значного відновлення. Спостерігається стійка динаміка збільшення експлуатаційних витрат на утримання існуючого парку локомотивів. У короткостроковій перспективі неможливо оновити необхідну кількість активного парку електровозів та тепловозів, тому в АТ «Укрзалізниця» запропоновано відповідні «Базові проекти» їхнього відновлення і модернізації [1].

Для підвищення надійності функціонування локомотивів необхідно мати достовірні відомості про технічний стан їхніх окремих вузлів. Статистичні дані щодо надійності обладнання ТРС показують, що велика частка відмов припадає на тягові двигуни (ТЕД) і вона зростає зі збільшенням терміну експлуатації. Відмови ТЕД у процесі роботи можуть призвести до незапланованих простоїв та коштовного технічного обслуговування, якщо вони не будуть своєчасно виявлені.

Постановка проблеми і аналіз досліджень і публікацій

Тягові електродвигуни у процесі експлуатації постійно зазнають впливу динамічних, механічних та електромагнітних навантажень. На надійність роботи ТЕД також впливають особливості кліматичних умов довкілля та людський фактор. У середньому на ТЕД припадає 20-25 % загальної кількості відмов усього обладнання локомотивів. Основними причинами відмов ТЕД є: пробіи ізоляції обмоток, міжвиткові замикання в якорах, полюсах, компенсаційних обмотках, неприпустиме зниження опору ізоляції, пошкодження з'єднання між полюсами і обмотками,

вихід з ладу головних полюсів, руйнування бандажу та ін. Статистика відмов окремих вузлів ТЕД виглядає так:

- якір – (42,5...84...84,5) %;
- міжкатушкові з'єднання і виводи – (2,1...14,1) %;
- полюсні компенсаційні котушки – (2,1...15...15,6) %;
- якірні і моторно-осьові підшипники – (5,3...43...43,1) %;
- обриви котушок головних і додаткових полюсів і перемичок між ними – близько 80 %.

Затримки поїздів при пошкодженнях ТЕД призводять до значних економічних збитків [2]. У зв'язку з цим виникає необхідність розроблення нових методів діагностики ТЕД на основі контролю фактичного стану, що істотно підвищить надійність їх роботи.

Аналіз літературних джерел показує різні підходи до вирішення цієї проблеми. Порівняльна характеристика існуючих методів моніторингу стану та діагностики пошкоджень електродвигунів наводиться у роботі [3]. Автори стверджують, що раніше виробники та користувачі електричних машин поклалися на такі прості засоби захисту, як перевантаження по струму, перенапруга, замикання на землю і т. ін., на сьогодні стало дуже важливо діагностувати зіпсування в їхньому зародженні.

У статті показано, що в сучасних системах моніторингу досліджуються не лише гармонійні складові струму, швидкості, крутного моменту, вібрації, а й теплові вимірювання, хімічний аналіз тощо. Участь людини в прийнятті рішень замінюється такими автоматизованими засобами, як експертні системи, нейронні мережі, системи на основі нечіткої логіки.

У публікаціях [4–6] розглядаються непрямі радіочастотні методи контролю якості роботи тягових електродвигунів, що дають змогу за допомогою безконтактних датчиків, установлених на контрольованих машинах, оцінювати рівні електромагнітного випромінювання, що виникає в процесі їхньої комутації.

Нейромережеві методи діагностики відмов, що зароджуються в двигунах постійного струму, наведено у роботі [7]. Проблему виявлення та ідентифікації пошкоджень електродвигунів автори пропонують вирішити з урахуванням останніх змін у галузі статистичного машинного навчання шляхом застосування підтримуючих векторних машин, згорткових та повторюваних мереж. Результати проведених експериментів при різних типах робочих умов показали, що в цьому випадку найефективнішою є мережа згортки.

Моніторинг колекторних двигунів постійного струму розглянуто у роботі [8]. Для діагностики коротких міжвиткових замикань розроблено

статистичну модель, засновану на прихованій марківській моделі. Запропонований метод дає змогу не тільки виявляти коротке замикання обмотки двигуна, але також може забезпечити оцінку ступеня пошкодження.

Ідентифікацію стану двигунів з використанням нечіткої логіки та вейвлет-аналізу надано у статті [9]. Шляхом аналізу характеристик пускового перехідного струму двигуна пропонується виявляти та проводити кількісну оцінку пошкоджень обмотки якоря та зіпсування підшипника. Наведено результати моделювання запропонованих методів контролю, що отримані шляхом з використанням Matlab та Simulink.

У роботі [10] процес відмовостійкого керування двигуном постійного струму досліджується в хмарному середовищі. На двигун встановлюється блок діагностики відмов. Пошкодження виконавчого механізму виявляється порівнянням залишкового сигналу із заданим порогом. Для локалізації відмови використовується метод узгодження залишкових значень. Пошкодження може бути оцінено за допомогою фільтра найменших квадратів.

Раннє виявлення зіпсування двигунів постійного струму з використанням метода аналізу характеристик потужності (МРРА) розглянуто у роботі [11]. МРРА – це технологія, яка аналізує струм і напругу, що подаються на електродвигун, з використанням певних моделей і протоколів з метою оцінки їхнього робочого стану без переривання виробництва.

Як показує аналіз публікацій, раннє виявлення пошкоджень, що зароджуються в колекторних машинах постійного струму, запобігатиме проблемам непередбачених поломок ТЕД. Отже, в умовах фізичного старіння ТРС, моніторинг та впровадження сучасних методів і засобів діагностування ТЕД на основі контролю їх фактичного стану у реальному часі є актуальною науково-прикладною проблемою.

Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є моделювання процесу розповсюдження високочастотних сигналів в обмотках тягових двигунів постійного струму.

Для досягнення цієї мети слід було вирішити такі завдання:

- провести аналіз електричних та магнітних явищ, що пов'язані з будь-якою однією секцією обмотки якоря двигуна, в коло живлення якого введено змінну напругу з постійними відомими параметрами;
- сформувати та розв'язати систему диференціальних рівнянь відносно шуканих струмів і напруг, яка дасть змогу враховувати поточний стан електричних параметрів контрольованого двигуна;
- розробити математичну модель, що дасть змогу отримати аналітичний або числовий опис струму зондуючих сигналів в будь-якій вітці схеми заміщення двигуна.

Основна частина

Розглянемо колекторний двигун постійного струму з послідовним збудженням, в коло живлення якого у такий чи інший спосіб введено змінну напругу з постійними параметрами, зокрема, з кутовою частотою ω_T . Піддамо більш детальному огляду електричні та магнітні явища, пов'язані з будь-якою однією секцією цього двигуна (рис. 1).

Стрілкою показано напрям обертання якоря. Умовні позначення: $E_{ж}$ – джерело живлення постійною напругою; $e_T(t)$ – джерело синусоїдної напруги; 1 – збігаючий край щітки; 2 – набігаючий край щітки; $i_{я}$ – струм секції якоря.

Вважатимемо, що як опори елементів конструкції, так і перехідні опори між ними є лінійними. За цієї умови до розгляду роботи секції можна застосувати принцип накладання та окремо розглядати ефекти, викликані дією джерела постійної напруги та джерела змінної напруги. В цій роботі нас цікавлять саме ефекти другого типу. Зобразимо схему заміщення показаного на рис. 1 фрагмента двигуна для джерела напруги зондуючого сигналу (рис. 2).

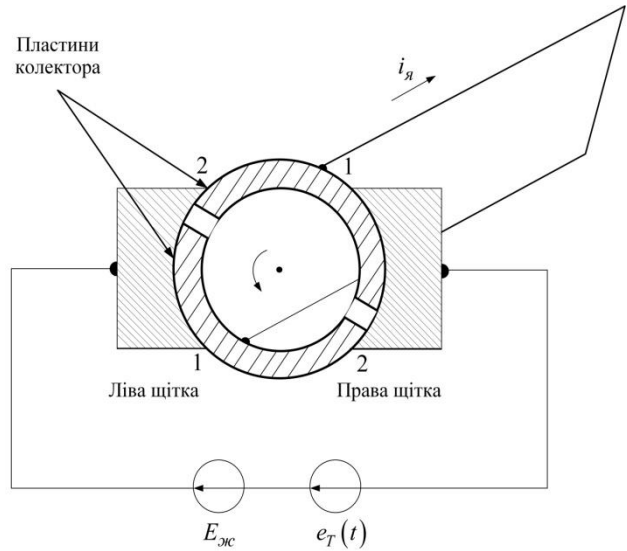


Рис. 1. Ескіз підключення секції двигуна

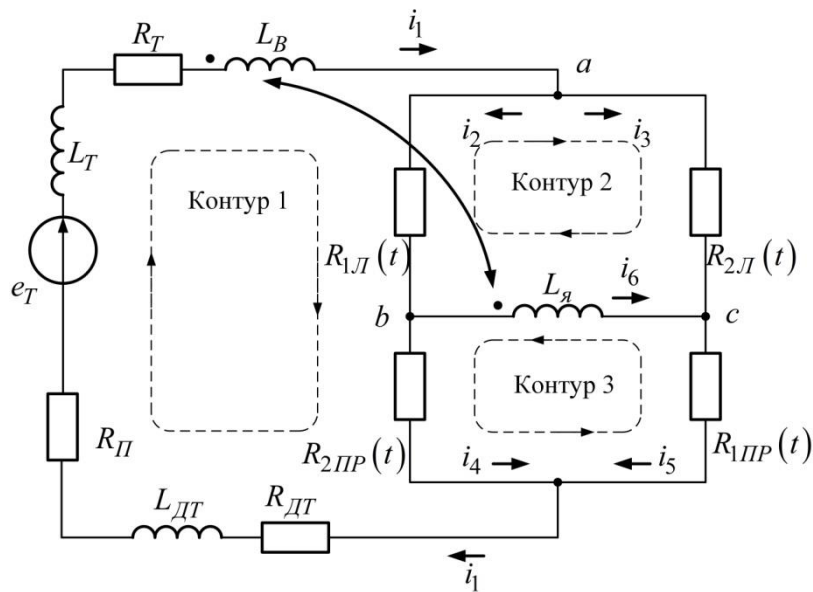


Рис. 2. Схема заміщення секції та колекторно-щіткового вузла

Джерело постійної напруги тут враховано його внутрішнім активним опором $R_{л}$, а джерело синусоїдної напруги – його активним опором R_T та внутрішньою індуктивністю L_T . Індуктивність обмотки збудження позначена L_B , індуктивність обмотки якоря $L_{я}$, взаємна індуктивність між ними – $M(t)$. Зазначимо, що взаємна індуктивність є функцією часу з огляду на обертання якоря. Викликаний джерелом e_T струм i_1 розтікається через збігаючий край лівої щітки (опір

$R_{1Л}(t)$) та її набігаючий край з опором $R_{2Л}(t)$ відповідно на струми i_2 та i_3 . Через збігаючий край правої щітки (його опір $R_{1ПП}(t)$) протікає струм i_5 , а через набігаючий край правої щітки (його опір $R_{2ПП}(t)$) протікає струм i_4 . Струм секції якоря позначено на рис. 2 як i_6 . Поставимо задачу визначення зв'язку струму i_1 з параметрами колекторно-щіткового апарату та якоря за результатами спостереження миттєвого значення

цього струму (внесені в коло параметри датчика позначимо $R_{ДТ}$ та $L_{ДТ}$).

Розрахуємо струм i_1 методом рівнянь Кірхгофа [12]. Коло, схему якого зображено на рис. 2, описується шістьма рівняннями Кірхгофа – трьома за першим законом та трьома за другим законом.

Для вузлів a , b та c маємо відповідно, що

$$i_1 = i_2 + i_3; \quad (1)$$

$$i_2 = i_4 + i_6; \quad (2)$$

$$i_5 = i_3 + i_6. \quad (3)$$

Для позначених на рис. 2 контурів 1, 2 та 3 маємо відповідно, що

$$e_T = i_1(R_T + R_{II}) + L_B \frac{di_1}{dt} + M(t) \frac{di_6}{dt} + i_6 \frac{dM(t)}{dt} + i_1 R_T + L_T \frac{di_1}{dt} + R_{1Л}(t) i_2 + R_{2ПП}(t) i_4; \quad (4)$$

$$i_3 R_{2Л}(t) - L_{Я} \frac{di_6}{dt} - M(t) \frac{di_1}{dt} - i_1 \frac{dM(t)}{dt} - i_2 R_{1Л}(t) = 0; \quad (5)$$

$$i_4 R_{2ПП}(t) - i_5 R_{1ПП}(t) - L_{Я} \frac{di_6}{dt} - M(t) \frac{di_1}{dt} - i_1 \frac{dM(t)}{dt} = 0. \quad (6)$$

З рівнянь (1) – (3) випливає, що

$$i_3 = i_1 - i_4 - i_6; \quad (7)$$

$$i_5 = i_1 - i_4. \quad (8)$$

$$e_T = i_1 \left\{ (R_T + R_{II} + R_{ДТ}) + \frac{[R_{1Л}(t) + R_{2ПП}(t)] \cdot \left[R_{1ПП}(t) + \frac{dM(t)}{dt} \right]}{R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)} \right\} + \left[L_B + L_{ДТ} + \frac{R_{1Л}(t) + R_{2ПП}(t)}{R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)} \cdot M(t) \right] \cdot \frac{di_1}{dt} + \left[R_{1Л}(t) + \frac{dM(t)}{dt} \right] \cdot i_6 + \left[\frac{R_{1Л}(t) + R_{2ПП}(t)}{R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)} \cdot L_{Я} + M(t) \right] \cdot \frac{di_6}{dt}. \quad (13)$$

Підставимо i_2 з формули (2) до (4). Після приведення подібних отримаємо нове рівняння

$$e_T = i_1 (R_T + R_{II} + R_{ДТ}) + (L_B + L_{ДТ}) \frac{di_1}{dt} + M(t) \frac{di_6}{dt} + i_6 \frac{dM(t)}{dt} + [R_{1Л}(t) + R_{2ПП}(t)] i_4 + R_{1Л}(t) i_6. \quad (9)$$

Підставимо i_3 з формули (7) до (5). Після приведення подібних отримаємо нове рівняння

$$i_1 \left[R_{2Л}(t) - \frac{dM(t)}{dt} \right] - i_4 [R_{2Л}(t) + R_{1Л}(t)] - i_6 [R_{2Л}(t) + R_{1Л}(t)] - M(t) \frac{di_1}{dt} - L_{Я} \frac{di_6}{dt} = 0. \quad (10)$$

Підставимо i_5 з формули (8) до (6). Після приведення подібних отримаємо нове рівняння

$$i_4 [R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)] - i_1 \left[R_{1ПП}(t) + \frac{dM(t)}{dt} \right] - M(t) \frac{di_1}{dt} - L_{Я} \frac{di_6}{dt} = 0. \quad (11)$$

З рівняння (6) можна виразити i_4 через i_1 та i_6

$$i_4 = i_1 \frac{R_{1ПП}(t) + \frac{dM(t)}{dt}}{R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)} + \frac{di_1}{dt} \cdot \frac{M(t)}{R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)} + \frac{L_{Я}}{R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)} \cdot \frac{di_6}{dt}. \quad (12)$$

Позбавимося від струму i_4 в рівнянні (9), підставивши туди вираз (12):

Позбавимося від струму i_4 в рівнянні (10), підставивши туди вираз (12):

$$\begin{aligned}
 & M(t) \left[\frac{R_{2Л}(t) + R_{1Л}(t)}{R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)} + 1 \right] \cdot \frac{di_1}{dt} + \\
 & + \left\{ \frac{R_{2Л}(t) + R_{1Л}(t)}{R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)} \cdot \left[R_{1ПП}(t) + \frac{dM(t)}{dt} \right] - \left[R_{1Л}(t) - \frac{dM(t)}{dt} \right] \right\} \cdot i_1 + \\
 & + \left[\frac{R_{2Л}(t) + R_{1Л}(t)}{R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)} + 1 \right] \cdot L_{Я} \cdot \frac{di_6}{dt} + [R_{2Л}(t) + R_{1Л}(t)] \cdot i_6 = 0. \quad (14)
 \end{aligned}$$

Отже, маємо пару рівнянь (13) та (14) відносно i_1 та i_6 . Зведемо її до рівняння відносно потрібного нам струму i_1 . Для надання рівнянням (13) та (14) компактного вигляду введемо такі позначення. Для рівняння(13):

$$A_{11}(t) = R_T + R_{II} + R_{DT} + \frac{[R_{1Л}(t) + R_{2ПП}(t)] \cdot [R_{1ПП}(t) + \frac{dM(t)}{dt}]}{R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)};$$

$$A_{12}(t) = L_B + L_{DT} + \frac{R_{1Л}(t) + R_{2ПП}(t)}{R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)} \cdot M(t);$$

$$B_{11}(t) = R_{1Л}(t) + \frac{dM(t)}{dt};$$

$$B_{12}(t) = \frac{R_{1Л}(t) + R_{2ПП}(t)}{R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)} \cdot L_{Я} + M(t).$$

Для рівняння (14):

$$A_{21}(t) = \frac{R_{2Л}(t) + R_{1Л}(t)}{R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)} \cdot \left[R_{1ПП}(t) + \frac{dM(t)}{dt} \right] - \left[R_{1Л}(t) - \frac{dM(t)}{dt} \right];$$

$$A_{22}(t) = M(t) \left[\frac{R_{2Л}(t) + R_{1Л}(t)}{R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)} + 1 \right];$$

$$B_{21}(t) = R_{2Л}(t) + R_{1Л}(t);$$

$$B_{22} = \left[\frac{R_{2Л}(t) + R_{1Л}(t)}{R_{2ПП}(t) + R_{1ПП}(t)} + 1 \right] \cdot L_{Я}.$$

З урахуванням цих позначень рівняння (13) та (14) набудуть вигляду:

$$e_T = A_{11}(t)i_1 + A_{12}(t)\frac{di_1}{dt} + B_{11}(t)i_6 + B_{12}(t)\frac{di_6}{dt}; \quad (15)$$

$$0 = A_{21}(t)i_1 + A_{22}(t)\frac{di_1}{dt} + B_{21}(t)i_6 + B_{22}(t)\frac{di_6}{dt}. \quad (16)$$

Позбавимося похідної від i_6 . Для цього спочатку помножимо вираз (16) на B_{12}/B_{22} . Отримаємо, що

$$0 = A_{21}(t) \frac{B_{12}(t)}{B_{21}(t)} \cdot i_1 + A_{22}(t) \frac{B_{12}(t)}{B_{21}(t)} \cdot \frac{di_1}{dt} + B_{21}(t) \frac{B_{12}(t)}{B_{21}(t)} \cdot i_6 + B_{12} \frac{di_6}{dt}. \quad (17)$$

Відніmemo вираз (17) від (15), отримаємо, що

$$e_T = \left[A_{11}(t) - A_{21}(t) \frac{B_{12}(t)}{B_{21}(t)} \right] i_1 + \left[A_{12}(t) - A_{22}(t) \frac{B_{12}(t)}{B_{21}(t)} \right] \frac{di_1}{dt} + \left[B_{11}(t) - B_{21}(t) \frac{B_{12}(t)}{B_{22}(t)} \right] i_6. \quad (18)$$

Позначимо коефіцієнт при i_6 як $Y(t)$. З урахуванням цього, отримаємо з рівняння (18), що

$$i_6 = C_0(t) + C_1(t) i_1 + C_2(t) \frac{di_1}{dt}. \quad (19)$$

Тут

$$C_0(t) = \frac{e_T}{Y(t)};$$

$$C_1(t) = \frac{A_{11}(t) - A_{21}(t) \frac{B_{12}(t)}{B_{21}(t)}}{Y(t)};$$

$$C_2(t) = \frac{A_{12}(t) - A_{22}(t) \frac{B_{12}(t)}{B_{21}(t)}}{Y(t)}.$$

Після підстановки формули (19) до (16) та приведення подібних, отримаємо таке рівняння:

$$B_{22}(t) C_2(t) \frac{d^2 i_1}{dt^2} + \left[A_{22}(t) + B_{21}(t) C_2(t) + B_{22}(t) C_1(t) + B_{22}(t) \frac{dC_2(t)}{dt} \right] \cdot \frac{di_1}{dt} + \left[A_{21}(t) + B_{21}(t) C_1(t) + B_{22}(t) \frac{dC_1(t)}{dt} \right] \cdot i_1 + B_{21}(t) C_0(t) + B_{22}(t) \frac{dC_0(t)}{dt} = 0. \quad (20)$$

Введемо позначення

$$\left. \begin{aligned} q_0(t) &= B_{21}(t) C_0(t) + B_{22}(t) \frac{dC_0(t)}{dt}; \\ q_1(t) &= A_{21}(t) + B_{21}(t) C_1(t) + B_{22}(t) \frac{dC_1(t)}{dt}; \\ q_2(t) &= A_{22}(t) + B_{21}(t) C_2(t) + B_{22}(t) C_1(t) + B_{22}(t) \frac{dC_2(t)}{dt}; \\ q_3(t) &= B_{22}(t) C_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

З урахуванням цих позначень рівняння (20) набуває вигляду: Звідси маємо

$$q_3(t) \frac{d^2 i_1}{dt^2} + q_2(t) \frac{di_1}{dt} + q_1(t) \cdot i_1 + q_0(t) = 0. \quad (22) \quad \frac{d^2 i_1}{dt^2} + \frac{q_2(t)}{q_3(t)} \cdot \frac{di_1}{dt} + \frac{q_1(t)}{q_3(t)} \cdot i_1 = -\frac{q_0(t)}{q_3(t)}. \quad (23)$$

Введемо такі позначення:

$$\left. \begin{aligned} a(t) &= \frac{q_2(t)}{q_3(t)}; \\ b(t) &= \frac{q_1(t)}{q_3(t)}; \\ f(t) &= -\frac{q_0(t)}{q_3(t)}. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Урахувавши їх, записуємо рівняння для струму кола живлення, який викликано дією джерела e_T у кінцевому вигляді

$$\frac{d^2 i_1}{dt^2} + a(t) \cdot \frac{di_1}{dt} + b(t) \cdot i_1 = f(t). \quad (25)$$

Висновки

У ході вирішення проблеми моніторингу якості роботи тягових двигунів локомотивів сформовано систему диференціальних рівнянь відносно шуканих струмів і напруги, що враховує поточний стан їхніх електричних параметрів;

- розроблено математичну модель, яка дає змогу провести аналітичний або числовий опис струму в будь-якій вітці схеми заміщення двигуна. Отримані в ході розрахунків рівняння залишаються справедливими для будь-якої форми тестової напруги. Це дає змогу знайти аналітичний опис напруги на будь-якому елементі як самого двигуна, так і кола його живлення.

Список використаних джерел

1. Концепція (прогнозна) роботи з парком локомотивів АТ «Укрзалізниця» до 2033 року. URL: <https://www.railway.supply/wp-content/uploads/2021/08/konczepczya-2033.-yak-ukrzalizniczya-planu%D1%94-zabezpechuvati-sebe-lokomotivami.pdf>
2. S. Nandi, H. A. Toliyat and X. Li. Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Motors— A Review. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. Vol. 20, No. 4, pp. 719-729, Dec. 2005, doi: 10.1109/TEC.2005.847955.
3. Блиндюк В. С. Анализ методов и средств диагностики технического состояния локомотивов. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2000. № 2. С. 110-112.
4. Соболев Ю. В., Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Демченко О. Ф. Прогнозуючий контроль параметрів тягових двигунів локомотивів. Ч. 1. Методика прогнозуючого контролю. *Міжвуз. зб. наук. пр.* Вип. 42. Харків: ХарДАЗТ, 2000. С. 5-15.
5. Соболев Ю. В., Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Давиденко М. Г. Електромагнітні методи контролю якості комутації тягових двигунів локомотивів. *Міжвуз. зб. наук. пр.* Вип. 44. Харків: ХарДАЗТ, 2000. С. 9-12.
6. Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Давиденко М. Г., Соболев Ю. В. До оцінки ступеня іскріння на колекторі тягових двигунів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2001. № 5. С. 78-80.
7. S. Munikoti, L. Das, B. Natarajan and B. Srinivasan. Data-Driven Approaches for Diagnosis of Incipient Faults in DC Motors. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. Vol. 15, No. 9, pp. 5299-5308, Sept. 2019, doi: 10.1109/TII.2019.2895132.
8. S Zhang, J., Zhan, W., & Ehsani, M. (2018). On-line diagnosis of inter-turn short circuit fault for DC brushed motor. *ISA Transactions*, 77, 179-187. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2018.03.029>
9. Winston, D. P., Saravanan, M. (2013). Single Parameter Fault Identification Technique for DC Motor through Wavelet Analysis and Fuzzy Logic. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 8 (5), 1049–1055. doi: <https://doi.org/10.5370/jeet.2013.8.5.1049>
10. He, X., Ju, Y., Liu, Y., Zhang, B. (2017). Cloud-Based Fault Tolerant Control for a DC Motor System. *Journal of Control Science and Engineering*, 2017, 1–10. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/5670849>
11. Majdi, Hasan Shakir and Shijer, Sameera Sadey and Hanfesh, Abduljabbar Owaed and Habeeb, Laith Jafer and Sabry, Ahmad H., Analysis of Fault Diagnosis of DC Motors by Power Consumption Pattern Recognition (October 31, 2021). *European Journal of Enterprise Technologies*, 5(5 (113), 14–20, 2021. doi:10.15587/1729-4061.2021.240262, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3961642>
12. Теорія електричних і магнітних кіл / С. В. Панченко, О. М. Ананьєва, М. М. Бабаєв та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2020. 246 с.

Panchenko S., Ananieva O., Babaiev M., Davidenko M., Panchenko V. Mathematical model of the process of propagation of high-frequency signals in the power circuits of DC traction motors.

Abstract. Brushed DC electric motors with sequential excitation are widely used in the field of transport electric traction. Therefore, maintaining their serviceability is an urgent problem. The most efficient way to control the state of their electrical circuits is to control them during their regular operation. The parameters of electrical oscillations in these motors are sensitive to the current numerical values of the circuit parameters. To monitor the parameters of these circuits without interfering with the design of the motor, you can contactlessly introduce a test voltage into the power circuit and observe the current caused by it. The current of the armature winding section essentially

depends on the electrical parameters of this section. Therefore, the voltage given in the field winding depends on the same parameters as the current of each section of the armature. This voltage can be interpreted as the voltage of some signal. Under nominal conditions, the amplitude, frequency, and phase of this signal are known. If the electrical parameters of the armature section deviate from the nominal values, the signal parameters also change, which is a sign of a possible malfunction. In order to diagnose the technical condition of the engine, it is necessary to establish a mathematical relationship between the values of the parameters of its circuits and the values of the parameters of the observed current. In the work, a differential equation is obtained that describes the desired relationship. This equation remains valid for any form of test voltage. The intermediate equations obtained in the course of calculations provide, if necessary, obtaining an analytical or numerical description of the current in any branch of the motor equivalent circuit. This also makes it possible to find a similar description of the voltage on any element of both the engine itself and its power circuits.

Keywords: DC motor, collector, brushes, excitation winding, armature, differential equation.

Надійшла 19.02.2023 р.

Панченко Сергій Володимирович, д.т.н., професор, ректор, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна. E-mail: info@kart.edu.ua ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7626-9933>

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>

Бабасєв Михайло Михайлович, д.т.н., професор, завідувач кафедри, кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна. E-mail: mmbxiit@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 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 ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4822-7151>

Sergey Panchenko, rector, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: info@kart.edu.ua ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7626-9933>

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 ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6686-8249>

Mykhailo Babiayev, 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 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 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 ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4822-7151>

ЛОМОТЬКО Д. В., д-р техн. наук, професор (Український державний університет залізничного транспорту),
 КРАСНОШТАН О. М., канд. техн. наук, доцент (Національний транспортний університет),
 КАВА О. С., магістр, заступник міністра (Міністерство фінансів України)

Шляхи розвитку логістики міжнародних пасажирських залізничних перевезень: інфраструктурний, операційний та інноваційний аспекти

У статті проаналізовано загальні тенденції зміни обсягів перевезень залізничним транспортом у міжнародному сполученні. Визначено причини зміни та перспективи щодо підвищення показників цього виду діяльності залізничного транспорту України. Проаналізовано вплив міжнародних пасажирських залізничних перевезень на соціальний розвиток країни та регіонів.

Поточна ситуація створює ряд можливостей для розвитку міжнародних залізничних пасажирських перевезень. У статті проведено детальний аналіз зазначених можливостей і зроблено пропозиції щодо їхньої практичної реалізації.

Зроблено висновок про необхідність вжиття негайних, комплексних і дієвих заходів задля переходу до фази розвитку міжнародних пасажирських залізничних перевезень. Визначено комплексну проблему забезпечення рухомим складом для міжнародних перевезень і запропоновано комплексний підхід щодо вирішення проблемних питань із його залученням. Запропоновано орієнтовний план-графік з реалізації зазначеного комплексу заходів. Проведено прогнозування очікуваного ефекту від запровадження запропонованого комплексу заходів.

Ключові слова: міжнародні пасажирські залізничні перевезення, пересадкове сполучення, розвиток систем, маршрутна мережа.

Вступ

Міжнародні перевезення відіграють важливу роль у забезпеченні мобільності населення. Їхній розвиток важливий як для України, так і сусідніх країн.

Міжнародні пасажирські залізничні перевезення мають ряд переваг перед альтернативними видами транспорту, їх обслуговування, з точки зору прикордонного та митного контролю, також. У зв'язку з цим вирішення порушеної в статті теми є актуальним науковим і практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанню розвитку міжнародних пасажирських залізничних перевезень у вітчизняній науковій літературі та періодиці приділено недостатньо уваги. Особливо бракує інформації щодо розвитку цього виду пасажирських перевезень в умовах воєнного стану.

На рис. 1 зображено пасажирооборот АТ «Укрзалізниця» протягом 2016-2021 рр.

Визначення мети та завдання дослідження

Метою дослідження є формулювання комплексу заходів, спрямованих на розвиток системи міжнародних пасажирських перевезень, що дозволить досягти і закріпити позитивну тенденцію зростання обсягів перевезень, а також дасть імпульс для подальшого економічного та соціального розвитку країни.

Для досягнення заявленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виявити і сформулювати основні фактори, що впливають на розвиток міжнародних перевезень;
- визначити технічні передумови вирішення ситуації;
- сформулювати комплексно оптимальні шляхи вирішення питання подальшого розвитку системи міжнародних перевезень.

Основна частина дослідження

У новітній історії розвитку залізничного транспорту України наша країна мала станом на 2019 р. пряме залізничне сполучення з країнами Європейського Союзу та іншими країнами Європи:

- Латвія (Рига);
- Литва (Вільнюс);

- Польща (Варшава, Хелм, Вроцлав, Перемишль);
- Чехія (Прага);
- Словаччина (Кошице);
- Угорщина (Будапешт);
- Австрія (Відень);
- Румунія (Бухарест);
- Болгарія (Варна);
- Молдова (Кишинів).



Рис. 1. Пасажи́рообі́г АТ «Укрзалі́зниця» у 2016-2021 рр.

Із початком пандемії COVID-19 з березня 2020 р. через запроваджені карантинні обмеження як країнами Європейського Союзу, так і Україною міжнародні пасажирські перевезення були зупинені і до листопада 2022 р. фактично не здійснювались.

Лише з листопада 2021 р. [1] розпочалось поступове відновлення міжнародних перевезень. Цей процес триває до сьогодні.

Так, станом на грудень 2022 р. відновлено та функціонує ряд міжнародних маршрутів:

- у сполученні з Республікою Польща:
 - Київ-Варшава;
 - Харків-Київ-Хелм (новий напрямок, запроваджений у 2022 р.);
 - Київ-Перемишль;
 - Одеса-Перемишль;
 - Запоріжжя-Перемишль;
- у сполученні зі Словаччиною:
 - Чоп-Чієна-над-Тісоу;
 - Мукачєво-Кошице;
- у сполученні з Австрією:
 - Київ-Відень;
 - Відень-Чоп (новий напрямок, запроваджений у 2022 р.);

- у сполученні з Угорщиною:

- Мукачєво-Будапешт;
- Чоп-Захонь;

- у сполученні з Молдовою:

- Київ-Кишинів (з пересадкою до ст. Ясси по ст. Унгени).

Отже, необхідно констатувати, що на сьогодні в міжнародному сполученні не забезпечено відновлення маршрутної мережі, яка діяла на період до введення карантинних обмежень, пов'язаних із пандемією COVID-19.

Водночас збройна агресія рф проти України спричинила евакуацію мирного населення до країн Європейського Союзу – зростання кількості перевезених пасажирів у напрямку ЄС. Динаміка пасажиропотоку зображена на рис. 2.

Зараз із урахуванням геополітичної та соціально-економічної ситуації існують передумови для подальшого розвитку пасажирських перевезень між Україною та Європейським Союзом. Для цього потрібні три аспекти:

- інфраструктурний;
- операційний;
- інноваційний.



Рис. 2. Динаміка зміни пасажиропотоку в міжнародному сполученні з країнами Європейського Союзу

Перш за все доцільно розглянути залізничного сполучення. Так, стосовно пунктів інфраструктурний аспект питання. На сьогодні наявна пропускання через державний кордон України інфраструктура для розвитку міжнародного ситуація виглядає так, як зазначено в таблиці [1].

Таблиця

Діючі пункти пропускання для залізничного сполучення між Україною та країнами Європи

Країна	Кількість пунктів пропускання	Назва пункту пропускання	Стандарт колії сполучення
Польща	6	«Рава-Руська» («Верхрата»)	1435
		«Рава-Руська» («Хребенне»)	1435
		«Хирів» («Кросьценко»)	1435
		«Ягодин» («Дорогуськ»)	1435/1520
		«Володимир-Волинський» («Хрубешув»)	1520
		«Мостиська» («Пшемисль»)	1435
Словаччина	2	«Павлове» («Матьовце»)	1520
		«Чоп (Страж)» («Чірна над Тисою»)	1435
Угорщина	2	«Чоп (Дружба)» («Захонь»)	1435
		«Саловка» («Еперешке»)	1520
Румунія	4	«Тересва» («Кимпулунг ла Тиса»)	1435/1520
		«Ділове» («Валя Вишеулуй»)	1520
		«Дякове» («Халмеу»)	1520
		«Вадул-Сірет» («Вікшани»)	1520
Молдова	8	«Мамалига» («Крива»)	1520
		«Кельменці» («Ларга»)	
		«Сокиряни» («Окниця»)	
		«Слобідка» («Ковбасна»)	
		«Кучурган» («Новосавицьке»)	
		«Фрікацей» («Етулія»)	
		«Рені» («Джорджюлешть»)	
		«Могилів-Подільський» («Волчинець»)	

Окрім того, зараз здійснюються роботи з демонтована залізнична інфраструктура була відновлення міжнародного пункту пропускання на відновлена після початку збройної агресії проти ділянці залізниці Березино-Бесарабська, де раніше України.

Після початку бойових дій АТ «Укрзалізниця» було здійснено ряд інфраструктурних проєктів, спрямованих на розвиток міжнародних пасажирських перевезень:

- відновлення залізничної інфраструктури на ділянці Рахів-Ділове-Держкордон (колія 1520 мм);
- відновлення залізничної інфраструктури на ділянці Рава-Руська-Держкордон (1435 мм) з реконструкцією пасажирського вокзального комплексу ст. Рава-Руська.

Разом із тим зазначені проєкти дозволять реалізувати лише місцеве сполучення (т. зв. малий прикордонний рух), при цьому, з точки зору розвитку перевезень, у далекому сполученні зазначені проєкти є малоперспективними.

У той же час, з точки зору розвитку міжнародних пасажирських перевезень у прямому та пересадковому сполученні, перспективною є реалізація таких інфраструктурних проєктів:

1. Реконструкція залізничної інфраструктури колії 1435 мм на ділянці Ковель-Ягодин-Держкордон, у тому числі:

- підвищення швидкостей руху до 160 км/год;
- електрифікація;
- реконструкція вокзалу ст. Ковель зі створенням пункту пропускання через державний кордон.

Цей комплекс заходів дозволить забезпечити:

- o курсування поїздів колією 1435 мм у сполученні з Республікою Польща та іншими країнами ЄС;
- o організацію міжнародного хабу по ст. Ковель;
- o організацію прикордонного та митного контролю під час руху поїздів на ділянці Ковель-Ягодин.

2. Відновлення залізничної інфраструктури з електрифікацією на ділянці Чоп-Ужгород зі створенням пункту пропускання через державний кордон на вокзалі ст. Ужгород. Це дозволить забезпечити пряме залізничне сполучення обласного центру Закарпатської області з країнами ЄС, а також сформувати потужний хаб по ст. Ужгород.

3. Відновлення електрифікації колії 1435 мм на ділянці Чоп-Мукачево, що дасть можливість розширити сполучення зі Словаччиною та іншими країнами ЄС (Чехія, Австрія). Окрім того, необхідно забезпечити реконструкцію станції Мукачево з метою підведення колії 1435 мм безпосередньо до вокзалу.

4. Будівництво інфраструктури колії 1435 мм на ділянці Чернівці-Вадул-Сирет-Вікшани. Це дозволить забезпечити пряме залізничне сполучення обласного центру Закарпатської області з країнами ЄС, а також сформувати потужний хаб по ст. Ужгород у сполученні з Румунією, Болгарією та Туреччиною.

Розташування запропонованих інфраструктурних проєктів зображено на схемі рис. 3.



Рис. 3. Схема розміщення інфраструктурних проєктів, спрямованих на розвиток мережі міжнародних пасажирських перевезень

Операційний розвиток системи міжнародних пасажирських перевезень доцільно розглянути з точки зору таких аспектів:

- організація курсування достатньої кількості пар поїздів;
- оптимізація графіків руху поїздів для забезпечення зручних пересадок на поїзди формування залізниць країн ЄС;
- розроблення пересадкових маршрутів по території ЄС.

Проведенням у статті [5] дослідженням доведено ефективність і доцільність застосування хабової моделі для організації пасажирських перевезень залізничним транспортом. При цьому різниця в ширині колії в Україні та країнах ЄС разом із фактом обмеженої кількості вагонів, які можна використовувати для прямого перестановочного або безперестановочного (рухомий склад з автоматичною зміною ширини колії) роблять використання хабової моделі для організації масових перевезень між Україною та Європейським Союзом безальтернативним підходом.

Напрямок Хелм. На сьогодні у сполученні через напрямок Хелма існує можливість організації перестановочного сполучення з використанням пункту перестановки вагонів по ст. Ковель і пересадочного сполучення з пересадкою по ст. Хелм.

Після реконструкції ділянки колії 1435 від ст. Ковель до ст. Ягодин і реконструкції вокзального комплексу ст. Ковель з відкриттям пункту контролю

для міжнародного сполучення стане можливим курсування поїздів формування залізниць країн ЄС зі ст. Ковель і здійснення пересадки по ст. Ковель. Окрім того, таке рішення забезпечить у подальшому організацію контрольних процедур у поїзді на шляху прямування поїзда на ділянці Ковель-Ягодин.

Зараз пересадкове сполучення забезпечується однією парою поїздів № 23/24 Київ-Хелм з групою вагонів поїзда № 93/94 Харків-Хелм. Недоліком цього сполучення є занадто пізніе прибуття до Хелма (о 12:35) і, як наслідок, прибуття до Варшави лише о 16:30. Отже, пасажир при використанні цього сполучення фактично втрачає робочий день, що робить його фактично незручним. У зворотному напрямку ситуація аналогічна: поїзд відправляється зі станції Хелм о 16:00, і для того, щоб була забезпечена пересадка, відправлення з Варшави має бути об 11:35, що є занадто рано.

Для повноцінного використання цього напрямку необхідно забезпечити курсування щонайменше трьох пар поїздів: існуюча та дві додаткові пари:

- нічний поїзд з прибуттям до Хелма не пізніше 06:00 (що дозволить здійснити пересадку на поїзд до Варшави з прибуттям о 10:28) і відправленням з Хелма не раніше 22:00 (що дозволить здійснити пересадку з поїзда з Варшави з відправленням о 17:35);

- денний поїзд з прибуттям до Хелма не пізніше 12:30 (що дозволить здійснити пересадку на поїзд до Варшави з прибуттям о 16:30) і відправленням з Хелма не раніше 10:30 (що дозволить здійснити пересадку з поїзда з Варшави з відправленням о 06:25). Для забезпечення прийнятної тривалості подорожі маршрут поїзда доцільно прокласти найкоротшим варіантом – через Коростень, Сарни, Ковель.

Організація курсування нових пар поїздів можлива за двома варіантами:

- з використанням двох составів з вагонів-трансформерів;

- використання двох составів з вагонів ЦМВ та одного состава дизель-поїзда ДПКр-3.

Слід зауважити, що організація курсування поїздів за першим варіантом має переваги з точки зору ефективності використання рухомого складу, а отже, забезпечить покращення фінансового результату від перевезень.

Окрім того, історично існує попит на перевезення пасажирів з України в напрямку країн Балтії. Результати курсування поїзда № 31/32 Київ-Рига-Київ у 2018-2020 рр. підтверджують зазначену тезу [3]. Задоволення цього попиту можливо у співпраці залізничних адміністрацій п'яти країн: України, Польщі, Литви, Латвії та Естонії. Практична реалізація цього можлива за аналогією з нещодавню організованим пересадковим сполученням Краків-Варшава-Вільнюс з пересадкою по ст. Мацкава [4]. При цьому слід забезпечити курсування поїзда

формування польських залізниць у сполученні Хелм-Мацкава за графіком, узгодженим із графіками поїздів Київ-Хелм-Київ, а також курсування поїзда Мацкава-Вільнюс-Рига-Таллінн за графіком, що забезпечує пересадку по ст. Мацкава.

Напрямок Перемишль на сьогодні найбільш пасажиронапружений у сполученні між Україною та країнами Європейського Союзу. З грудня 2016 р. розпочали курсування денні швидкісні електропоїзди категорії ІНТЕРСІТІ+ сполученням Київ-Львів-Перемишль [5]. Відтоді станція Перемишль стала міжнародних хабом для пасажирського сполучення Україна-ЄС.

Зараз існують три основні завдання щодо розвитку сполучення через станцію Перемишль:

1. Збільшення частоти курсування поїздів за маршрутом Львів-Перемишль, запровадження тактового руху з інтервалом 2 год.

2. Збільшення географії курсування поїздів у напрямку України для забезпечення сполучення всіх регіонів. Зокрема слід забезпечити сполучення Чернівців та Івано-Франківська з Перемишлем (це можна забезпечити курсуванням поїзда Чернівці-Перемишль або Кишинів-Перемишль. Останнє забезпечить надійне сполучення зі столицею Молдови для західного регіону України).

3. Формування хабу для міжнародного сполучення по ст. Мостиська-1.

Зазначені заходи дозволять забезпечити паралельність перевезень коліями 1435 мм та 1520 мм і фактично подвоїти перевізну спроможність на цьому пункті переходу.

Значний потенціал для розвитку має вузол для міжнародних перевезень ст. Чоп. Так, з боку ЄС тут є можливість прямування в напрямку Словаччини (ст. Чіерна-над-Тісоу) та Угорщини (ст. Захонь). Більш того, ст. Чоп – центр системи колій 1435 мм в закарпатській області:

- Чоп-Батьове-Мукачево;

- Батьове-Королево.

Зазначений факт дозволить після завершення проекту відновлення колії 1435 мм на ділянці Чоп-Ужгород (на сьогодні завершені проєктні роботи) забезпечити функціонування мережі внутрішнього приміського сполучення колією 1435 мм в Закарпатській області.

Також наявність розвинутої мережі інфраструктури колії 1435 мм відкриває широкі можливості для розвитку міжнародного сполучення. Так, для удосконалення сполучення з Чехією, Словаччиною, Угорщиною та Австрією доцільним є:

- подовження маршруту поїзда(-ів) Прага-Братислава до ст. Мукачево;

- подовження маршруту поїзда(-ів) Прага-Відень-Будапешт до Мукачево;

- організація курсування поїздів з Будапешта і Братислави до Королево.

Після відновлення колії 1435 мм на ділянці Чоп-Ужгород відкриється можливість формування аналогічної маршрутної мережі зі станції Ужгород із формуванням хабу для міжнародних перевезень в обласному центрі Закарпатської області.

Напрямок Чернівці-Вадул-Сірет-Вікшани є одним із перспективних напрямків розвитку залізничного сполучення з Румунією, Болгарією та в перспективі – Туреччиною.

Так, до початку пандемії COVID-19 на ділянці Вадул-Сірет-Вікшани курсували поїзди в напрямку Бухареста (причпний вагон Київ-Бухарест) і Варин (літні). У поточний період пасажирський рух на цій ділянці відсутній.

Беручи до уваги той факт, що на залізницях Румунії (CFR) і Болгарії (БДЖ) можливий рух пасажирського рухомого складу в габариті 1-ВМ, доцільно організувати перестановочне сполучення за такими маршрутами:

- Київ-Чернівці-Бухарест;
- Київ-Чернівці-Софія;
- Київ-Чернівці-Варна (літній).

Зазначені поїзди слід сформувати з вагонів Аммендорф, що пройшли капітально-відновлювальний ремонт і допущені до курсування в міжнародному сполученні.

Окрім того, будівництво колії 1435 мм на ділянці Чернівці-Вадул-Сірет-Вікшани дозволить запровадити курсування поїздів формування залізниць іноземних держав у напрямку Румунії, Болгарії, а в перспективі – Туреччини. Це у свою чергу дасть можливість сформувати хаб для міжнародних перевезень по ст. Чернівці.

Ще одним можливим напрямом розвитку залізничного пасажирського сполучення з Румунією є призначення пасажирського поїзда у сполученні Київ-Соколов. Станція Соколов знаходиться в Румунському місті Ясси і є кінцевим пунктом ділянки залізниці Унгени (Молдова) – Ясси колії 1520 мм. Відповідно перевезення за цим маршрутом можна організувати з використанням рухомого складу приписки залізниць України.

Розвиток міжнародних залізничних пасажирських перевезень залежить не лише від розвитку інфраструктури і організації перевезень. Важливу роль відіграють елементи інтелектуальної транспортної системи:

- система інформування пасажирів;
- система продажу перевезення.

Так, у багатьох пасажирів перспектива здійснення подорожі з пересадкою викликає острах. Причини остраху – це уявний ризик спізнання на пересадку та складність пересадки в незнайомому хабі (для пасажирів, які здійснюють таку подорож вперше).

Саме для вирішення цих питань необхідно забезпечити належний інформаційний супровід міжнародних перевезень на всіх етапах подорожі: від планування подорожі та вибору оптимального маршруту до моменту здійснення пересадки та інформування на шляху прямування про можливі зміни і затримки. Зокрема слід інформувати пасажирів про гарантованість пересадки, у тому числі при виникненні затримки одного з поїздів.

З урахуванням того, що залізничний транспорт найчастіше виступає як найнадійніший, безпечний і екологічний вид транспорту в міжнародному сполученні, залізничні вокзальні комплекси перетворюються на багатофункціональні хаби. Це забезпечує безпечну та зручну пересадку пасажирів з точки зору скорочення її тривалості [6]. Для формування заходів щодо уникнення незручностей та остраху при пересуванні пасажирів на хабах запропоновано удосконалення прямування пасажиропотоків при здійсненні пересадки [7], що дозволяє враховувати особливості логістичної мультимодальної технології доставки пасажирів на основі узгодження руху пасажирських поїздів міжнародного сполучення.

Мультимодальне перевезення в пасажирському сполученні – це перевезення пасажирів на окремо взятому напрямку транспортними засобами одного або декількох перевізників на основі логістичних принципів [7].

Дослідження [8] доводять, що до показників ефективності організації мультимодального перевезення пасажирів у міжнародному сполученні можна віднести повні витрати часу на поїздку T . Вони включають час на поїздку в кожному i -му виді транспорту t_{pi} , на пішохідні підходи $t_{підх}$ (або під'їзд власним іншим транспортом) до початкового або кінцевого пункту. Важливою складовою є тривалість очікування кожного виду транспорту $t_{оч}$, а також час пересадки $t_{пер}$, що має бути комфортним для пасажирів.

Тоді тривалість мультимодального перевезення пасажирів у міжнародному сполученні складе

$$T = 2 t_{підх} + \sum_i (t_{pi} + t_{очi} + t_{перi}) \quad (1)$$

Характеристиками доступності хабу є тривалість пішохідного підходу та очікування транспорту. Досвід закордонних вчених [4] показує, що топологія пересадочного хабу має задовільну доступність, якщо з 75 % пунктів у великому місті можна його досягти за $t_{підх} \leq 45$ хв. Європейські норми встановлюють, що пасажирів і відвідувачів мають можливість дістатися до будь-якої точки хабу за час не більше 5 хв.

Час, що витрачається на мультимодальну міжнародну поїздку в транспорті,

$$t_{\Pi i} = \frac{60L_i}{v_{mi}}, \quad (2)$$

де L_i – відстань поїздки пасажера кожним видом транспорту і по кожній залізниці різних країн, км;

v_{mi} – маршрутна швидкість перевезень i -м транспортом на заданій ділянці маршруту, км/год.

Оцінювання часу очікування транспорту відбувається на підставі середнього інтервалу руху транспорту, наприклад запропоновано, за роботою [3], застосовувати відому формулу

$$t_{\text{оч } i} = \frac{I_p}{2} + \frac{D_{I_p}}{2I_p}, \quad (3)$$

де I_p – середній інтервал руху, хв;

D_{I_p} – дисперсія інтервалу руху транспорту.

Окремої уваги потребує адаптація системи бронювання та придбання квитків до особливостей продажу квитків з пересадкою за складним маршрутом. Тут, зокрема, необхідні такі функції:

- пошук квитків за складним маршрутом;
- бронювання та продаж за складним маршрутом (незалежно від фактичного перевізника, що здійснює перевезення на кожному сегменті);
- взаємне визнання перевізниками електронних квитків за всіма можливими складними маршрутами;
- бронювання та продаж мультимодальних перевезень;
- бронювання та продаж сегментів перевезень автобусом/таксі в містах, де здійснюється пересадка на авіатранспорт.

Реалізація зазначених функцій можлива:

- через приєднання України до загальноєвропейської системи бронювання;
- приєднання до Глобальних систем резервації (GDS – Global Distribution Systems): Amadeus, Galileo, Sabre тощо;
- забезпечення міжсистемної взаємодії між системами резервування перевізників, задіяних на кожному сегменті складного маршруту.

Зазначені заходи дадуть можливість збільшити переваги залізничного транспорту на ринку перевезень Україна-ЄС, отримати конкурентні переваги, що дозволять навіть після Перемоги України і відкриття повітряного простору нашої країни для літаків цивільної авіації закріпити і втримати відповідну частку на цьому високомаржинальному ринку.

Висновки

Результати аналізу вказують на значний потенціал розвитку міжнародних пасажирських залізничних перевезень між Україною та країнами ЄС.

Визначено перелік інфраструктурних проєктів, реалізація яких дозволить створити повноцінну високоефективну мережу пасажирських залізничних перевезень між Україною та ЄС.

На основі аналізу поточного стану та особливостей організації міжнародних пасажирських залізничних перевезень визначено та запропоновано комплекс заходів задля підвищення ефективності цих перевезень. Реалізація його дозволить значно збільшити обсяги перевезень без збільшення парку рухомого складу залізниць України, а також покращити ряд параметрів (скоротити час подорожі, розширити маршрутну мережу тощо).

Визначено фактори розвитку ІТ-інфраструктури, що зараз не дають можливості подальшому розвитку міжнародних пасажирських залізничних перевезень. Сформульовано перелік заходів, спрямованих на подолання цього бар'єрного місця.

Реалізація цих заходів дозволить посилити конкурентні переваги залізничного транспорту на конкурентному ринку пасажирських перевезень за напрямком Україна-ЄС, зробити перевезення більш ефективними, швидкими та зручними для пасажирів. Їхня реалізація сприятиме євроінтеграційним процесам в Україні.

Список використаних джерел

1. <https://www.ukrinform.ua/rubric-tourism/3338716-ukrzalznica-vidnovlue-kursuvanna-poizda-kiiv-varsava.html>.
2. Перелік пунктів пропуску. Офіційний інтернет-портал Державної прикордонної служби. URL: <https://dpsu.gov.ua/ua/perelik-punktiv-propusku/>. Назва з екрана.
3. <https://web.archive.org/web/20200215153037/https://info.uz.ua/news/populyarnist-poizda-chotiri-stolitsi-zrostae-u-serpni-bulo-zapovнено-bilshe-85-mists>.
4. Vilnius–Warsaw–Krakow–Vilnius: EVERYDAY in both directions. URL: <https://ltglink.lt/en/vilnius-warsaw-krakow-vilnius>.
5. Коробьева Р. Г. Повышение качества пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте. *Транспортні системи і технології перевезень* : зб. наук. праць Дніпров. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро, 2018. Вип. 16. С. 53–58. DOI: 10.15802/tstt2018/164064.
6. Бутько Т. В., Прохорченко А. В., Журба О. О. Формування моделі організації пасажиропотоків при здійсненні пересадок на залізничному вокзалі з використанням колективного інтелекту. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2006. № 3/2. С. 6-9.
7. Шляхи удосконалення технології мультимодальних швидкісних пасажирських перевезень / Д. Ломотько, Д. Воскобойников, М. Листопад, А. Сірдачук. *Транспортні системи та технології*

- перевезень. 2017. № 13. С. 59-66. DOI : 10.15802/tstt2017/110770.
8. Формування узгодженого графіку руху для мультимодальних пасажирських перевезень за участю залізничного транспорту / Д. В. Ломотко, О.В.Філіпський, М.Д. Ломотко, О.М. Красноштан. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2019. № 2(135). С. 49-58. DOI: 10.18664/іkszt.v0i2.164954.
9. Yixiang Yue, Shifeng Wang, Leishan Zhou, Lu Tong, M. Rapik Saat, Optimizing train stopping patterns and schedules for high-speed passenger rail corridors, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Vo. 63. February 2016. P. 126-146. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2015.12.007>.

D. Lomotko, O. Krasnoshtan, O. Kava. Ways and mechanisms of suburban passenger rail logistics development on non-electrified railway lines.

Abstract. The article analyzes the general trends of changes in the volume of transportation by rail transport in international traffic. The reasons for the change and the prospects for increasing the indicators of this type of activity of railway transport of Ukraine are determined. The impact of international passenger rail transportation on the social development of the country and regions is analyzed.

The current situation creates a number of opportunities for the development of international rail passenger transportation. The article provides a detailed analysis of the mentioned opportunities and makes suggestions for their practical implementation.

It was concluded that it is necessary to take immediate, comprehensive and effective measures for the transition to the phase of development of international passenger rail transportation. The complex problem of providing rolling stock for international transportation is identified and a complex approach to solving problematic issues with its involvement is proposed. An approximate plan-schedule for the implementation of the specified set of measures is proposed. Forecasting of the expected effect from the introduction of the proposed set of measures has been carried out.

Keywords: international passenger rail transportation, transfer connection, system development, route network.

Ломотко Денис Вікторович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортних систем і логістики, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. ORCID ID <http://orcid.org/0000-0002-7624-2925>, den@kart.edu.ua, **Красноштан Олександр Михайлович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри менеджменту, Національний транспортний університет, Київ, Україна. olexander.krasnoshtan@gmail.com, ORCID ID <http://orcid.org/0000-0001-9866-9930>

Кава Олександр Степанович, магістр, Заступник Міністра фінансів України. kavaua@gmail.com, ORCID ID <http://orcid.org/0000-0002-6981-7735>

Denis Lomotko, Doctor of engineering, professor department of Transport system and Logistic, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: den@kart.edu.ua ORCID ID <http://orcid.org/0000-0002-7624-2925> Scopus ID 57190438925

Olexander Krasnoshtan, PhD (Engineering), associated professor, Department for Management, National transport univecrity, Kyiv, Ukraine. E-mail: olexander.krasnoshtan@gmail.com ORCID ID <http://orcid.org/0000-0001-9866-9930>

Olexander Kava, Master, Deputy Minister of finance of Ukraine, Kyiv, Ukraine. E-mail: kavaua@gmail.com, ORCID ID <http://orcid.org/0000-0002-6981-7735>

Надійшла 02.02.2023 р.

СЕРКОВ О. А., д.т.н., професор (Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»),
ТРУБЧАНИНОВА К. А., д.т.н., професор (Український державний університет залізничного транспорту),
КАСІЛОВ О. В., к.т.н., доцент (Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»),
ЛИСЕЧКО В. П., к.т.н., доцент (Український державний університет залізничного транспорту)

Теорія інформації та системи безпроводного зв'язку

Проведено аналіз властивостей інформації та визначено основні етапи її життєвого циклу. Рекомендовано підвищувати ефективність цифрових систем безпроводного зв'язку шляхом збільшення інформаційної ємності сигналу, використовуючи технологію надширокопasmового зв'язку. Розширення бази інформаційного сигналу слід здійснювати за рахунок одночасного кодування, модуляції та синхронізації інформаційного біта. Рекомендовано порівняльний аналіз інформаційних систем здійснювати з використанням інтегрального показника інформаційної ефективності, складовими якого є показники енергетичної та частотної ефективності.

Ключові слова: властивості інформації, ентропія, ефективність інформаційної системи, критерій ефективності.

Вступ

З переходом до постіндустріальної інформаційної фази інформація та інформаційна інфраструктура суспільства займають одне з центральних місць. При цьому питання оцінювання якості і ефективності систем передачі інформації стають все більш актуальними. Це обумовлює необхідність оцінювання ризиків спотворення і втрати інформації в системах передачі, особливо в системах безпроводного зв'язку.

Постановка проблеми, аналіз досліджень і публікацій

Розробляються рекомендації щодо підвищення ефективності інформаційних цифрових систем безпроводного зв'язку. При цьому центральним питанням дослідження є подальший розвиток теорії інформації з урахуванням особливостей технічних характеристик каналів зв'язку.

Задачі теорії інформації. При становленні та розвитку теорії інформації як математичної теорії зв'язку [1] у природознавчих науках склалося декілька точок зору. У вузькому класичному розумінні теорія інформації призначена для вирішення завдань підвищення ефективності функціонування систем зв'язку. Це задачі формалізації опису джерел інформації, їхнього оптимального кодування, а також визначення гранично припустимих якостей каналів зв'язку. У той же час теорія інформації призначена

оптимізувати системи зв'язку взагалі шляхом розв'язання багатокритеріальних задач із урахуванням математичних моделей різних елементів. Такий підхід є результатом розвитку класичної теорії та її додатків у галузі зв'язку.

Один із підходів до визначення кола завдань у рамках теорії інформації – це вирішення всіх проблем і завдань, до формулювання яких входить поняття інформації [2].

У класичній шеннонівській теорії інформації термін «інформація» використовують як синонім терміна «кількість інформації», що має строге математичне визначення. Це поняття пов'язане з іншим центральним поняттям цієї теорії – «ентропія». Кількість інформації H (у бітах), необхідної та достатньої для повного зняття невизначеності про стан об'єкта, що має N рівноймовірних станів, вимірюється як логарифм з основою 2 з кількості можливих станів.

$$H = \log_2 N.$$

Ентропія є кількісною мірою статистичної невизначеності, а інформація – різницею ентропії до отримання інформації та ентропії, що залишилася після зняття частини невизначеності.

$$I = \log_2 \frac{p_1}{p_2} = \log_2 p_1 - \log_2 p_2,$$

де p_1 – апіорна імовірність стану об'єкта;

p_2 – апостеріорна імовірність стану об'єкта.

У загальному випадку ступінь невизначеності стану об'єкта залежить від кількості його можливих станів та імовірності цих станів. Джерело інформації може однозначно і повно характеризувати ансамбль станів $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ відповідно з імовірностями $\{p(u_1), p(u_2), \dots, p(u_n)\}$ кожного стану за умов, що сума всіх станів складає 1. У цьому випадку як кількісна міра інформації, як невизначеність обрання дискретним джерелом станів ансамбля U може бути використана запропонована К. Шенноном у 1946 р. величина, що отримала назву ентропії дискретного джерела інформації або ентропії кінцевого ансамблю [3]. Вона характеризує невизначеність, яка в середньому припадає на один стан ансамблю.

$$H(U) = -\sum_{n=1}^N p_n \log_2 p_n.$$

Коли невизначеність знята повністю, то ентропія чисельно дорівнює інформації. Однак такий підхід має обмеження у випадку нестатистичного характеру невизначеності. До недоліків чисельного значення ентропії, як виміру невизначеності, відносять і той факт, що вона може набувати безкінечно великих значень. Причому класичну (шеннонівську) теорію інформації, за Хеммінгом, наводять у вигляді математичної теорії про подання символів довільної природи в деякому фіксованому алфавіті.

Із розвитком додатків на термін «інформація» накладається все більше навантаження, доки це поняття не стало в один ряд з такими поняттями, як матерія та енергія. Із філософської точки зору, інформація – це властивість матеріальних об'єктів відбиватися. У широкому сенсі поняття інформації завжди пов'язане з її фіксацією на деякому матеріальному носії. Причому інформація наводиться в деякій системі символів, яку вивчає семіотика на трьох рівнях:

- синтаксичний рівень, що досліджує внутрішні властивості текстів;
- семантичний рівень, що формує та вивчає відношення між текстом і тим, що він означає в навколишньому світі;
- прагматичний рівень, що вивчає відношення між текстом і тим, хто його використовує.

Інтуїтивним поданням поняття «інформація» є деякі дані чи повідомлення. Причому у класичній

теорії інформації підкреслено, що під інформацією розуміють ті повідомлення, які знімають невизначеність, вимірювану чисельно ентропією.

У той же час усіма прийнято, що інформація подається в деякій знаковій системі (кодування) і має бути зафіксованою на деякому матеріальному носії. Поза фіксацією інформації не існує. У зв'язку з цим загальновизначеними властивостями інформації є:

1. *Фіксованість* інформації. Інформація може існувати тільки на деякому матеріальному носії.

2. *Інваріантність* інформації відносно природи носіїв. Одна й та сама інформація може бути записаною будь-якою мовою, за допомогою будь-якого алфавіту (системи знаків) на різних носіях.

3. *Кінцевий об'єм* інформації. Інформація надається визначеною кінцевою кількістю елементарних символів деякого алфавіту.

4. *Бренність* інформації. Властивість інформації знищуватися і старіти як у випадку руйнування носія інформації, так і в результаті процесів її використання.

5. *Транслявання, розмноження та мультиплікативність* інформації. Властивість інформації бути перезаписаною на інший носій або інший екземпляр, а також можливість існування однієї і тієї самої інформації у вигляді декількох копій.

6. *Дієвість* інформації як первинна властивість для побудови деякого оператора цілеспрямованої діяльності.

7. *Семантика*. Інформація повинна мати деякий сенс, щоб її можна було використати з тією чи іншою метою.

8. *Поліпотентність* інформації – можливість її використання для різних цілей.

9. *Цінність* інформації – властивість проявлятися в матеріалізованому вигляді при побудові різних операторів.

10. *Повнота* інформації про деякий об'єкт характеризує здатність повного відновлення на гранті цього об'єкта.

При цьому визначають основні етапи життєвого циклу інформації:

1. *Народження інформації* – створення змісту інформації та її носіїв.

2. *Розвиток (накопичення) інформації* – збільшення об'єму інформації та організація інформаційних зв'язків, запис її на інформаційні носії.

3. *Старіння інформації* – зменшення об'єму, втрата зв'язків всередині інформаційного простору.

4. *Загибель інформації* – зменшення інформаційного об'єму до нуля бітів, втрата семантичних зв'язків та інформації, руйнування носіїв інформації.

При аналізі інформації існує два підходи.

Перший ґрунтується на тому, що система символів (понятійний апарат) створюється людиною під час її

пізнавальної діяльності. При цьому система поглядів на суть інформації включає наявність інформації тільки там, де є свідомість, визнає вторинність символу в пізнавальній діяльності людини, а також обмеженість об'єму інформації про об'єкт.

Інший підхід ґрунтується на тому, що символи започатковано надсистемою, а людина наповнює їх змістом у процесі життєдіяльності. З цих позицій виникають альтернативні погляди на суть інформації. Це присутність інформації повсюди як у матеріальному світі, так і світі духовному, визнання первинності символу і того факту, що повна інформація про об'єкт може бути нескінченною.

У той же час топологічні форми конкретних фізичних об'єктів створюють інформаційні структури, які називають формовими статичними торсійними полями. Таке поле визначають як інформаційне поле, що переносить інформацію про процеси, що проходять у фізичних об'єктах. Причому навколо цих топологічних форм існують зони, де можливий інформаційний контакт, що ґрунтується не просто на впливі подразника на органи чутливості людини, а на безпосередній взаємодії з інформаційними структурами людини, її мозком. При цьому слід зазначити, що ці поля мають високу проникну здатність [4]. Тому вони проходять через природні середовища без ослаблення. Їх неможливо екранувати натурними матеріалами.

Такий підхід, що розглядає інформаційні поля як матеріальні, згладжує відмінності між існуючими двома підходами, об'єднуючи їх, і дозволяє розглядати поняття «інформація» з єдиних матеріалістичних позицій.

Отже, інформація є універсальною властивістю матерії, що являє собою розповсюдження у просторі та часі змісту об'єктів або дійсності за допомогою існуючих носіїв різної природи. При цьому основним завданням теорії інформації є забезпечення надійної неспотвореної передачі інформації з метою створення ефективних інформаційних систем з максимальною точністю при мінімальних затратах.

Викладення основного матеріалу

Інформація та сигнали. Для передачі інформації на відстань використовують сигнали, що несуть інформацію. При цьому виникає питання щодо інформаційної ємності сигналу, що суттєво залежить від типу сигналу та визначає вимоги до каналів передачі даних каналами зв'язку. Одночасно з цим технічні характеристики каналів зв'язку визначають вимоги до інформаційної ємності сигналів, що передаються цим каналом.

Передача каналами зв'язку безперервних сигналів можлива за умов, коли максимальна частота інформаційного сигналу F_{max} не перевищує граничної

частоти F_{np} пропускної спроможності каналу зв'язку.

Для оцінювання граничної інформаційної ємності безперервного сигналу слід виконати його дискретизацію з граничним інтервалом $\tau = 1/2F_{max}$,

що дозволяє відновити сигнал без втрати інформації.

Прийнявши повну тривалість сигналу за t_s , кількість відділків складе

$$N = \frac{t_s}{\tau} = 2F_{max}t_s.$$

У випадку використання несинусоїдальних сигналів вони випромінюються до вільного простору без несучої частоти. Розширення смуги основного інформаційного сигналу здійснюють шляхом множення його з послідовністю двійкових сигналів. Причому важливим параметром, що впливає на розширення смуги сигналу, є мінімальна тривалість імпульсів у двійковій послідовності. У випадку використання імпульсів тривалістю $1 \dots 0,1$ нс отримуємо ширину смуги сигналу, що практично дорівнює 10 ГГц. Розподіл енергії в цій смузі частот зменшує спектральну щільність потужності до таких малих рівнів, що випромінювання неможливо зафіксувати за допомогою звичайного контрольного обладнання, яке використовує відносно малу смугу частот. Вказаний діапазон частот обумовлено тим, що загасання радіосигналу в цьому діапазоні практично відсутнє.

Надширокосмугові сигнали є найбільш придатними для вирішення практичних завдань при організації безпроводного зв'язку. Розширення інформаційної бази сигналу найбільш ефективно реалізують під час створення ансамблю складного сигналу шляхом його одночасного кодування та модуляції, що дозволяє найповніше використовувати шеннонівську пропускну здатність каналу з високою достовірністю передачі інформації без суттєвого підвищення співвідношення сигнал/шум на вході приймача. При використанні складного сигналу, коли біт інформації передається за період T_C двійковою числовою послідовністю, його базу визначає таке співвідношення [5, 6]:

$$B_C = \frac{T_C}{\tau_C},$$

де τ_C – тривалість елементарного символу (чипа) числової послідовності.

Отже, збільшення бази сигналу при збереженні швидкості передачі інформації можливе шляхом

зменшення тривалості чипа τ_C . У той же час широка смуга частот і надкоротка тривалість чипа потребують підвищення вимоги до точності синхронізації. Інформаційні сигнали та сигнали синхронізації знаходяться на одному енергетичному рівні, а спектральна щільність усіх каналів – на рівні шумів. Тому при передачі інформації каналом зв'язку значно зростає імовірність бітових похибок, зменшення яких можливе через створення складної сигнально-кодової конструкції за рахунок одночасного завадостійкого кодування, синхронізації та модуляції інформаційного біта. У результаті інформаційний сигнал відокремлений від опорного на одному бітовому інтервалі T_C , займає велику смугу частот і має значно меншу його інтенсивність. Розширення спектра призводить до того, що сигнал більш рівномірно розподілений у визначеній області спектра, що підвищує завадостійкість інформації та знижує імовірність його перехоплення за рахунок відсутності синхронізованої копії розширювального сигналу. Однак оцінювання ефективності інформаційних систем потребує застосування відповідних критеріїв.

Критерій ефективності інформаційних систем

Технічний ефект інформаційної системи визначає кількість і якість переданої інформації [7] за деякий проміжок часу або одиницю часу. Це швидкість передачі R (біт/с) та імовірність похибки P при передачі дискретних повідомлень.

Показники енергетичної $\beta = \frac{R_i N_0}{P_C}$ і частотної

ефективності $\gamma = \frac{R_i}{F_C}$ визначають витрати цих ресурсів. У цих співвідношеннях P_C – потужність сигналу, F_C – смуга частот сигналу, R_i – швидкість передачі.

Об'єднуючи ці показники, отримуємо інтегральний показник інформаційної ефективності

$$\eta = \frac{R_i}{C},$$

де C – пропускна здатність каналу зв'язку.

Він є найбільш загальним показником, що визначає технічний ефект інформаційної системи. Коефіцієнти β і γ можливо розрахувати для більшості реальних систем з метою їх порівняння. Змінюючи ці взаємопов'язані характеристики, виникає можливість оцінити ступінь впливу реальних каналів зв'язку та неідеальності параметрів пристроїв

приймання/передачі інформаційних сигналів для визначення їхнього оптимального співвідношення

$$\beta = \frac{\gamma}{2^\gamma - 1}. \text{ При } \eta = 1 \text{ отримуємо граничну}$$

залежність між β та γ (межа Шеннона), при якій будь-який радіоканал буде мати гірші характеристики за енергетичною та частотною ефективністю.

Пропускна здатність каналу з адитивним гаусовим шумом складає

$$C = \log \left(\frac{P_C}{P_{ш}} + 1 \right), \text{ біт/с,} \tag{1}$$

чи при розрахунках на один символ

$$C_n = 0.5 \log \left(\frac{P_C}{P_{ш}} + 1 \right). \text{ біт/відлік.}$$

Отже, як узагальнюючий показник технічного ефекту інформаційної системи введено коефіцієнт використання пропускної здатності каналу зв'язку (інформаційна ефективність).

$$\eta = \frac{R_i}{C} = 1 - \chi, \tag{2}$$

де $\chi = \frac{(C - R_i)}{C} = 1 - \eta$ – надлишковість каналу зв'язку.

З урахуванням співвідношень (1) і (2) маємо

$$\eta = \gamma \log \left(\frac{\gamma}{\beta} + 1 \right).$$

При цьому β/γ -діаграми дають змогу достатньо швидко обирати параметри інформаційної системи, що задовольняють задані вимоги, або здійснити її оптимізацію за коефіцієнтами β/γ [8].

Висновки

Показано, що використання технології надширокопосмугових сигналів дає змогу здійснити безпроводну приховану передачу інформації з малою потужністю випромінювання. Тому ефективність цифрових систем зв'язку суттєво збільшується за рахунок створення ансамблю складного сигналу шляхом одночасного кодування, модуляції та синхронізації інформаційного біта, що розширює його інформаційну базу, забезпечуючи при цьому прихованість та енергетичну ефективність у

двійковому симетричному каналі. Розподіл у часі синхроімпульсу та інформаційного сигналу в межах тривалості інформаційного біта дає змогу гарантовано забезпечити вимоги завадостійкості, прихованості та безпеки каналів безпроводного зв'язку за рахунок передачі інформації сигналами з невеликою потужністю випромінювання. Велика база сигналу забезпечує усталену беззавадову роботу цифрової інформаційної системи зв'язку також у випадку знаходження рівня інформаційного сигналу нижче рівня шуму.

Список використаних джерел

1. Shannon C. E. Collected Papers / Edited by N.J.A Sloane and Aaron D. Wyner. IEEE press, 1993. 923 p.
 2. Кожевников В. Л., Кожевников А. В. Теорія інформації та кодування: навч. посіб. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2011. 108 с.
 3. Курко А. М., Решетник В. Я. Введення в теорію інформації: навч. посіб. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 108 с.
 4. Іващенко П. В. Основи теорії інформації: навч. посіб. Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2015. 53 с.
 5. Serkov A., Trubchaninova K., Mezitis M. Method of wireless transmission of digital information on the basis of ultra-wide signals. *Advanced Information Systems*. 2019. Vol.3, No. 4. P. 33-38.
 6. Lazurenko B. A., Serkov A. A., Trubchaninova K. A., Horiushkina A. E. Security Improvement Techniques for mobile applications of Industrial Internet of Things. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*. 2020. Vol. 20, No. 5. P. 145-149.
 7. Спосіб передачі інформації надширокопasmовими імпульсними сигналами: пат. на винахід UA 123519 Україна МПК Н04В 1/02 / Б. О. Лазуренко, В. Я. Певнєв, О. А. Серков, В. А. Ткаченко, В. С. Харченко; заявка № а 2019 05980; подана 30.05.2019; опубл. 14.04.2021, Бюл. № 15.
 8. Надширокопasmова антена з мерехтливою поляризацією та спосіб її збудження: пат. на винахід UA 126475 Україна МПК Н01Q 21/06, Н01Q 13/08 / С. В. Панченко, О. А. Серков, К. А. Трубочанинова, М. С. Курцев, Б. О. Лазуренко; заявка № а 2019 08720; подана 19.07.2019; опубл. 13.10.22, Бюл. № 41.
- Serkov O., Trubchaninova K., Kasilov O., Lysechko V. Information theory and wireless communication systems.**
Abstract. An analysis of information properties was carried out and the main stages of its life cycle were determined. It is recommended to increase the efficiency of digital wireless communication systems by increasing the information capacity of the signal using ultra-broadband communication technology. Ultra-broadband signals are the most suitable for solving practical problems in the organization of wireless communication. It is shown that the use of technology of ultra-broadband signals allows wireless hidden transmission of information with low radiation power. Therefore, the efficiency of digital communication systems is significantly increased due to the creation of a complex signal ensemble by simultaneous coding, modulation and synchronization of an information bit, which expands its information base, while ensuring stealth and energy efficiency in a binary symmetric channel. The time distribution of the sync pulse and the information signal within the duration of the information bit makes it possible to guarantee the requirements of immunity, stealth and security of wireless communication channels due to the transmission of information by signals with low radiation power. A large signal base ensures stable, trouble-free operation of the digital information communication system even when the level of the information signal is below the noise level. However, the evaluation of the effectiveness of information systems requires the application of appropriate criteria. It is recommended to carry out a comparative analysis of information systems using an integral indicator of information efficiency, the components of which are indicators of energy and frequency efficiency.
Keywords: information properties, entropy, information system efficiency, efficiency criteria

Надійшла 17.01.2023 р.

Серков Олександр Анатолійович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри систем інформації, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

E-mail: aleksandr.serkov@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6446-5523>.

Трубочанинова Карина Артурівна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна.

E-mail: tka2@ukr.net <https://orcid.org/0000-0003-2078-2647>.

Касілов Олег Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри систем інформації, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

E-mail: o.kasilov@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0002-8524-2345>.

Лисечко Володимир Петрович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна.

E-mail: lysechkov@ukr.net <https://orcid.org/0000-0002-1520-9515>.

Serkov Oleksandr, Doctor of sciences (engineering), Full Professor, Professor of Information Systems Department, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine.

E-mail: aleksandr.serkov@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6446-5523>.

Karyna Trubchaninova, Doctor of sciences (engineering), Full Professor, Professor of Transport Communication Department, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: tka2@ukr.net <https://orcid.org/0000-0003-2078-2647>.

Kasilov Oleg, PhD (Technical Sciences), Associate Professor, Professor of Information Systems Department, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine.

E-mail: o.kasilov@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0002-8524-2345>.

Lysechko Volodymyr, PhD (Technical Sciences), Associate Professor, Professor of Transport Communication Department, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: lysechkov@ukr.net <https://orcid.org/0000-0002-1520-9515>.

ЄЛІЗАРЕНКО А. О., канд. техн. наук, доцент (УкрДУЗТ)

Уніфікована методика розрахунку зон обслуговування в мережах залізничного технологічного радіозв'язку

Проведено аналіз вимог до удосконаленої уніфікованої методики розрахунку зон обслуговування в мережах технологічного радіозв'язку.

Розроблено пропозиції щодо уніфікованої методики розрахунку, яка б задовольняла розглянуті вимоги. Перехід від графоаналітичних методів до єдиної аналітичної форми розрахунків підвищує точність і спрощує автоматизацію.

Ключові слова: залізничний технологічний радіозв'язок, енергетичні характеристики радіоканалів, зони обслуговування, розрахунок дальності радіозв'язку.

Вступ

Застосування сучасних радіотехнологій дозволяє суттєво підвищити надійність технічних засобів. У той же час канали рухомого радіозв'язку через складні умови поширення радіохвиль та умови експлуатації є найбільш вразливим елементом систем радіозв'язку. Важливо передбачити можливості підвищення надійності каналів радіозв'язку ще на етапі проектування. Це можна забезпечити за рахунок використання адекватної моделі розрахунку зон обслуговування радіомереж.

Сектор радіозв'язку в складі Міжнародного союзу електрозв'язку (ITU-R) очолює дослідження і розроблення рекомендацій з питань розрахунку каналів рухомого радіозв'язку. На сьогодні для вирішення практичних завдань прогнозування рівнів сигналів у каналах рухомого радіозв'язку базовими є модель Окамура-Хата і методика розрахунку за рекомендацією ITU-R P.1546 [1, 2].

У Рекомендації P.1546 [1] використовується методика розрахунку напруженості поля для суходільної рухомої служби на основі кривих поширення радіохвиль, отриманих у результаті численних експериментальних досліджень. Метод прогнозування напруженості поля за моделлю Окамура-Хата, запропонованою для умов великого міста, у рекомендації ITU-R P.529 розвинено також для умов приміської зони і сільської місцевості за рахунок введення відповідних поправок [2, 3]. Рекомендації Міжнародного союзу залізниць з впровадження мереж стільникового радіозв'язку GSM-R фактично базуються на основі моделі Окамура-Хата для умов міст [4].

Отже, відомі міжнародні методики розрахунку каналів рухомого радіозв'язку не враховують умов організації каналів технологічного радіозв'язку на ділянках залізниць.

Розроблено відомчі нормативні документи, що базуються на результатах експериментальних досліджень поширення радіохвиль на станціях і перегонах. Для мереж станційного, поїзного та ремонтно-оперативного радіозв'язку використовують окремі документи [5, 6]. У залізничних моделях використовуються підходи, аналогічні викладеним у рекомендаціях Міжнародного союзу електрозв'язку. Передбачено, що паспорти проєктованих радіомереж мають містити дані про розрахункову і фактичну встановлену дальність радіозв'язку [7].

Постановка проблеми

Залишається актуальною проблема розроблення уніфікованої, єдиної для всіх видів радіомереж, перспективної методики розрахунку зон обслуговування.

Основні результати

При проектуванні систем рухомого радіозв'язку важливе значення має розрахунок зон обслуговування радіомереж або дальності радіозв'язку. Дальність радіозв'язку – це максимальна відстань, на якій забезпечується необхідна якість зв'язку.

Припускаючи, що на границі зони обслуговування (при максимальній дальності зв'язку) напруга на вході приймача радіостанції $U_{\text{вх}}$ дорівнює мінімально допустимому значенню $U_{2\text{мін}}$,

$$U_{\text{вх}} = U_{2\text{мін}}.$$

У загальному випадку дальність радіозв'язку визначають у напрямку від стаціонарної до возимої радіостанції рухомого об'єкта, оскільки умови приймання сигналів на рухомому об'єкті значно гірше, ніж на стаціонарному, внаслідок більш високого рівня

радіозавод у безпосередній близькості від пристроїв контактної мережі [5].

Розрахунки дальності радіозв'язку та зон обслуговування проводяться на основі використання трьох окремих відомчих нормативних документів з організації та розрахунку каналів станційного, поїзного і ремонтно-оперативного радіозв'язку на залізничному транспорті України [5, 6]. Мінімально допустимий рівень корисного сигналу $U_{2\text{мін}}$

визначають за табл. 1 залежно від виду тяги поїздів, швидкості руху і типів локомотивів [5].

При розрахунках енергетичних характеристик радіоканалів технологічні відмінності радіомереж не мають принципового значення. Важливе значення мають використовувані смуги радіочастот, умови організації радіомереж – перегони або станції; інфраструктурні особливості – електрифіковані або неелектрифіковані ділянки та ін.

Таблиця 1

Мінімально допустимі рівні корисних сигналів на вході приймачів локомотивних радіостанцій у мережах технологічного радіозв'язку

Умови експлуатації радіозасобів	$U_{2\text{мін}}$ для приймачів радіостанцій, дБ	
	ЖР-У-ЛП	«Оріон» РВ
Ділянка з тепловозною тягою	4	2
Електровози на ділянках постійного струму при швидкості руху, км/год:		
до 120	10	8
понад 120	14	12
Електровози на ділянках змінного струму:		
у рівнинній частині	18	14
у гірських районах	15	12
Електровози на ділянках змішаної тяги:		
у рівнинній частині	23	16
у гірських районах	18	14
Тепловози на станціях з електротягою постійного струму	23	6
Тепловози на станціях з електротягою змінного струму	18	14

Необхідне розроблення єдиної уніфікованої методики, яка б забезпечувала розрахунки радіомереж різного призначення.

Проведений аналіз дозволив сформулювати основні вимоги до уніфікованої методики розрахунку каналів технологічного радіозв'язку.

1. Доцільно використовувати єдине сімейство кривих поширення радіохвиль у різних мережах, а відмінності умов організації врахувати відповідними поправковими коефіцієнтами, що визначають для умов перегонів і залізничних станцій, електрифікованих і неелектрифікованих ділянок.

2. У чинних методиках необхідно впорядкувати систему поправкових коефіцієнтів, що враховують особливості організації кожної з мереж.

3. Провести уніфікацію параметрів імовірнісних характеристик флуктуаційних процесів.

4. Розробити аналітичну модель розрахунків, що спрощує автоматизацію проектування.

У відомчих методиках відповідно до рекомендацій ITU-R при розрахунках дальності радіозв'язку використовуються криві поширення радіохвиль, що враховують залежність напруженості електричного

поля E_2 від відстані. В уніфікованій методиці використовується єдине сімейство кривих поширення радіохвиль і відповідні поправкові коефіцієнти, що враховують параметри та особливості організації кожної з мереж. У роботі запропоновано як базові використовувати криві поширення радіохвиль, наведені в методиці для перегонів залізниць [6].

Графіки побудовані на основі результатів експериментальних досліджень при певних параметрах радіомереж для умов перегонів на неелектрифікованих ділянках залізниць у середньопересіченій місцевості (тип траси 2), характерній для більшості регіонів України. Крива 1 на рис. 1 побудована для добутку висот установлення антен $h_1 h_2 = 100 \text{ м}^2$. Погіршення умов поширення радіохвиль на залізничних станціях запропоновано врахувати додатковим параметром $V_{\text{ст}} = 5\text{дБ}$.

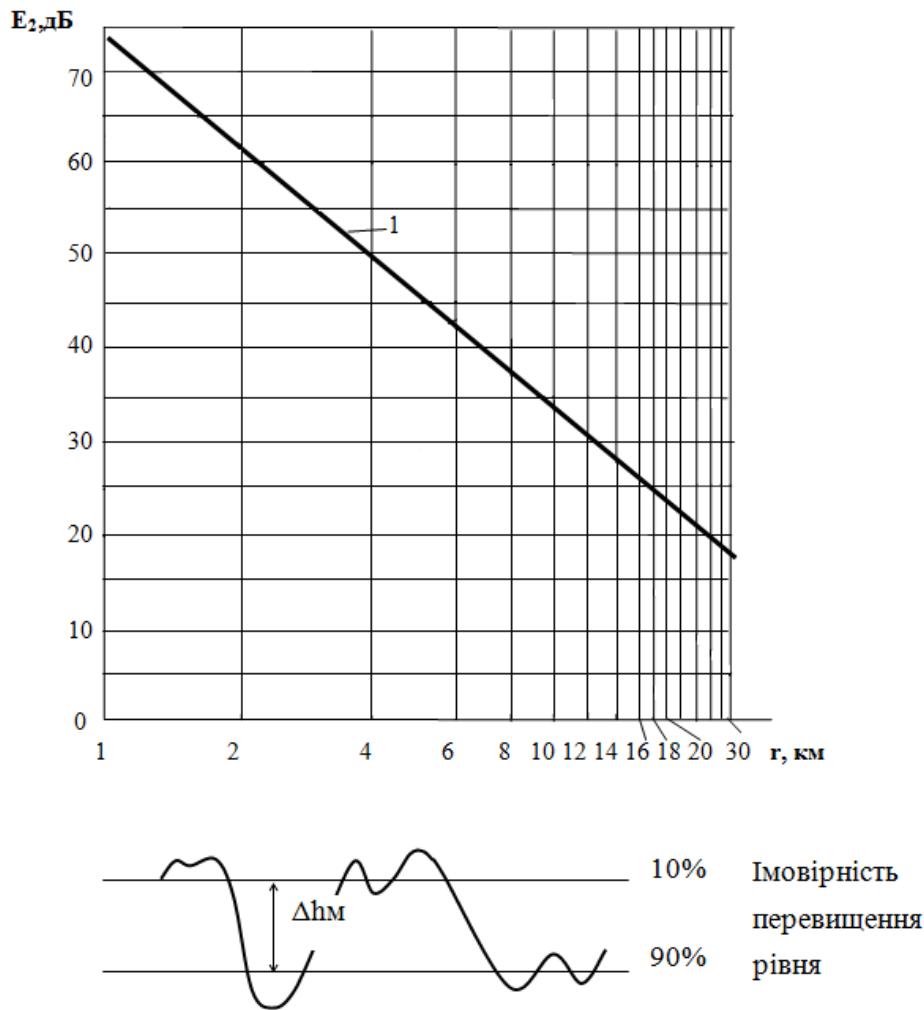


Рис. 1. Базові криві поширення радіохвиль метрового діапазону 160 МГц

Потужність передавача прийнята $P_1=1$ Вт. Коефіцієнт підсилення передавальної антени $G_1=0$ дБ стосовно напівхвильового вібратора, загасання у фідері, що з'єднує передавач із антеною, дорівнює нулю $\alpha_1 l_1=0$ дБ ($l_1=0$ м). Значення напруженості поля сигналу на графіках зазначені в децибелах відповідно до 1 мкВ/м і мають місце протягом 50 % часу в 50 % точок приймання, тобто надійність каналу радіозв'язку по полю становить 50 % внаслідок просторових і часових флуктуацій.

Для запровадження аналітичної форми розрахунків зон обслуговування необхідно подати в аналітичному вигляді всі графічні залежності, використані в методиках розрахунку. Запропоновано аналітичну апроксимацію базової кривої залежності напруженості поля від відстані R за формулою, дБ,

$$E_{2a} = 74,11 - 36,38 \cdot \lg R^{1,1} \quad (1)$$

Пропонується використовувати апроксимацію (1) для розрахунку напруженості поля в каналах на станціях і перегонах. При використанні апроксимації (1) можна визначити напругу на вході приймача радіостанції $U_{вх}$ в умовах, для яких побудовано базову криву. Напруга на вході приймача радіостанції в умовах організації конкретних радіомереж визначається за формулою

$$U_{вх} = E_{2a} - g_2 - \sum B_{\text{парам}} - \sum B_{\text{трас}} - \sum B_{\text{імов}}, \text{ дБ}, \quad (2)$$

де E_{2a} – напруженість поля сигналу, визначена за апроксимацією кривих поширення радіохвиль (1), дБ;
 g_2 – коефіцієнт, що враховує перетворення напруженості поля в просторі E_2 до напруги на вході приймача радіостанції $U_{вх}$, дБ,

$$g_2 = 20 \lg \left(\frac{\lambda}{2} \cdot \sqrt{\frac{Z_{xв}}{120}} \right),$$

де $Z_{xв}$ – хвильовий опір фідера, Ом. Значення коефіцієнта g_2 для частоти 160 МГц і $Z_{xв}=50$ Ом складає 12 дБ;

$\sum V_{\text{парам}}$ – сума поправкових коефіцієнтів, що залежать від параметрів передавача і антенно-фідерних пристроїв передавальної і приймальної радіостанцій, дБ;

$\sum V_{\text{трас}}$ – сума поправкових коефіцієнтів, що залежать від особливостей траси поширення радіохвиль для умов заданої мережі, дБ;

$\sum V_{\text{імов}}$ – сума поправкових коефіцієнтів, що враховують просторові і часові флуктуації напруженості поля сигналів, дБ.

Складові поправкових коефіцієнтів $\sum V_{\text{парам}}$ визначаються за технічними характеристиками використаних радіозасобів [6]. В усіх методиках розрахунку зберігається однаковий набір коефіцієнтів $\sum V_{\text{парам}}$, що враховують потужність передавача і параметри антенно-фідерних трактів передачі і приймання.

Необхідно враховувати фактичні параметри антенно-фідерних трактів і ввести поправку $V_{\text{п}}$, що враховує відмінність фактичної потужності передавача P від потужності $P_1=1$ Вт, прийнятої при побудові графіків кривих поширення радіохвиль, дБ,

$$V_{\text{п}} = 10 \lg \frac{P}{P_1}. \quad (3)$$

Висотний коефіцієнт V_{h} враховує відмінність добутку висот установлення антен $h_1 h_2$ від значення 100 м^2 , прийнятого при побудові кривих поширення радіохвиль [6], дБ,

$$V_{\text{h}} = 20 \lg \frac{h_1 h_2}{100}. \quad (4)$$

Складові поправкових коефіцієнтів $\sum V_{\text{трас}}$ враховують вплив рельєфу місцевості, якою проходить траса радіозв'язку, і зменшення напруженості поля в результаті впливу контактної мережі і корпусу рухомого об'єкта.

Залізничні станції розташовуються на рівнинних ділянках місцевості, але необхідно враховувати наявність забудови міського типу і значний вплив пристроїв контактної мережі та рухомого складу. Ці особливості враховуються поправкою $V_{\text{ст}} = 5$ дБ.

Для умов станцій у формулі (2) при розрахунку поправок $\sum V_{\text{трас}}$ приймають $V_{\text{рел}}=0$ дБ як для трас другого типу за наявності впливу технічних споруд і рухомого склад. На перегонах залізниць необхідно враховувати більший вплив особливостей рельєфу місцевості $V_{\text{рел}}$ на трасах різної складності (табл. 2) [5].

На станціях електрифікованих ділянок залізниць наявний значний вплив пристроїв контактної мережі та додаткових споруд, тому $V_{\text{км}} = 8$ дБ. На перегонах вплив пристроїв контактної мережі істотно менше, що знаходить відображення в менших значеннях коефіцієнтів $V_{\text{км}}=1$ дБ для одноколієних або 2 дБ для двоколієних ділянок [6].

Залежно від місця розташування локомотивної антени на даху електровоза коефіцієнт зменшення рівня сигналу $V_{\text{л}}$ має різні значення [5]. У найгірших умовах маневрового радіозв'язку для мереж на станціях $V_{\text{л}} = 9$ дБ.

Значна кількість абонентів мереж радіозв'язку на станціях користуються носимими радіозасобами. Поправку $V_{\text{рн}}$, що враховує погіршення умов зв'язку в каналах з носимими радіостанціями, приймають рівною $V_{\text{рн}} = 4$ дБ на неелектрифікованих ділянках і $V_{\text{рн}} = 2$ дБ на ділянках з електротягою [6].

Напруженість поля сигналу в мережах рухомого радіозв'язку є випадковою величиною за місцем і часом і враховується поправковим коефіцієнтом $\sum V_{\text{імов}}$. При аналізі просторових флуктуацій напруженості поля в каналах рухомого радіозв'язку розрізняють швидкі і повільні завмирання сигналу. Усі різновиди флуктуаційних процесів є незалежними і їхній спільний вплив визначають за сумою окремих показників [8].

Набір коефіцієнтів, що визначають імовірнісні характеристики сигналів (надійність каналів радіозв'язку по полю) $\sum V_{\text{імов}}$, у каналах ПРЗ враховує особливості трас різної складності, а для каналів, організованих на території залізничних станцій, його подано як один еквівалентний коефіцієнт V_i .

Щоб позбутися графоаналітичних підходів у методиках [5, 6] при визначенні показників надійності радіоканалів по полю, запропоновано єдиний підхід у всіх випадках.

Значення сигналу з необхідною надійністю визначають з урахуванням параметра $B(p)$

$$B(p) = \sigma \cdot K, \quad (5)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення значення напруженості поля;

K – коефіцієнт логарифмічно нормального розподілу, що відповідає необхідній надійності зв'язку (табл. 3) [8].

Використання формули (5) виключає необхідність кожного разу звертатись до графіків інтегральних функцій розподілу рівнів сигналів залежно від надійності радіоканалу по полю.

Розрахункове значення середньоквадратичного відхилення σ для різних умов наведено в табл. 4.

Таблиця 2

Значення поправкових коефіцієнтів залежно від типу траси

Тип траси	1	2	3	4	5
$B_{\text{ред, дБ}}$	3,4	0	- 3,4	- 6,8	- 10,2
σ	1,8	2,6	3,3	3,9	4,9

Таблиця 3

Значення ймовірнісних коефіцієнтів надійності зв'язку

$S(p)$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,92	0,95	0,98	0,99
K	0	0,253	0,524	0,842	1,282	1,4	1,65	2,05	2,326

Таблиця 4

Розрахункове значення середньоквадратичного відхилення флуктуацій

Ділянка залізниці	Організація мереж	Середньоквадратичне відхилення інтерференційних флуктуацій	Середньоквадратичне відхилення часових флуктуацій
Неелектрифікована	Перегони	1,3	1,8
	Станції	3,1	–
Електрифікована	Перегони	4,4	1,8
	Станції	5,2	–

Дальність радіозв'язку можна визначити шляхом безпосереднього розрахунку за умови $U_{\text{вх}} = U_{2\text{мін}}$.

Значення дальностей радіозв'язку, визначених за розробленою уніфікованою методикою та графоаналітичними методами відомчих методик, практично збігаються.

Висновки

На сьогодні розрахунок зон обслуговування в мережах поїзного, станційного і ремонтно-оперативного радіозв'язку здійснюється за різними нормативно-технічними документами, хоча при розрахунках технологічні відмінності радіомереж не мають принципового значення.

Розроблено уніфіковану модель, що базується на матеріалах чинних відомчих методик, але використовує єдине сімейство кривих поширення радіохвиль.

Особливості умов організації кожної з мереж ураховані системою відповідних поправкових

коефіцієнтів, що дозволяють забезпечити ідентичність результатів розрахунків дальності радіозв'язку.

Запропоновано аналітичну апроксимацію базової кривої та визначено аналітичну форму для ймовірнісних показників флуктуацій.

Список використаних джерел

1. Recommendation ITU-R P.1546-6. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz. 2019. 57 p.
2. Recommendation ITU-R P.529-3. Prediction methods for the terrestrial land mobile service in the VHF and UHF bands. 1999. 25 p.
3. Investigation of Modified Hata Propagation Models. Spectrum Planning Report. Radiofrequency Planning Group Australian Communications Authority. SP 2/01. April 2001. 15 p.
4. GSM-R. Procurement & Implementation Guide / International Union of Railways-Paris, 2009. 246 p.
5. Правила організації та розрахунку мереж поїзного радіозв'язку ЦШ-0058. Державна адміністрація

- залізничного транспорту України Укрзалізниця. Київ, 2009. 123 с.
6. Методичні вказівки з розрахунку систем станційного радіозв'язку: нормативно-виробниче видання. 1991. 46 с.
 7. Інструкція з утримання технічної документації на пристрої проводового зв'язку, радіозв'язку та пасажирської автоматики: затв. наказом ПАТ «Укрзалізниця» від 20.11.2018 р. № 728. Київ: ПАТ «Укрзалізниця», 2018. 57 с.
 8. Gorobets N. N., Yelizarenko A. A. Analysis of power characteristics of mobile radio communication channels. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2018. Vol. 77, is. 4. P. 283-295.

Yelizarenko A. O. Unified method of calculating service areas in railway technological radio communication networks.

Abstract. When organizing mobile radio communication systems, the definition of service areas of radio networks is of great importance. The radio communication sector within the International Telecommunication Union (ITU-R) coordinates research and development of recommendations on the calculation of mobile radio communication channels.

Currently, the Okamura-Hata model and the calculation method according to the recommendation of ITU-R P.1546 are the basic ones for solving practical problems of forecasting signal levels in mobile radio communication channels. Known methods of calculating public mobile radio communication channels do not take into account the specifics of the impact of railway infrastructure on technological radio communication channels.

Departmental normative documents on the calculation of train, station and repair and operational radio communication channels have been developed for railway transport. Railway methods are built on the basis of

statistical models of the propagation of radio waves in railway conditions and take into account the recommendations of the International Telecommunication Union.

When calculating the energy characteristics of radio channels, the technological differences of radio networks are not of fundamental importance. The radio frequency bands used, the conditions of radio network organization, and infrastructural features are important. The work solves the problem of developing a unified methodology. An ordered system of correction coefficients, which allows taking into account the conditions of the organization of each of the networks. In order to avoid grapho-analytical methods, analytical expressions for all components of the methodology are proposed. The analytical form simplifies the automation of calculations and allows to increase their accuracy.

Keywords: railway technological radio communication, energy characteristics of radio channels, service areas, calculation of radio communication range.

Надійшла 10.01.2023 р.

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 <https://orcid.org/0000-0002-8567-7576>.

Єлизаренко А. О., кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: elizarenko1@ukr.net <https://orcid.org/0000-0002-8567-7576>.

БУТЬКО Т. В., д.т.н., професор,
ПАРХОМЕНКО Л. О., к.т.н., доцент,
ТАРАСОВ К. О., аспірант,
ГАЙДУК Д. А., магістрант
(Український державний університет залізничного транспорту)

Формалізація процедури надання альтернативного маршруту швидкісним пасажирським поїздам на основі ризик-менеджменту

Незважаючи на значний вплив зовнішніх факторів на діяльність залізничного транспорту під час воєнного стану в Україні, він продовжує достатньо надійно функціонувати. Особливого значення набули пасажирські перевезення, адже в умовах бойових дій, що призводять до руйнування транспортної інфраструктури, залізниця прийняла на себе значне навантаження при організації евакуаційних маршрутів. Звідси і значна відповідальність усіх учасників перевізного процесу. Тому для підвищення надійності функціонування системи швидкісних залізничних пасажирських перевезень в умовах воєнного стану в Україні запропоновано процедуру надання альтернативного маршруту на напрямку перевезень швидкісним поїздам. Формалізацію цього процесу проведено з використанням технології ризик-менеджменту шляхом формування оптимізаційної математичної моделі за критерієм мінімального перевищення експлуатаційних витрат при перевезенні альтернативним маршрутом порівняно зі штатним графіковим перевезенням. Система обмежень у моделі відображує обмеження на технічні та технологічні параметри швидкісних поїздів і залізничної інфраструктури. Для формування множини альтернативних маршрутів на напрямку перевезень використано положення теорії графів. Топологію напрямку подано як зважений граф, де вершинами є залізничні станції, а ребрами – залізничні дільниці з вагою у вигляді кортежу (довжина дільниці, наявність електрифікації, пропускна спроможність). Множина альтернативних маршрутів формується на основі зваженої матриці суміжності графа. Сформовану процедуру знаходження оптимального альтернативного маршруту швидкісних пасажирських поїздів у вигляді програмного продукту запропоновано інтегрувати до системи АСК ІІІ УЗ на автоматизовані робочі місця (АРМ) оперативного персоналу у вигляді системи підтримки прийняття рішень (СППР).

Ключові слова: швидкісний рух, пасажирські перевезення, воєнний стан, ризик-менеджмент, альтернативні маршрути.

Вступ

Процес організації пасажирського залізничного сполучення, зокрема швидкісного, є надзвичайно важливим не лише для досягнення максимальної ефективності та економічного результату, але і безпеки як пасажирів, так і працівників залізничного транспорту. За роки незалежності України АТ «Укрзалізниця» неодноразово зіштовхувалася з повномасштабними надзвичайними ситуаціями, що вимагали гнучкого реагування на розвиток подій і підтвердили, що залізниця залишається стратегічно важливим видом транспорту і зобов'язує урахувати можливі ризики в процесі перевезення та їхні наслідки.

Постановка проблеми

Розвиток і удосконалення автоматизованих систем управління на залізничному транспорті, зокрема швидкісними пасажирськими поїздами, дозволяє

швидко розв'язувати складні розрахункові задачі та приймати раціональні рішення на всіх рівнях управління, особливо в період воєнного стану. Враховуючи, що планування обсягів пасажирських перевезень заздалегідь є складним процесом, а самі перевезення нерівномірними в часі, існує необхідність створення технологій оперативного управління швидкісними пасажирськими перевезеннями з урахуванням потенційних ризиків.

Аналіз досліджень і публікацій

Організації швидкісного пасажирського залізничного сполучення в Україні присвячено багато досліджень, проте в них не приділено увагу оперативному управлінню рухом швидкісних поїздів в умовах невизначеності та постійних ризиків. Але певні кроки в цьому напрямку зроблені в секторі вантажних

перевезень. Так, у статті [1] для планування роботи вагонопотоків з небезпечними вантажами запропоновано оптимізаційну математичну модель за критерієм експозиції ризику. Цільовою функцією встановлено систему обмежень у кількості поїздів і вагонів у складі поїзда з небезпечними вантажами, які можуть одночасно прибувати на станцію. Робота [2] присвячена дослідженню ефективності мультимодальних перевезень за рахунок формування системи підтримки прийняття рішень (СППР) для визначення ризиків ще на етапі планування мультимодального маршруту, що передбачає вибір оптимального та ефективного варіанта за багатьма критеріями (як час, протяжність, швидкість, кліматичні та екологічні умови тощо) при існуючих обмеженнях. Серед останніх досліджень у пасажирському секторі перевезень у роботі [3] сформовано однокритеріальну оптимізаційну математичну модель визначення оптимальної кількості пасажирських поїздів і їхнього складу з урахуванням можливих ризиків під час перевезень, а для пошуку оптимального рішення запропоновано використання апарату генетичних алгоритмів. Питанням розвитку технологій управління ризиками на залізничному транспорті стурбовані і польські дослідники, які у своїй роботі [4] подали застосування хмарної СППР (Cloud DSS), метою якої є збір інформації про події з подальшим аналізом, на основі якої формується статистика, що буде використана для оцінювання загрози, імовірності та потенційних наслідків. Недоліком є те, що запропоноване рішення

сортувальної станції в умовах переробки орієнтовано більше на невеличкі транспортні компанії і на етапі впровадження необхідно мати певну базу даних про події.

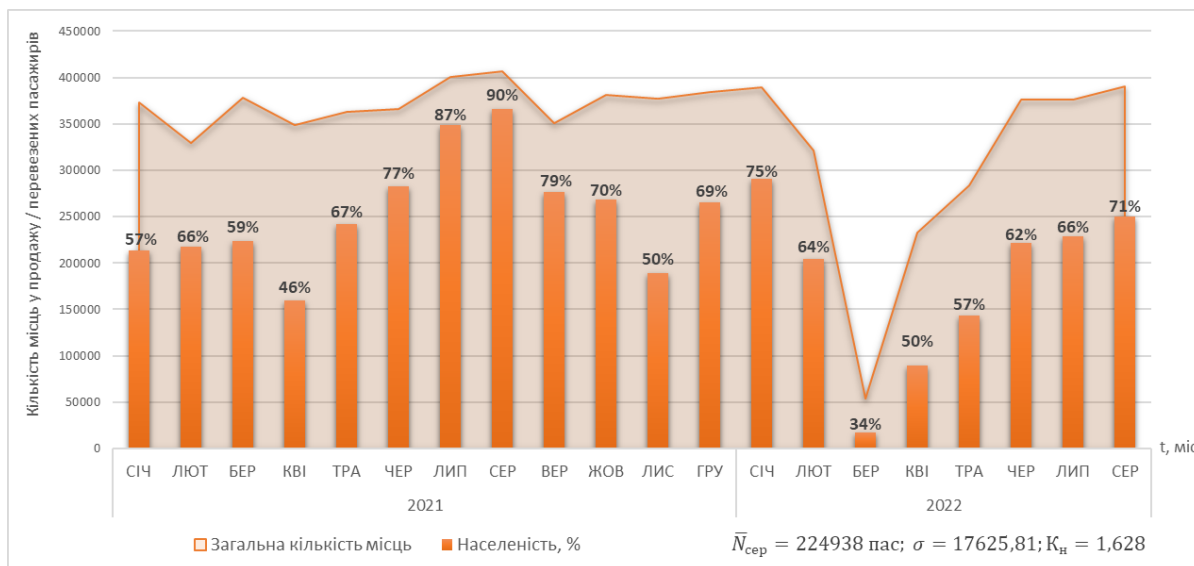
На основі проведеного аналізу можна зробити висновок про необхідність формування автоматизованої технології управління швидкісним пасажирським рухом для підвищення надійності швидкісних пасажирських перевезень з використанням ризик-менеджменту.

Мета дослідження

Формування автоматизованої технології надання альтернативного маршруту швидкісним пасажирським поїздам для перевезень, що відбуваються.

Викладення основного матеріалу дослідження

У період воєнного стану в Україні основним стратегічним перевізником пасажирів, включно з евакуаційними поїздами, стає залізничний транспорт. Такі тенденції стосуються й діяльності «Української залізничної швидкісної компанії» (УЗШК). На основі попередньо проведеного аналізу (рис. 1) було доведено, що на кількість перевезених пасажирів швидкісними поїздами, як і звичайними, впливає сезонний фактор. При цьому найбільша населеність поїздів спостерігається в період літніх перевезень, що підтверджується відповідними параметрами: середнє значення $\bar{N}_{сер}$, середньоквадратичне відхилення σ , коефіцієнт нерівномірності K_n , що наведено на рис. 1.



Примітка. За 2022 р. враховано лише поїзди, на які було відкрито продаж квитків, у т.ч. евакуаційні. Статистика за даними АТ «Укрзалізниця».

Рис. 1. Динаміка розподілу кількості перевезених пасажирів відносно загальної кількості запропонованих місць у поїздах формування УЗШК за місяцями в період з 01.01.2021 по 31.08.2022 р.

Окремо було оцінено параметри за 2021 р. ($\bar{N}_{сер} = 254378,4 \text{ пас}$, $\sigma = 18764,06$, $K_n = 1,439$) і вісім місяців 2022 р. ($\bar{N}_{сер} = 180777,4 \text{ пас}$, $\sigma = 33904$, $K_n = 1,610$). Отже, швидкісні перевезення користуються високим попитом навіть під час правового режиму воєнного стану.

Воєнний стан у країні супроводжується підвищенням імовірності руйнування залізничної інфраструктури, а саме руйнування станцій, колій, контактної мережі та тягових трансформаторних підстанцій. Тобто, якщо перевезення вже відбувається, необхідно передбачити можливість надання альтернативного маршруту пасажирським поїздам, зокрема швидкісним, практично в оперативному режимі.

Вибір альтернативного маршруту для швидкісних поїздів типу Hyundai Rotem, Skoda, Тарпан залежить від багатьох факторів. Одним із основних є існуюча топологія залізничної системи та її підсистем на напрямку перевезень. Іншими вирішальними факторами є наявність електрифікованих дільниць і їхня пропускна спроможність.

Як критерії оптимізації при виборі альтернативного маршруту на множині можливих

доцільно обрати або мінімальне підвищення експлуатаційних витрат порівняно зі штатним графіковим маршрутом, або мінімальний час перевезення пасажирів.

Для вирішення такого завдання запропоновано використання управління перевезенням на основі технології ризик-менеджменту, а як математичний апарат щодо формалізації процедури прийняття рішень при управлінні рухом швидкісних поїздів – апарат теорії графів.

Виходячи з вищенаведеного, топологію напрямку перевезень подаємо як зважений граф $G(I, J)$, де $I = I(i)$ – множина вершин графа (залізничні станції), $J(j)$ – множина ребер графа (залізничні дільниці) з вагою у вигляді кортежу: $j(i_k, i_{kn}) = (S_j, h_j, r_j)$, де S_j – довжина дільниці; h_j – булева змінна, $h_j = \begin{cases} 1 - \text{дільниця } j \text{ електрифікована,} \\ 0 - \text{дільниця } j \text{ неелектрифікована;} \end{cases}$ r_j – пропускна спроможність j -ї дільниці; $k \in I(i)$ – номер вершини (станції). Як приклад на рис. 2, 3 наведено зважені графи на напрямках перевезень Київ-Львів, Київ-Одеса.



Рис. 2. Зважений граф залізничної підсистеми за напрямком перевезень Київ-Львів



Рис. 3. Зважений граф залізничної підсистеми за напрямком перевезень Київ-Одеса

Відповідно до положень теорії графів маршрут визначається як послідовність r ребер, необов'язково різних, але таких, що кожні вершини двох сусідніх ребер співпадають.

Як приклад розглянемо напрямок руху пасажирських швидкісних поїздів за напрямком Київ-Одеса (рис. 3), на якому червоним кольором позначено електрифіковані дільниці змінним струмом, а чорним – неелектрифіковані.

Граф, наведений на рис. 3, є двозв'язним, при цьому кількість можливих електрифікованих маршрутів, що пов'язують вершину 1 (Київ) і вершину 26 (Одеса) становить 8. Відповідно до графа (рис. 3) побудовано зважену матрицю суміжності (рис. 4), що повністю і однозначно відтворює цей граф. Вагу j -го ребра відображує довжина відповідної дільниці S_j .

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
01	X	63										156				108											
02	63	X	95													100											
03		95	X	40											20												
04			40	X	22																						
05				22	X	47																					
06					47	X	82																				
07						82	X	37																			
08							37	X	54																		
09								54	X	26												26					
10									26	X	116											22					
11										116	X																72
12	156										X	88															
13											88	X	63														
14												63	X	121													
15													63	X	121												
16	108	100													X	76											
17															76	X	32										
18																32	X	92									
19																	92	X	54				83				
20																		54	X	85							
21																			85	X	179	145	84				
22																				179	X						
23									26	22											83		X	185			
24																						84	185	X	61		
25																							61	X	124		
26											72														124	X	

Рис. 4. Зважена матриця суміжності графа за напрямком Київ-Одеса

З метою визначення оптимального альтернативного маршруту сформовано оптимізаційну математичну модель за критерієм мінімального підвищення експлуатаційних витрат порівняно з

експлуатаційними витратами на штатне графікове перевезення $\Delta E(S_{альтm})$ разом із відповідною системою обмежень

$$\Delta E(S_{альтm}) = S_{ep} \cdot C_{поїздокм} + H[(S_{альтm} - S_{ep}) \cdot C_{поїздокм} + C_{відновл.інфр}] \Rightarrow \min,$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R \geq 0,8 \\ W \leq 9 \\ N \leq N_{наявна} \\ V_{ход} \leq 160 \text{ км/год,} \end{array} \right. \quad (1)$$

де $\Delta E(S_{альтm})$ – величина підвищення експлуатаційних витрат порівняно з експлуатаційними витратами на штатне графікове перевезення;

неелектрифікованої дільниці на маршруті $S_{альтm}$, $C_{поїздокм}^*$ – вартість 1 поїзд-км при тепловозній тязі.

$C_{поїздокм}$ – вартість 1 поїзд-км, грн;

Розроблена оптимізаційна математична модель (1) завжди має розв'язок, якщо внаслідок руйнування залізничної інфраструктури граф, що відтворює топологію підсистеми напрямку перевезень, залишається зв'язним.

H – імовірність виникнення ситуації (визначається експертним шляхом);

Сформована модель може бути інтегрована в структуру інформаційно-керуючої системи АСК ПП УЗ як додаткова задача для АРМ ДНЦ, АРМ ДС, АРМ ДСП у вигляді системи підтримки прийняття рішень (СППР).

m – індекс, номер альтернативного маршруту;

$S_{альтm}$ – протяжність m -го альтернативного маршруту, км;

R – населеність поїзда;

W – кількість вагонів у поїзді;

N – пропускна спроможність лінії;

$V_{ход}$ – ходова швидкість, км/год.

Для формування множини альтернативних маршрутів $\{S_{альтm}\}$ використовується зважена матриця суміжності за таким алгоритмом: якщо відбулось руйнування залізничної інфраструктури, то ребро $j = j(i_k, i_{k+1})$ вилучається з графа шляхом перетворення елемента матриці (i_k, i_{k+1}) на пусту клітинку. У скорегованій матриці розглядаються клітинки з ненульовими елементами, які пов'язують станцію i_k з іншими суміжними станціями, що належать альтернативним маршрутам. Для кожної такої станції процедура повторюється до кінцевої станції. Протяжність дільниці S_j додається між собою для кожного маршруту $S_{альтm}$. Отже, формується множина альтернативних маршрутів $\{S_{альтm}\}$, серед яких знаходиться оптимальний, що є рішенням сформованої вище математичної моделі.

У випадку, коли до альтернативного маршруту доцільно включати неелектрифіковані дільниці (ребро графа), тобто передбачається, що на цій дільниці швидкісний потяг буде тягнути тепловоз до електрифікованої дільниці, то розмір зваженої матриці суміжності необхідно збільшити і додати станції на неелектрифікованій дільниці. При цьому до критерію оптимізації $\Delta E(S_{альтm})$ додається величина $\Delta E_j^*(S_j)$. Доданок $\Delta E_j^*(S_j)$ являє собою експлуатаційні витрати у вигляді $\Delta E_j^* = S_j \cdot C_{поїздокм}^*$, де S_j – довжина

Висновки

З метою збільшення надійності швидкісних пасажирських перевезень і підвищення їхньої конкурентоспроможності на транспортному ринку, особливо в період воєнного стану в Україні і можливого руйнування залізничної інфраструктури. Запропоновано використання технологій ризик-менеджменту при управлінні рухом швидкісних поїздів компанії УЗШК. Для цього формалізовано процедуру надання альтернативного маршруту прямування швидкісним поїздом у випадку руйнування інфраструктурних об'єктів АТ «Укрзалізниця». Формалізацію проведено на основі формування оптимізаційної математичної моделі, де як критерій запропоновано мінімізацію експлуатаційних витрат при пересуванні швидкісного потяга за альтернативним маршрутом порівняно зі штатним графіковим маршрутом. Система обмежень урахує технічні і технологічні характеристики швидкісних пасажирських поїздів і залізничної інфраструктури. Для знаходження оптимального альтернативного маршруту використано положення теорії графів, що дають можливість подати топологію напрямку перевезень у вигляді зваженого графа (за вагу прийнято довжину дільниці) і відповідної матриці суміжності. Множина можливих альтернативних маршрутів формується на основі зваженої матриці суміжності. Запропоновану процедуру надання альтернативного маршруту починаючи з будь-якої

станції на шляху прямування швидкісного поїзду у вигляді програмного продукту рекомендовано інтегрувати до АСК ПП УЗ та АРМи оперативного персоналу у вигляді додаткової задачі, що дозволяє автоматизувати цей процес для перевезення, яке вже відбувається.

Список використаних джерел

1. Бутко Т. В., Прохоров В. М., Чехунов Д. М. Формалізація технології переробки вагонопотоків із небезпечними вантажами на сортувальній станції на основі експозиції ризику. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. № 2. С. 18–22.
2. Науково-методичні підходи до управління транспортними ризиками в мультимодальних вантажних перевезеннях / М. Б. Янчук, С. В. Пронь, В. П. Федина, К. В. Чередніченко. *Бізнес Інформ*. 2021. № 2. С. 198–209.
3. Бутко Т. В., Примаченко Г. О., Тарасов К. О. Удосконалення існуючих методів організації пасажирських залізничних перевезень з урахуванням можливих ризиків руйнування залізничної інфраструктури. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2022. № 3. С. 3-9.
4. Cloud Decision Support System for Risk Management in Railway Transportation. Górká, W., Bagiński, J., Socha, M., Steclik, T., Leśniak, D., Wojtas, M., Flisiuk, B. and Michalak, M. In Proceedings of the 14th International Conference on Software Technologies (ICSOF-2019). 2019. P. 475-482. DOI: 10.5220/0007837904750482.

Butko T.V., Parkhomenko L.O., Haiduk D.A., Tarasov K.O. Formalization of the procedure for providing an alternative route for high-speed passenger trains based on risk management.

Abstract. Despite the significant impact of external factors on the activities of railway transport during martial law in Ukraine, it continues to function quite reliably. Passenger transportation is of particular importance, because in the context of hostilities that lead to the destruction of transport infrastructure, the railways have taken on a significant burden in organizing evacuation routes. Hence the significant responsibility of all participants in the transportation process. Therefore, to improve the reliability of the high-speed rail passenger transportation system under martial law in Ukraine, the author proposes a procedure for providing an alternative route for high-speed trains. This process was formalized using risk management technology by forming an optimization mathematical model based on the criterion of minimal excess of operating costs during transportation by an alternative route compared to regular scheduled transportation. The system of constraints in the model reflects restrictions on

the technical and technological parameters of high-speed trains and railway infrastructure. To form a set of alternative routes in a transportation direction, the provisions of graph theory are used. The topology of the direction is represented as a weighted graph, where the vertices are railway stations and the edges are railway sections with a weight in the form of a tuple (section length, electrification, capacity). The set of alternative routes is formed on the basis of the weighted adjacency matrix of the graph. The procedure for finding the optimal alternative route for high-speed passenger trains in the form of a software product is formed and proposed to be integrated into the ACS system of passenger transportation of Ukrzaliznytsia on the automated workplaces of operational staff in the form of a decision support system.

Keywords: high-speed traffic, passenger transportation, martial law, risk management, alternative routes.

Надійшла 29.01.2023 р.

Бутко Тетяна Василівна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: butko@kart.edu.ua. ID ORCID 0000-0003-1082-599X.

Пархоменко Лариса Олексіївна, кандидат технічних наук, кафедра управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: parhomenko@kart.edu.ua. ID ORCID 0000-0003-1647-7746.

Тарасов Кирило Олександрович, аспірант, кафедра транспортних систем та логістики, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: kir.tarasov1998@gmail.com. ID ORCID 0000-0001-5976-4169.

Гайдук Дмитро Андрійович, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: 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. <https://orcid.org/0000-0003-1082-599X>.

Parkhomenko Larysa Oleksiivna, Ph.D., department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: parhomenko@kart.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0003-1647-7746>.

Tarasov Kyrylo Oleksandrovych, graduate student of the department of Transport Systems and Logistics, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: kir.tarasov1998@gmail.com.

<https://orcid.org/0000-0001-5976-4169>.

Haiduk Dmytro Andriyovych, master student, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: d.haiduk@ukr.net. [https://orcid.org/0000-0002-](https://orcid.org/0000-0002-7816-2216)

[7816-2216](https://orcid.org/0000-0002-7816-2216).

VLADYSLAV KHOLIEV, postgraduate (Kharkiv National University of Radio Electronics),
 OLESIA BARKOVSKA, PhD (Kharkiv National University of Radio Electronics)

Analysis of the of training and test data distribution for audio series classification

The effectiveness of machine learning algorithms for any given task largely depends on the training and test datasets. This manifests itself not only in the amount of data, but also in its content (that is, its relevance for the task at hand), as well as in its organization. Generally, the common approach is to split the dataset into training and testing sets to avoid model overfitting. In addition, to achieve better metrics for the selected criteria (accuracy, learning rate, etc.) of model performance, different ratios of training and test sets are used in the partitioning. The goal of this paper is to analyze methods of data set partitioning for use in training neural networks and statistical models. One of the reviewed methods, specifically the cross-validation method, was applied to a dataset developed from the LibriSpeech corpus, an open English speech corpus based on the LibriVox project of voluntarily contributed audio books. The result of applying the selected data partitioning method on the selected data set is demonstrated

Keywords: datasets; pre-processing; machine learning; cross validation; librispeech; librivox.

Introduction

Despite the rapid spread of the Internet at the beginning of the 21st century and the predominantly textual nature of the information that circulated in it at the beginning of its development, a significant part of the information generated, transmitted and consumed by humanity was audiovisual in nature. This is due not only to the limitations of the Internet technology at the time, but also to the biological characteristics of humans as a species, since most of the information we receive from the environment is visual and sound information.

Over time, this trend has not only persisted, but also deepened with the development of technologies for generating, transmitting and storing information. In turn, information processing and analysis technologies have developed and continue to develop still. The degree of decision-making automation continues to grow with the use of deep learning technologies and statistical models.

In particular, as mentioned above, audio information plays one of the most widespread and important roles. Moreover, it has its advantages both in terms of data and technology. The advantages of audio information are as follows:

- independence from illumination, which allows it to serve as a spatial indicator where there is insufficient visual information, or to supplement the available visual information with additional context;
- the amount of data required to transmit the semantic load is smaller and requires cheaper equipment, which in turn means faster and more affordable analysis results.

Audio information is usually presented in the form of an analog signal and its digital encoding. Various encoding formats exist and are used, with their own advantages and disadvantages and, as a result, with their own areas of application (Table 1) [1, 2, 3, 4].

Actions performed on audio information are called audio analysis, or audio sequence analysis.

Format	Doesn't have compression		Has compression		
	WAV	AIFF	FLAC	AAC	MP3
Lossy	No	No	No	Yes	Yes
Year of development (latest release)	1991 (2007)	1988 (1991)	2001 (2022)	1997 (2019)	1993 (1998)

Table 1. Various formats for storing audio files

Audio analysis is generally referred to as the extraction of information from audio signals for further operations upon them. The widespread use of audio analysis can be explained by the wide range of its applications due to the high degree of reliance on sound and audio in a wide

variety of spheres of life (online banking, virtual assistants in smartphones, PCs and other devices, user verification, automatic annotation of video conferences, tone analysis, and much more).

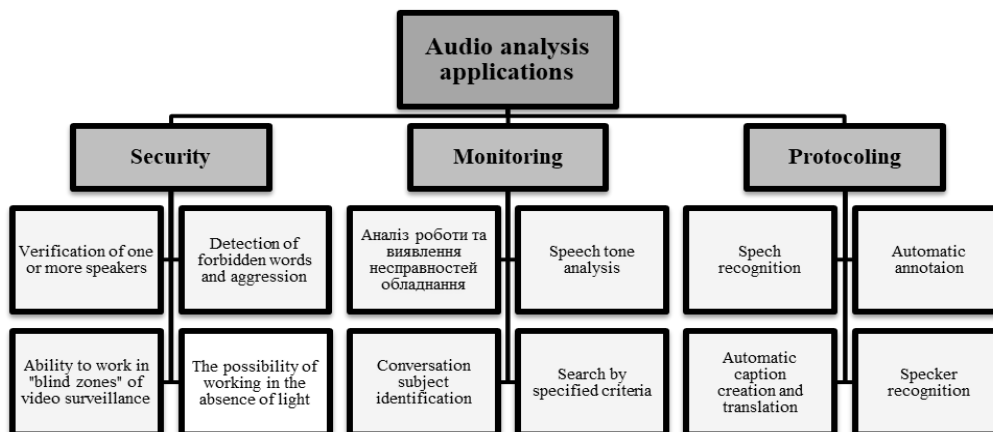


Fig. 1. Scopes of audio analysis applications.

Most of these tasks fall under the umbrella of the classification domain. Usually, classification consists of two stages: training a neural network model and its utilization. This means that this task requires training and test samples at the training and operation stages of the neural network, respectively.

Research task rationale

The goal of this paper is to analyze methods of data set partitioning for use in training neural networks and statistical models. To achieve this goal, the following tasks are to be accomplished:

- to review the methods, criteria and ratios of dataset partitioning to achieve the best selected performance metrics of neural network and statistical models.
- to apply one of the reviewed methods to produce a dataset that meets the requirements and criteria discussed above, based on the LibriSpeech corpus.

There exist many approaches to organizing a dataset, such as the classical random subsampling method, the cross-validation method [5], deterministic methods such as SPXY [6] or SPlit [7], as well as others.

These methods were developed to better meet general criteria, such as heterogeneity and/or balance of data on selected features, as well as to introduce new criteria that they considered key to achieving the best model performance according to selected criteria (accuracy, learning rate, etc.).

Therefore, the task of analyzing the distribution of training and test data for audio series classification is a relevant task, since the quality of classification depends on the proper distribution of sets.

The importance of dataset organization

The effectiveness of machine learning algorithms for any given task largely depends on the training and test datasets. This manifests itself not only in the amount of data, but also in its content (that is, its relevance for the task at hand), as well as in its organization. There are several stages of data preparation for samples that are applicable to most cases:

- problem formulation;
- data collection of the selected subject area;
- data normalization and formatting;
- data segmentation.

Depending on the approach, the data can be divided into training, validation, and test sets, where the validation set is used to optimize the model’s hyperparameters to

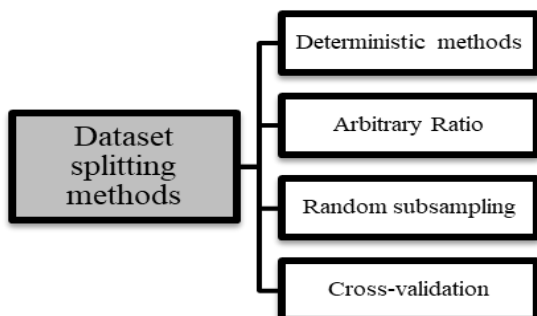


Fig. 2. Common dataset splitting methods

achieve the best accuracy, which will be evaluated using the test set.

Another approach suggests that after separating the test set, the remaining set is divided into k parts, where during model training, $k-1$ of them are used as a training set, and the last one is used as a validation set, after which another part is selected to serve in its place. This is repeated k times, after which the results are averaged. This approach is known as cross-validation [5]. It is generally believed that this method shows better results with a fairly small amount of data due to the fact that the entire dataset is covered for usage as both training and validation sets, while it is less effective with medium and large datasets

The ratio of sets during the distribution is one of the parameters the exact value of which depends on the task and the nature of the data, however, in practice a certain initial value is used to start from when searching for the exact value. Previous studies have reached no consensus on which values are optimal [8]. One of the popular distribution options is 80/20 (training and validation + test sets, respectively), the sentiment of using which originates from the Pareto principle.

Alternatively, the distribution value is proposed to be obtained taking into account the characteristics of the model, as described in [8]. This study suggests using the following formula for the distribution:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{p+1}}, \tag{1}$$

where γ stands for the ratio of the test set to the dataset as a whole and p stands for the number of model's parameters.

The diagram of this dependence is shown in Figure 2. As evident, the portion of the training set increases significantly with a larger number of parameters, which is logical, since a model with a larger number of parameters requires more training data to approximate all of them.

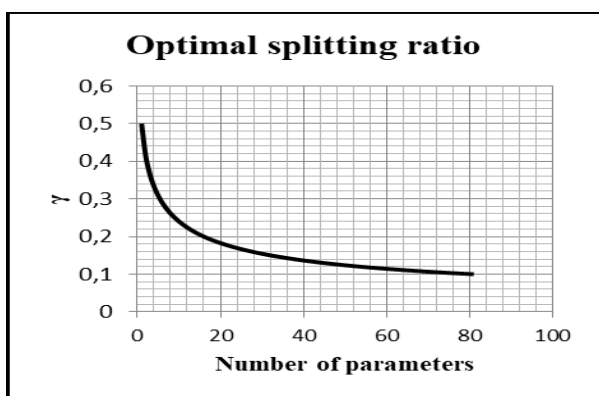


Fig. 2. Diagram of the dataset distribution based on the number of parameters

Librispeech corpus and dataset

As a dataset, an independently developed set on the basis of the LibriSpeech corpus was chosen, which, in turn, was created on the basis of the LibriVox audiobook project [9], which is in the public domain, or more specifically, its English segments.

The corpus is divided into several parts, available separately: a test set in a single archive, and a training set in three archives - 100-, 300-, and 500-hour archives. In total, the corpus contains 982 hours of recordings from 2338 speakers.

The characteristics of the corpus are presented in Table 2, which has the following columns:

- subset: name of the subset;
- hours: total duration of particular subset in hours;
- per-spkr minutes: longest cumulative duration of recordings per speaker in particular subset minutes;
- female spkrs: number of female speakers in particular subset;
- male spkrs: number of male speakers in particular subset;
- total spkrs: total number of speakers in subset.

subset	hours	per-spkr minutes	female spkrs	male spkrs	total spkrs
dev-clean	5.4	8	20	20	40
test-clean	5.4	8	20	20	40
dev-other	5.3	10	16	17	33
test-other	5.1	10	17	16	33
train-clean-100	100.6	25	125	126	251
train-clean-360	363.6	25	439	482	921
train-other-500	496.7	30	564	602	1166

Table 2. Data subsets in LibriSpeech

The authors of the corpus have created several annotation files: matching speakers and their characteristics with the subsets to which they are assigned, matching speakers and chapters of books whose records were taken for the corpus, and matching the books themselves with their identifiers used in other annotation files.

ID	SEX	SUBSET	MINUTES	NAME
14	F	train-clean-360	25.03	Kristin LeMoine
16	F	train-clean-360	25.11	Alys AtteWater
17	M	train-clean-360	25.04	Gord Mackenzie
20	F	train-other-500	30.07	Gesine
23	F	train-clean-360	25.23	Anita Roy Dobbs
25	M	train-other-500	30.16	John Gonzalez
26	M	train-clean-100	25.08	Denny Sayers
27	M	train-clean-100	20.14	Sean McKinley
28	F	train-clean-360	25.03	Kristin Hughes
29	M	train-other-500	30.10	Linton
31	M	train-other-500	23.79	Martin Clifton
32	F	train-clean-100	24.01	Betsie Bush
36	M	train-other-500	25.85	Chip
...				
8824	M	train-clean-360	25.21	Mark Johnston
8825	F	train-clean-360	23.93	Erin Schellhase
8838	M	train-clean-100	25.06	Kevin Owens
8855	M	train-clean-360	25.01	Eric Metzler
8975	F	train-clean-100	25.11	Daisy Flaim
9022	F	train-clean-360	25.17	Claire M
9023	F	train-clean-360	25.19	P. J. Morgan
9026	F	train-clean-360	21.75	Tammy Porter

Listing 1. A fragment of one of the annotation files

From these parts, subsets of 100 and 300 hours were taken, totaling 464.2 hours and 1172 speakers, which is approximately half of the total volume.

Initially, the corpus was created for the task of speech recognition, as well as identification and/or classification of certain characteristics of speakers (age, gender, etc.). To create the corpus, two stages of alignment were first performed using a variety of tools and speech models [9], which were aimed at dividing the recordings into fragments and removing recordings that contained discrepancies with the text due to human error (inclusions, substitutions, deletions, and permutations). These alignment steps resulted in approximately 1200 hours of recordings up to 35 seconds long, after which the data was segmented into smaller fragments based on pauses of at least 0.3 seconds. The test data was segmented similarly to the training data, but with the additional condition of splitting fragments only at sentence boundaries to better model language usage.

Thanks to additional pre- and post-processing stages, the balance of speakers' genders was ensured, and cases of

recordings with multiple speakers were eliminated (by filtering individual recordings as well as certain genres that by their nature land themselves to multi-speaker recordings).

Results and discussion

The fact that the corpus was created for the task of speech and/or speaker characteristics recognition means that it is not presented in the proper form for the method, and therefore the dataset was adapted for the current task. Since, as mentioned above, the corpus consists of voluntarily provided records by LibriVox users, not all of them were signed with identifiable names (Listing 2). Such recordings were discarded, as well as recordings with a total duration of less than 20 minutes, as this is the duration of most recordings in the dataset used (namely, the 100 and 300 hour subsets), so this cutoff threshold makes the most sense for preserving the majority of the data.

ID	SEX	SUBSET	MINUTES	NAME
249	M	train-clean-360	18.69	pww214
272	M	train-clean-360	16.45	Mr. Baby Man
288	F	train-clean-360	25.13	Bookworm
318	F	train-clean-360	25.17	Eileen aka e
1634	M	train-clean-360	17.65	daxm
2397	M	train-clean-360	25.14	texttalker
2404	M	train-clean-360	25.21	n8evv
4267	M	train-clean-100	25.14	Ric F
8396	M	train-clean-360	25.16	gloriousjob

Listing 2. Examples of improperly signed records that were discarded

In addition, the recordings in the corpus are stored in the FLAC (Free Lossless Audio Codec) format. This is a codec designed to compress audio without loss [1]. Although this format has advantages for storing a large number of audio files, its use would lead to significant additional costs for restoring each record from compression, so each of the records of the filtered dataset was converted to WAV (Waveform Audio File Format), which does not require additional operations to access the audio signal and is well suited for storing uncompressed audio in pulse-code modulation [2].

According to the cross-validation method, the dataset was divided into 5 parts to ensure the most equal division. The records were randomly selected for the multiclassifier task to simulate the cases of records that are not part of any of the classes (unauthorized access attempt).

After all the operations performed – filtering in several stages, converting the file format, and splitting into parts according to the selected cross-validation method – the characteristics of the resulting dataset are as follows:

- 859 speakers (consisting of 437 males and 442 females);
- 99955 audio files (an average of 116 recordings per speaker);
- size: 21,5 Gigabytes (23 177 338 377 bytes);
- duration: 1271393.26 seconds (353 hours, 9 minutes, and 53.26 seconds);
- divided into 5 parts according to the cross-validation method.

```
fold1
| 274-121382-0000.wav
| 200-126784-0009.wav
| 335-125951-0004.wav
| 4813-248641-0000.wav
| 1958-144503-0061.wav
| ...
| 7704-106969-0010.wa

fold2
| 1313-136054-0010.wav
| 8008-271817-0039.wav
| 2764-36616-0008.wav
| 5093-39749-0016.wav
| 5126-34483-0026.wav
| ...
| 1743-142914-0034.wav

fold3
| 2427-154736-0016.wav
...
```

Listing 3. Fragment of the resulting annotation file

Conclusion

The goal of this paper was to analyze methods of data set partitioning for use in training neural networks and

statistical models.. To achieve this goal, the following tasks were accomplished:

- methods and ratios of dataset partitioning to achieve the best selected performance metrics of neural network and statistical models were analyzed;
- one of the analyzed methods, namely the cross-validation method, was applied to the given dataset, which was developed on the basis of the LibriSpeech open corpus;
- described the process of developing the dataset.

Further research includes: implementing the dataset in the workflow of an intelligent user verification system, studying the feasibility of modifying the proposed and developed dataset for use in an ensemble of neural networks.

References

1. Coalson J., “FLAC – What is FLAC”, available at: <https://xiph.org/flac/> (last accessed 08.12.2022).
2. “RFC 2361: WAVE and AVI codec registers”, available at: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2361> (last accessed 08.12.2022).
3. Kabal P., “Audio File Format Specifications - AIFF / AIFF-C Specification”, available at: <https://www.mmsp.ece.mcgill.ca/Documents/AudioFormats/AIFF/AIFF.html> (last accessed 08.12.2022).
4. “MP3 and AAC Explained (archived from the original)”, available at: https://web.archive.org/web/20170213191747/https://graphics.ethz.ch/teaching/mmcom12/slides/mp3_and_aac_brandenburg.pdf (last accessed 08.12.2022).
5. Stone, M (1974). "Cross-Validatory Choice and Assessment of Statistical Predictions". *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*. 36 (2): 111–147. doi:10.1111/j.2517-6161.1974.tb00994.x.
6. R. K. H. Galvão, M. C. U. Araujo, G. E. José, M. J. C. Pontes, E. C. Silva, and T. C. B. Saldanha, A method for calibration and validation subset partitioning, *Talanta* 67 (2005), no. 4, 736–740.
7. V. Roshan Joseph & Akhil Vakayil (2022) SPLit: An Optimal Method for Data Splitting, *Technometrics*, 64:2, 166-176, DOI: 10.1080/00401706.2021.1921037
8. Joseph, V. R., Optimal ratio for data splitting, *Stat. Anal. Data Min.: ASA Data Sci. J.* 15 (2022), 531–538. <https://doi.org/10.1002/sam.11583>.
9. V. Panayotov, G. Chen, D. Povey and S. Khudanpur, "Librispeech: An ASR corpus based on public domain audio books," 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2015, pp. 5206-5210, doi: 10.1109/ICASSP.2015.7178964.

В. О. Холєв, О. Ю. Барковська. Аналіз розподілу навчальних та тестових даних для класифікації аудіоряду

Надійшла 19.02.2023 р.

Анотація. Ефективність виконання алгоритмами машинного навчання поставленої задачі значною мірою залежить від навчальних та тестових вибірок. Це проявляється не тільки в об'ємі даних, але й в їх змісті (тобто актуальності для поставленої задачі), а також в їх організації. Загалом набір даних прийнято розбивати на навчальну та тестову вибірки для уникнення перенавчання. Окрім того, для досягнення кращих показників (точності, швидкості навчання тощо) продуктивності моделі застосовують різний показник відношення навчальної та тестової вибірок при розбитті. **Метою** даної роботи є розглянути **методи** розбиття наборів даних для використання у навчанні нейронних мереж та статистичних моделей. Один з розглянутих методів, а саме метод перехресного затвердження, був застосований до набору даних, що був підготовлений на основі корпусу LibriSpeech – відкритого корпусу англійського мовлення, заснованого на проєкті добровільно наданих аудіо книг LibriVox. Продемонстрований **результат** застосування обраного методу розбиття даних на обраному наборі даних.

Ключові слова: дата сет, набір даних, попередня обробка, машинне навчання, крос-валідація, librispeech, librivox.

Холєв Владислав Олександрович – аспірант кафедри “Електронно обчислювальних машин”, науковий керівник – Барковська Олеся Юріївна – кандидатка технічних наук, доцентка кафедри “Електронно обчислювальних машин”, Національний університет радіоелектроніки «ХНУРЕ», Харків, Україна

Барковська Олеся Юріївна – кандидатка технічних наук, доцентка кафедри “Електронно обчислювальних машин”, Національний університет радіоелектроніки «ХНУРЕ», Харків, Україна

Vladyslav Kholiev – postgraduate of Department of Electronic Computers, doctoral supervisor – Olesia Barkovska – PhD, Associate Professor of Department of Electronic Computers, Kharkiv National University of Radio Electronics “NURE”, Kharkiv, Ukraine. E-mail: vladyslav.kholiev@nure.ua, ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-9148-1561>.

Olesia Barkovska – PhD, Associate Professor of Department of Electronic Computers, Kharkiv National University of Radio Electronics “NURE”, Kharkiv, Ukraine. E-mail: olesia.barkovska@nure.ua, ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-7496-4353>

ЛОМОТЬКО М. Д., аспірант (Український державний університет залізничного транспорту)

Формування ланцюга постачання вантажів у контейнерах на основі «зеленої» логістики

Розглянуто перспективи формування ланцюга постачання вантажів у контейнерах на основі застосування концепції «зеленої» логістики при мультимодальних перевезеннях вантажів за участю залізничного транспорту. Встановлено, що мультимодальні технології порівняно з доставкою вантажу одним видом транспорту мають менший негативний вплив на довкілля та повітря.

Доведено, що впровадження «зелених» мультимодальних технологій можливе за рахунок зменшення частки автомобільних перевезень на відстань 300 км і більше. Запропоновано спрямування економії від екологічних податків на інвестиції в логістичну інфраструктуру. За наведених умов запропоновано економіко-математичну модель двохетапної транспортної задачі цілочисельного програмування оптимізації розподілу контейнеропотоків між постачальниками та споживачами з урахуванням екологічного критерію. Встановлено, що розвиток мультимодальних перевезень в Україні потребує вирішення низки внутрішніх організаційно-правових питань, насамперед здійснення гармонізації національного транспортного законодавства з нормами ЄС.

Ключові слова: залізниця, автотранспорт, контейнер, «зелена» логістика, мультимодальне перевезення, вплив на довкілля, вуглецеве забруднення повітря.

Вступ

Сучасні тенденції у вантажних перевезеннях під впливом воєнного стану у країні визначаються зниженням рівня та значними коливаннями обсягів навантаження, а також значними чергами в бік міждержавних переходів. Це означає, що технологія перевезень вантажів за участю залізниць має бути оновлена з використанням логістичних принципів. Будь-який вантажовласник здійснює торговельну взаємодію з усіма відкритими ринками, тому ефективна, швидка та, по можливості, дешева доставка вантажів – ключовий фактор для забезпечення стабільного прибутку перевізника. Зокрема якщо в минулому внаслідок відсутності гнучкого підходу до організації перевезення вантажів залізниця поступово втрачала обсяги перевезень та доходи від них, то зараз АТ «Укрзалізниця» є основним вітчизняним перевізником, який має забезпечити стійкість економіки країни. З іншого боку, використання в технології перевезень ресурсозбереження та екологічно сприятливих підходів сприятиме коректному прийняттю рішень щодо інтеграції вітчизняної транспортної системи до транспортної мережі країн ЄС.

Аналіз досліджень та публікацій

Питанням функціонування транспортного комплексу приділяли значну увагу такі вчені, як Бутько Т. В., Данько М. І., Дикань В. Л., Котлубай М. І., Мацюк В. І., Мироненко В. К., Мороз М. М., Огар О. М., Панченко С. В., Прохорченко А. В. та ін. У сфері експлуатації залізниць, зокрема мультимодальних перевезень, відомими є праці вчених Альошинського Є. С., Горбачова П. Ф., Григорак М. Ю., Запари В. М., Кирилової О. В., Козаченка Д. М., Красноштана О. М., Нагорного Є. В., Самсонкіна В. М. та ін. Аналіз цих та інших наукових джерел показує, що проблематика роботи транспортної системи з точки зору дослідження впливу екологічних факторів на показники її функціонування охоплено не повною мірою.

Мультимодальні, зокрема контейнерні та контрейлерні перевезення, багатьма авторами визначаються як перспективний спосіб доставки вантажів [0, 2]. Розвиток комбінованого та мультимодального транспорту в Україні передбачає створення єдиної системи функціонування транспортної системи, зокрема залізничного, водного та автомобільного транспорту.

За оцінками фахівців [3], на транспорт припадає 8 % усіх викидів двооксиду вуглецю на планеті. Тому впровадження «зелених» технологій у логістичній діяльності дозволить зробити певні кроки до збереження клімату на планеті, придатного для життєдіяльності людини. Напрямок «зелена» логістика з'явився на початку 90-х років минулого століття і належить до концепції сталого розвитку економіки. Синонімом терміна «зелена» логістика фахівці називають екологічну логістику [4].

Досвід країн ЄС показує [5], що джерела надходжень до національних екологічних фондів формуються за рахунок податків і платежів за забруднення довкілля для подальшого цільового використання на природоохоронні заходи. При цьому суттєвою їхньою відмінністю від українських фондів охорони навколишнього природного середовища є юридичний статус і незалежність від державного бюджету. Отже, вплив екологічних податків і зборів на особливості експлуатації транспортної мережі є суттєвим.

Метою статті є формування науково обґрунтованого підходу до створення ефективних ланцюгів постачання контейнерних вантажів при унітарно-мультимодальних перевезеннях з урахуванням впливу екологічних факторів. Це відповідає основному завданню «зеленої» логістики – створенню та розвитку технологій перевезень, що сприяють зниженню негативного впливу транспорту на навколишнє середовище. Цю мету можна досягти шляхом раціональної інтеграції різних видів транспорту, зокрема залізничного, при їхній взаємодії з мінімальною участю автотранспорту.

Основна частина

Інтенсифікація мультимодальних перевезень за участю залізниць в Україні здійснюється відповідно до напрямів Стратегії акціонерного товариства «Українська залізниця» (АТ «УЗ») на 2019-2023 роки [6] та орієнтується на збільшення частки залізничного транспорту в перевезеннях. У Національній транспортній стратегії [7] передбачаються такі заходи:

- збереження автомобільних доріг;
- зменшення кількості великовагових вантажівок (контейнеровозів) на довгих маршрутах протяжністю понад 200 км;
- розвиток перевезень екологічно чистими видами транспорту.

Стратегія впровадження «зеленої» логістики є однією з основних у Білій книзі Європейської

Конференції Міністрів Транспорту (ЄКМТ) [8], відповідно до якої ЄС прагне до 2030 року перевести 30 % автомобільних вантажних перевезень з дальністю поїздки понад $L_a=300$ км на інші види транспорту (залізничний або водний) і понад 50 % до 2050 року. Можна очікувати, що це призведе до зменшення конкурентних переваг автомобільного транспорту, суттєво підвищуючи тарифи автомобільних вантажних перевезень. Аналіз показує, що більшість вантажних перевезень з дозволами ЄКМТ набагато перевищують відстань $L_a=300$ км. Перехід до екологічно менш шкідливих видів транспорту, зокрема термічної енергії, електричної тяги або двигунів на паливних елементах, використання інтелектуальних транспортних систем сприятиме досягненню основної мети [8] – кліматичної нейтральності до 2050 року. Цьому сприятимуть ефективні та «зелені» вантажні коридори на основі розвитку відповідної інфраструктури.

Об'єктом «зеленої» логістики є оптимізація специфічних витрат, пов'язаних із змінами клімату, забрудненням повітря, води і ґрунту, впливом шуму тощо. Контейнерні та контрейлерні перевезення порівняно з традиційними способами доставки на сьогодні є найбільш розповсюдженими технологіями, що сприяють розвитку «зеленої» логістики.

У спільному документі ЄК ООН, ЄКМТ і ЄС «Термінологія комбінованих перевезень» [9] зазначено, що мультимодальне перевезення – це «перевезення вантажів двома або більше видами транспорту», інтермодальне перевезення означає «перевезення вантажів двома або більше видами транспорту в одній і тій самій вантажній одиниці або автотранспортному засобі без перевантаження самого вантажу при зміні виду транспорту», комбіноване перевезення – «інтермодальне перевезення, у рамках якого більша частина рейсу припадає на залізничний, внутрішній водний або морський транспорт, і будь-який початковий і/або кінцевий відрізок шляху, на якому використовується автомобільний транспорт, є максимально коротким». Отже, головною ознакою ланцюга постачання вантажів у контейнерах на основі «зеленої» логістики є відсутність перевантажувальних операцій на шляху прямування, тобто перевезення вантажу без його перевантаження на іншу вантажну одиницю. Структурно-логічну схему здійснення унімодального та мультимодального перевезення вантажу наведено на рис. 1.

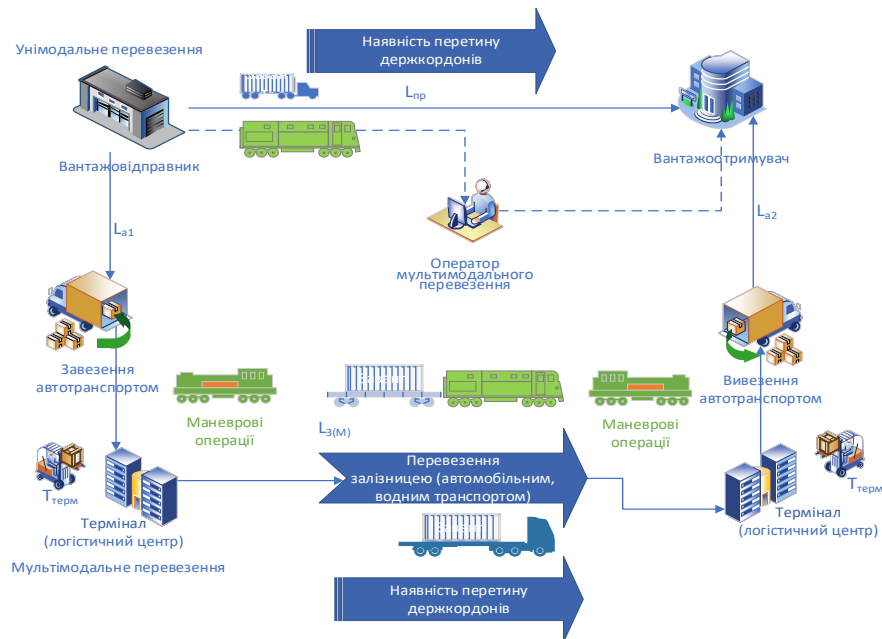


Рис. 1. Структурно-логічна схема здійснення унімодального та мультимодального перевезення вантажу

Слід зазначити, що на автомобільний транспорт припадає 72 % всіх транспортних викидів. Тому, очевидно, при поєднанні різних видів транспорту в мультимодальну схему шкода від впливу забруднюючих речовин буде мінімізована. Зокрема показники викидів CO₂ для залізничного транспорту найнижчі порівняно з автодорожнім і водним: за проведеним оцінюванням, для перевезення 1000 т вантажів залізницею потрібно в три рази менше енергії, ніж для їх перевезення автотранспортом. Приблизний рівень питомих викидів відпрацьованих газів наведено в роботах [10, 11]. Зокрема зазначається, що вантажний автомобіль з дизелем має оцінку викидів CO₂ на рівні 0,171 кг/год, а маневровий тепловоз – на рівні 6,410 кг/год.

Шляхом узагальнення даних, наведених у роботах [10-12], оцінено енергетичні витрати і шкідливі викиди в довкілля при перевезенні контейнерів різними видами транспорту:

- середні питомі витрати електроенергії електровозом 0,6040...0,6552 кВт·год/TEU·км;
- середні питомі витрати електроенергії на залізничну електротягу з урахуванням втрат у системі електропостачання 0,6647...0,7208 кВт·год/TEU·км;
- середні питомі викиди шкідливих речовин на залізничній електротязі CO₂ η_з = 0,0033...0,0038 г/TEU·км (при змішаному режимі генерації електроенергії електростанціями мазут/вугілля);
- середні питомі викиди шкідливих речовин при виконанні маневрової роботи CO₂ η_{ман} = 320,50 г/TEU·год (тепловоз ЧМЕ-3 в режимі роботи двигуна

№ = 75 % повної потужності і складі маневрового состава 10 вагонів);

- середні питомі викиди шкідливих речовин вантажного автомобіля CO₂ η_а = 13,194 г/TEU·км (6-циліндровий дизельний двигун, середня швидкість руху 60 км/год, повне завантаження контейнера).

Оцінку значення екологічного критерію при унімодальному перевезенні автотранспортом можна розраховувати як вартісну величину шкоди від негативного впливу двооксиду вуглецю на атмосферне повітря [12]

$$B_a = m_{TEU} \eta_a \sum_{n=1}^K (L_{np} i c_{атм} i), \quad (1)$$

де $L_{np} i$ – відстань унімодального перевезення територією i -ї держави, км;

K – кількість ділянок перевезення територією інших держав (для внутрішнього сполучення $K=1$);

$c_{атм} i$ – ставка екологічного податку на забруднюючі викиди CO₂ територією i -ї держави, грн/т;

m_{TEU} – маса вантажу, що перевозиться в контейнері (TEU), т.

Значення екологічного критерію для мультимодального перевезення

$$B_M = m_{TEU} \left(\eta_z \sum_{n=1}^K (2L_z i c_{атм} i + t_{ман} i \eta_{ман}) + \eta_a [L_{a1} c_{атм} 1 + L_{a2} c_{атм} K] \right), \quad (2)$$

де L_{3i} – відстань залізничної частини мультимодального перевезення територією i -ї держави, км;

2 – коефіцієнт, що враховує повернення рухомого складу до країни-власника;

$t_{man i}$ – середня тривалість маневрових операцій з мультимодальною одиницею, год;

L_{a1}, L_{a2} – середня відстань відповідно завезення та вивезення мультимодальної одиниці, км.

В Україні екологічний податок – загальнодержавний обов’язковий платіж, що справляється з фактичних обсягів викидів в атмосферне повітря (ст. 14.1.57 ПКУ [13]). За п. 243.4 ПКУ, ставка податку за викиди двооксиду вуглецю становить 30 грн/т.

Шляхом аналізу встановлено, що ставки вуглецевого екологічного податку суттєво розрізняються в різних країнах. Для стимулювання «зелених» технологій в Україні планується його поступово збільшувати до 5 грн/т кожний рік. У той же час ставки вуглецевого екологічного податку в розвинутих країнах коливаються від 1 дол. США/т

(Польща) до 25 євро/т у деяких країнах ЄС і 139 дол. США/т (Швеція) [14].

Формування ланцюга постачання вантажів у контейнерах з урахуванням екологічного критерію запропоновано вирішити як багатоетапну транспортну задачу цілочисельного програмування. У багатоетапних транспортних задачах контейнери від постачальників спочатку надходять на проміжні пункти (розподільчі термінали, у нашому випадку – це міждержавні пункти переходу), де за потреби вони перевантажуються або певний час зберігаються. Тобто до кінцевих споживачів продукція надходить не від постачальників, а з зазначених проміжних пунктів транспортних мереж (рис. 2).

У розглянутому прикладі вважаються відомими запаси продукції в постачальників, пропускні спроможності проміжних пунктів, потреби споживачів, тарифи та екологічні критерії на перевезення контейнера (TEU), а також пропускні спроможності кожного з маршрутів. За цих умов потрібно визначити найекономічніший план перевезень продукції від постачальників до споживачів.

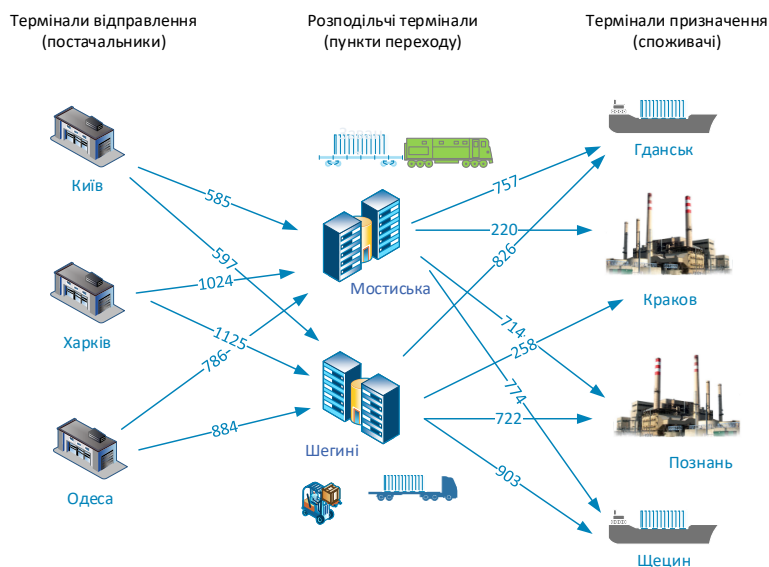


Рис. 2. Схема ланцюга постачання вантажів у контейнерах (на стрілках показано відстань, км)

Позначимо кількість постачальників через m , а обсяг наявних у кожного з них контейнерів через $a_i (i = \overline{1, m})$. Кількість споживачів позначимо через n , попит на контейнери кожного споживача – $b_j (j = \overline{1, n})$. Припускається, що перевезення продукції від постачальників до споживачів здійснюватимуться у два етапи. Спочатку продукція від постачальників

надходить на проміжні пункти, а вже з проміжних пунктів – до споживачів (рис. 2). Кількість проміжних пунктів позначимо через p , а пропускну спроможність окремого k -го проміжного пункту – $c_k (k = \overline{1, p})$.

Витрати на перевезення одиниці продукції від i -го постачальника на k -й проміжний пункт позначимо через $s_{ik} (i = \overline{1, m}; k = \overline{1, p})$, а витрати на перевезення

одиниці продукції з k -го проміжного пункту до j -го споживача – $t_{kj}(k = \overline{1,p}; j = \overline{1,n})$. Потрібно знайти обсяги x_{ik} перевезень продукції від постачальників на проміжні пункти ($i = \overline{1,m}; k = \overline{1,p}$) та обсяги y_{kj} перевезень продукції з проміжних пунктів до

споживачів ($k = \overline{1,p}; j = \overline{1,n}$), щоб загальні витрати Ω на здійснення усіх перевезень були мінімальними.

За наведених умов і позначень економіко-математична модель двохетапної транспортної задачі цілочисельного програмування набуває вигляду

$\Omega = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p s_{ik} x_{ik} B_{mi} + \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n t_{kj} y_{kj} B_{mj} \rightarrow \min,$	(3)
$\sum_{k=1}^p x_{ik} \leq a_i, i = \overline{1,m},$	(4)
$\sum_{k=1}^p y_{kj} = b_j, j = \overline{1,n},$	(5)
$\sum_{i=1}^m x_{ik} = \sum_{j=1}^n y_{kj} \leq c_k, k = \overline{1,p},$	(6)
$x_{ik} \geq 0, i = \overline{1,m}, k = \overline{1,p},$ $y_{kj} \geq 0, k = \overline{1,p}, j = \overline{1,n}$	(7)
$L_{akj} \leq L_a, k = \overline{1,p}, j = \overline{1,n},$	(8)
$\sum_{j=1}^n b_j \leq \sum_{k=1}^p c_k.$	(9)

Цільова функція (3) відповідає пошуку найекономічнішого плану перевезень контейнерів. Інші умови задачі означають відповідно таке:

(4) – обсяг контейнерів, що вивозитиметься від кожного постачальника, не має перевищувати наявний у нього запас;

(5) – обсяг контейнерів, що завозитиметься кожному споживачу, має відповідати його попиту;

(6) – усі контейнери, що буде ввезено на кожний проміжний пункт від постачальників, мають бути потім надіслані до споживачів, причому слід враховувати пропускні спроможності кожного проміжного пункту;

(7) – обсяги перевезень контейнерів за кожним із маршрутів мають бути невід’ємними;

(8) – відстань перевезення контейнерів від проміжних пунктів до споживачів автотранспортом не

має перевищувати гранично допустимої, з екологічної точки зору, величини L_a ;

(9) – пропускні спроможності всіх проміжних пунктів достатні для опрацювання сукупного потоку продукції у транспортній мережі.

Тарифи на перевезення контейнерів залізничним та автомобільним транспортом взято відповідно до даних роботи [15] та апроксимовано лінійною функцією з похибкою нижче 1 % (рис. 3). Проміжні пункти – переходи прийнято відповідно мультимодальний – Мостиська, унімодальний (автотранспорт) – Шегині (рис. 2). Максимальна переробна спроможність відповідно до даних роботи [15] становить 180 ваг/доба. Вирішення двохетапної транспортної задачі цілочисельного програмування для заданих обсягів перевезення контейнерів на дослідному полігоні зведено в таблицю.

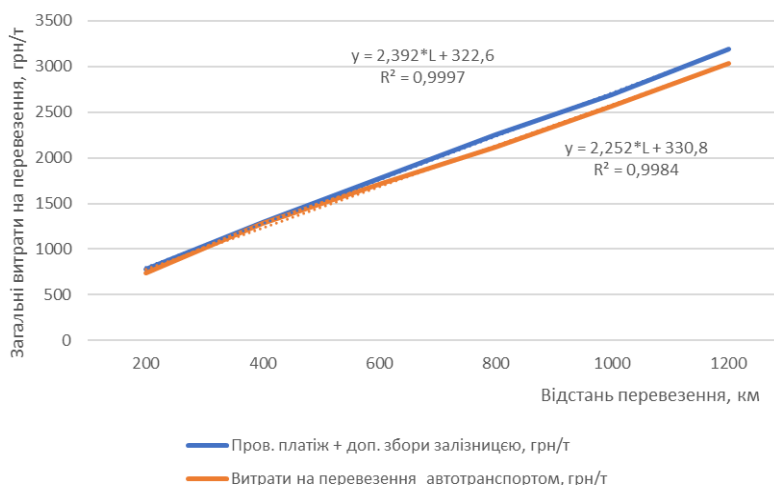


Рис. 3. Визначення рівня витрат на перевезення 1 т вантажу в контейнерах залізницею та автотранспортом

Таблиця

Вирішення двохетапної транспортної задачі цілочисельного програмування для заданих обсягів перевезення контейнерів на дослідному полігоні

Обсяг перевезень, TEU				Обсяг перевезень, TEU					
Термінал	Розподільчий пункт		Всього	Розподільчий пункт	Пункти призначення				Всього
	P-1	P-2			A-1	A-2	A-3	A-4	
C-1	50	0	50	P-1	80	0	0	40	120
C-2	0	60	60	P-2	0	20	30	10	60
C-3	70	0	70	Всього	80	20	30	50	
Всього	120	60							
Витрати на перевезення									
На першому етапі			8 261 227,61 ₴						
На другому етапі			7 213 995,80 ₴						
Загальні			15 475 223,41 ₴						
Обсяг перевезень TEU, тр. засобів									
Термінал	Розподільчий пункт		Всього	Розподільчий пункт	Пункти призначення				Всього
	P-1	P-2			A-1	A-2	A-3	A-4	
C-1	25	0	25	P-1	40	0	0	20	60
C-2	0	60	60	P-2	0	20	30	10	60
C-3	35	0	35						

Примітка. * Кольором виділено автомобільну частину перевезення контейнерного вантажу.

За даними таблиці, загальні мінімальні витрати на забезпечення доставки контейнерів склали близько 15,5 млн грн протягом дослідного місяця. Під час моделювання було проведено експеримент з визначення частки, що припадає на мультимодальний варіант доставки контейнерного вантажу залежно від рівня завантаженості пропускної спроможності розподільчих пунктів. Встановлено, що зі збільшенням пропускної спроможності автомобільних розподільчих пунктів контейнеропотік поступово переходить до

унімодального автомобільного способу перевезення. Це можна пояснити певною затримкою контейнерів під час перевантаження з вагонів колії 1520 мм до вагонів колії 1435 мм. Але при застосуванні перспективних екологічних умов та обмежень частка, що припадає на перевезення контейнерів автотранспортом, не перевищує 15 % (рис. 4), тобто виникає ефект збільшення частки мультимодального способу перевезення контейнерів.

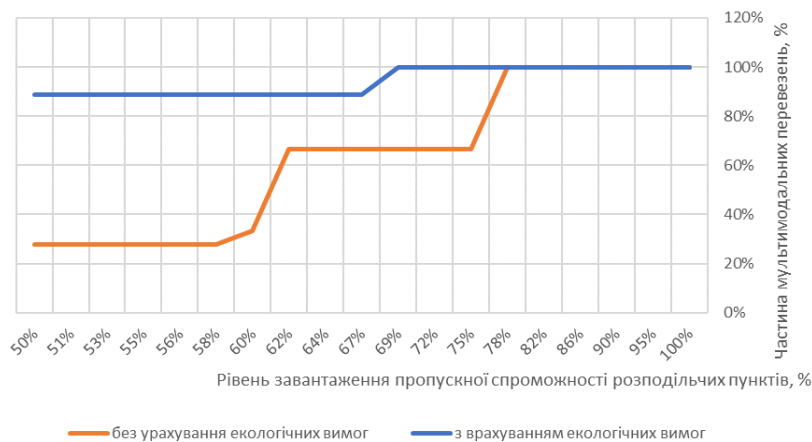


Рис. 4. Визначення частки, що припадає на мультимодальний варіант доставки контейнерного вантажу

Висновок

За прогнозом, у 2024-2050 роках загальний обсяг викидів CO₂ в секторі перевезень вантажів в Україні збільшиться в 3,9 раза. Зростання обсягу викидів CO₂ на автомобільному та залізничному транспорті до 2050 року складе відповідно 240 і 600 %. Впровадженню «зелених» логістичних технологій сприяє впровадження мультимодальних технологій перевезення вантажів. Це дає змогу виділити такі перспективні напрямки діяльності в цій сфері:

- поступове розширення в цілому по країні мережі логістичних і мультимодальних центрів, починаючи з крупних транспортних вузлів, і впровадження мультимодальних технологій сприятиме зменшенню рівня комплексного індексу забруднення атмосфери в більшості транспортних вузлів на 1..3 %;

- скорочення частки унімодальних автомобільних перевезень на відстань більше 300 км, заміщення їх мультимодальними за участю залізничного, а також водного видів транспорту дозволить покращити показники екологічності при перевезенні контейнерних вантажів, при цьому за рахунок скорочення кількості рейсів і зменшення шкідливого впливу на довкілля з боку залізниці рівень викидів забруднюючих речовин в атмосферу можна скоротити майже у 200 разів, а за викидами CO₂ – практично у 300 разів;

- впровадження спеціалізованих мультимодальних технологій можливе за рахунок застосування енергоощадливих технологій і спрямування економії від екологічних податків у вигляді інвестицій у логістичну інфраструктуру;

- мультимодальна технологія перевезень контейнерів у внутрішньому транспортному сполученні дає економію на екологічному податку в 6,1 раза, а в міжнародному – 9,8 раза порівняно з унімодальною;

- розмежування вантажного та пасажирського руху на особливо завантажених залізничних дільницях, а також сезонне застосування мультимодальних технологій доставки вантажів і пасажирів на напрямках зі складними дорожніми умовами або в умовах залізничних станцій з невеликими обсягами роботи.

Список використаних джерел

1. Дьомін Ю. В. Залізнична техніка міжнародних транспортних систем (вантажні перевезення): монографія / Київ. ін-т залізнич. трансп. Київ : Юнікон-Прес, 2001. 341 с.
2. Ломотько Д. В., Обухова А. Л., Сеніва І. В. Аналіз перспективних напрямків використання контейнерних та контейнерних перевезень в Україні. *Залізничний транспорт України*. 2015. № 5. С. 65-71.
3. Palanivelu P., Dhawan M. Green Logistics. White

Paper Tata Consulting Systems. TCS. URL: https://www.academia.edu/28094615/Green_Logistics_Whitepaper.

4. Перспективи «зеленої» логістики при використанні контейнерних та контейнерних перевезень в Україні / Д. В. Ломотько, О. М. Огар, Д. С. Козодой, М. Д. Ломотько. *Залізничний транспорт України*. 2021. № 1. С. 11-21. DOI: 10.34029/2311-4061-2021-138-1-11-22.
5. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України: Досвід країн центральної та східної Європи. URL: <https://mepr.gov.ua/files/%D0%95%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BA.pdf>.
6. Стратегія акціонерного товариства «Українська залізниця» на 2019-2023 роки: затв. розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12 червня 2019 р. № 591-р. *Урядовий портал*. 64 с. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-pogodzhennya-strategiyi-akcionernogo-tovaristva-ukrayinska-zaliznitsya-na-t120619>.
7. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80>.
8. Біла книга Європейської Комісії – план розвитку єдиного європейського транспортного простору – на шляху до конкурентоспроможної та ресурсоефективної транспортної системи. Видавничий центр Європейського Союзу в Люксембурзі, 2011. 28 с. ISBN 978-92-79-18270-9 doi 10.2832/30955.
9. Терминология комбинированных перевозок / ЕЭК экономического и социального совета ООН TRANS/WP.24/2000/1. URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/wp24/documents/wp24-00-1r.pdf>.
10. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог: монография / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин, А. П. Фалендыш. Луганск: Ноулидж, 2011. 174 с.
11. Коссов В. С., Редин А. Л., Оленцов А. А. Сравнительный анализ загрязнения атмосферы морским и железнодорожным транспортом при товарообмене между Восточной Азией и Европой. *Вестник ВНИКТИ*. 2017. № 100. С. 108–115.
12. Екологічні аспекти застосування «зеленої» логістики при мультимодальних вантажних перевезеннях / Д. В. Ломотько, О. М. Огар, Д. С. Козодой та ін. *Залізничний транспорт України*. 2021. № 2. С. 49-62. DOI: 10.34029/2311-4061-2021-139-2-49-62.
13. Податковий кодекс України : станом на 28.03.2021 / Верховна Рада України. URL:

- <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>.
14. Taxing CO2 emissions from road transport : Taxing Energy Use 2018. Retrieved April 30, 2019. URL: <https://www.compareyourcountry.org/taxing-energy&page=1&visited=1>.
15. АТ «Укрзалізниця». Офіційний сайт. URL: <https://uz.gov.ua/>.

Mykola Lomotko. Forming the supply chain of cargo in containers on basis «green» logistics.

Abstract. Prospects for the formation of a supply chain of goods in containers based on the application of the concept of «green» logistics in multimodal transportation of goods with the participation of railway transport are considered. It has been established that multimodal technologies have a lower negative impact on the environment and air compared to the delivery of goods by one mode of transport.

It has been proven that the introduction of «green» multimodal technologies is possible due to the reduction of the share of automobile transportation for a distance of 300 km or more. It is proposed to direct savings from environmental taxes to investments in logistics infrastructure. Under the given conditions, an economic-mathematical model of the two-stage transport problem of integer programming of the optimization of the

distribution of container flows between suppliers and consumers is proposed, taking into account the ecological criterion. It has been established that the development of multimodal transportation in Ukraine requires the resolution of a number of internal organizational and legal issues, primarily the harmonization of national transport legislation with EU norms.

Keywords: railway, road transport, container, «green» logistics, multimodal transportation, impact on the environment, carbon pollution of the air.

Надійшла 31.01.2023 р.

Ломотько Микола Денисович, аспірант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: kolyan1890@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0294-2686>.

Mykola Lomotko, Postgraduate of the department Railway stations and junctions, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: kolyan1890@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0294-2686>.

ХАРЧЕНКО Д. Р., магістрант,
КИМАН А. М., канд. техн. наук, доцент,
ЩЕРБИНА М. Є., аспірант,
ПРОХОРЧЕНКО А. В., д-р техн. наук
(Український державний університет залізничного транспорту)

Удосконалення системи обліку виконання графіка руху пасажирських поїздів

Стаття присвячена удосконаленню системи обліку виконання графіка руху пасажирських поїздів за рахунок визначення граничних значень часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд вважається затриманим. Проведено аналіз діючих систем обліку виконання графіка руху поїздів у різних залізничних системах. Виявлено, що впровадження максимально допустимого часу затримки пасажирських поїздів дає змогу знайти баланс між витратами залізничного перевізника та вимогами щодо якості сервісу пасажирів. З використанням теорії ігор формалізовано процедуру вибору граничних значень часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд може вважатися затриманим з урахуванням системи «стимулів і штрафів» (Bonus-Malus System). На емпіричних даних проведено розрахунки розв'язання матричної гри, які виявили, що оптимальним варіантом для гравців «пасажир» і «залізничний перевізник» є ситуація, коли при найбільшій доплаті за проїзд, перевищенні затримки більш ніж на п'ять хвилин повертається 27,8 % вартості проїзду. Запропонована в цьому дослідженні математична модель на основі теорії ігор дає змогу побудувати на ринку залізничних пасажирських перевезень систему підвищення якості виконання графіка руху поїздів з урахуванням інтересів перевізника та користувачів послуги з перевезення.

Ключові слова: залізниця, пасажирські перевезення, графік руху поїздів, теорія ігор.

Вступ

В умовах конкуренції на ринку пасажирських перевезень для залізничного транспорту важливим є підвищення рівня виконання графіка руху пасажирських поїздів (ГРПП) як ключового показника стабільності надання основної транспортної послуги для пасажирів. Графік руху поїздів (ГРП) – це нормативно-технологічний документ, що регламентує роботу всіх підрозділів залізничного транспорту з організації руху поїздів [1], а виконання ГРП відображує загальний рівень якісних показників роботи різних підрозділів і підприємств залізниці, що у свою чергу визначають експлуатаційні витрати на здійснення перевезень. Складання ринково-орієнтованого ГРПП з високим рівнем стабільності руху залежить від якісного обліку і аналізу затримок пасажирських поїздів. Наразі система обліку виконання ГРПП в АТ «Укрзалізниця» не дозволяє уніфіковано виявити причини затримок поїздів, що вплинули на виконання ГРПП і функціонально застаріла. Наприклад, при обліку та аналізі графіка

руху затримки поїздів відносять за господарствами, з вини яких ці затримки сталися [2]. Узагальнення порушень ГРПП за господарствами залізниці не можуть відобразити, як той або інший фактор вплинув на рівень виконання ГРПП. Крім того, виконання Угоди про асоціацію між Україною та ЄС передбачає реалізацію недискримінаційного доступу до мережі залізниць України незалежних від держави пасажирських залізничних перевізників. Це вимагає розроблення нової системи обліку виконання ГРПП, де будуть враховані всі учасники, задіяні в перевезенні пасажирів залізничним транспортом України. В умовах обліку важливе значення має встановлення граничних значень часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд вважається затриманим. Наразі на АТ «Укрзалізниця» не встановлено максимально допустимий граничний час затримки для пасажирських поїздів. За таких умов є актуальним проведення досліджень з удосконалення системи обліку і аналізу виконання графіка руху пасажирських поїздів на мережі залізниць України.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблемі підвищення пунктуальності пасажирських поїздів було присвячено чисельні наукові роботи і дослідження. Для побудови більш досконалої системи обліку графіка руху пасажирських поїздів у роботах [3, 4] обговорюється проблема ведення обліку причин порушення ГРПП. Зокрема, у роботі [3] пропонується впровадження нової методики та показників для визначення причин затримок пасажирських поїздів, що допомагають оцінити, наскільки різні ситуації на маршруті прямування поїзда вплинули на порушення ГРПП. Суть методики полягає в тому, що загальна затримка пасажирського поїзда по прибуттю поділяється на складові. Для цього автори впроваджують два нові показники: вплив затримки (визначає, наскільки конкретне порушення вплинуло на загальну затримку) і критичні порушення (показує порушення, через яке пасажирський поїзд порушив нормативний розклад). Однак ця методика може використовуватися лише на залізницях, де облік часу затримки ведеться на кожній станції. У дослідженні [4] пропонується впровадження єдиної класифікації причин затримок. Автори пропонують об'єднати всі затримки за категоріями: через інший поїзд (англ. circulation problems), несправність поїзда, порушення інфраструктури, підготовку до рейсу та через зовнішні фактори. Однак ці категорії досить розпливчасті та можуть лише використовуватися для поверхневого аналізу порушення ГРПП.

Аналізу впливу різних факторів на виникнення затримок приділена увага у статтях [5, 6], де досліджувались основні причини затримок пасажирських поїздів. У статті [5] на прикладі залізниці країни Шрі-Ланки було виявлено, що більшість поїздів були затримані через погодні умови, експлуатаційні причини (проблеми з інфраструктурою, несправність локомотива тощо) або через провину пасажирів. Незважаючи на несумісність залізничних систем Шрі-Ланки та України, проблеми, виявлені у статті [5], властиві також і для пасажирських перевезень у АТ «Укрзалізниця». У роботі [6] була приділена увага детальному вивченню впливу погоди на пунктуальність поїздів у Норвегії. Виявлено, що сурові зими більше впливають на кількість затримок, ніж більш «м'які» погодні умови. Ці висновки корелюють із зимовими умовами експлуатації залізничної системи України.

Слід зазначити, що для удосконалення системи обліку ГРПП необхідно використовувати окремий підхід, що ґрунтується на моделюванні та прогнозуванні рівня виконання ГРПП. Наприклад, у роботі [7] запропоновано дворівневий підхід з використанням методу моделювання «випадковий ліс» для прогнозування затримок пасажирських поїздів на прикладі нідерландських залізниць. На першому рівні

математична модель передбачає поведінку поширення затримки, тобто буде затримка збільшуватись, зменшуватись чи вона залишиться незмінною протягом 20 хв. Після цього на другому рівні модель визначає час затримки. Було виявлено, що така модель може забезпечити точне прогнозування затримок у залізничній системі Нідерландів. Але результати цієї роботи не можна застосувати на мережі залізниць України через різні підходи до складання ГРПП.

У статті [8] було запропоновано впровадження машинного навчання для моделі, що може передбачати затримки пасажирських поїздів. На прикладі даних залізничної системи Франції була побудована модель, що прогнозує можливу затримку поїзда з точністю від 71 до 81 %. Однак автори використовували лише два методи машинного навчання, що може бути недостатньо для коректної роботи запропонованої системи. Робота [9] присвячена впровадженню адаптивного розкладу, який долає наслідки збою в русі пасажирських поїздів. У цій роботі автори запропонували алгоритмічний підхід до зміни графіка руху, який неможливо виконати через збій при експлуатації залізничної мережі. Цей алгоритм забезпечує рівномірне співвідношення між експлуатаційними витратами, відхиленням від початкового розкладу пасажирського поїзда та зручністю для пасажирів.

Роботи [10, 11] присвячені вирішенню проблемних ситуацій між деякими конфліктуючими між собою цілями за допомогою теорії ігор. У роботі [10] автори дослідили оптимальні стратегії для перевезення пасажирів, що враховують як кількість пасажирів, так і прибуток операторів; рівень «заселеності поїзда», який варіюється від вартості квитка, але не було досліджено питання пунктуальності. Використання теорії ігор на залізничному транспорті було ретельно досліджено в роботі [11]. Автори статті використали теорію ігор у визначенні оптимального рівня тарифу на перевезення вантажів. Однак у роботі основна увага приділена лише вантажоперевезенням, тому результати роботи неможливо використати в пасажирському русі.

Слід зазначити, що наразі в Україні недостатня увага приділена дослідженням, що стосуються удосконаленню ведення обліку ГРПП. Основна Інструкція [2], що регламентує основні положення ведення ГРПП, була розроблена у 2010 році та вже неактуальна на сьогодні.

Аналіз статей, наведений вище, показує, що більшість залізничних мереж світу ставлять за мету підвищення обліку та рівня виконання ГРПП різними способами та методами. Однак через відмінність залізничної мережі України від інших країн і недостатню кількість праць українських вчених питання удосконалення системи обліку ГРПП потребує додаткового дослідження та вивчення. За таких умов дослідження в напрямі удосконалення

системи обліку виконання графіка руху пасажирських поїздів є актуальними та важливими.

Визначення мети та завдання дослідження

Метою дослідження є підвищення ефективності залізничних пасажирських перевезень на основі удосконалення системи обліку виконання графіка руху пасажирських поїздів за рахунок визначення граничних значень часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд вважається затриманим. Це забезпечить достатній конкурентний рівень залізничного сервісу на ринку пасажирських перевезень і дасть змогу для стабільності розвитку залізничної пасажирської компанії за рахунок пошуку балансу між витратами залізничного перевізника та вимогами щодо якості сервісу пасажирів.

Для досягнення заявленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз діючих систем обліку виконання графіка руху поїздів у різних країнах Європи, дослідити граничні значення затримок для пасажирських поїздів різних залізничних системах;

- формалізувати процедуру вибору граничних значень часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд може вважатися затриманим з урахуванням системи «стимулів і штрафів» (англ. Bonus-Malus System);

- на емпіричних даних провести розрахунки та отримати практичні результати.

Основна частина дослідження

Для забезпечення прозорого обліку та аналізу затримок пасажирських поїздів впровадження

граничних значень часу для пасажирських поїздів є одним з факторів, що забезпечує підвищення рівня якості перевезень і ефективності залізничного транспорту з перевезення пасажирів у цілому. Для вирішення поставленого завдання запропоновано провести аналіз діючих систем обліку виконання графіка руху поїздів у різних країнах Європи (табл. 1).

Граничні значення часу для пасажирських поїздів встановлені в більшості країн Європи. Зокрема, у Польщі та Німеччині поїзд вважається затриманим, якщо він прибув на станцію з затримкою більше 5 хв і 59 с. За щорічним звітом з пунктуальності [12], опублікованим Управлінням Залізничним Транспортном у Польщі (пол. Urząd Transportu Kolejowego), загальний рівень виконання ГРПП всіма перевізниками за 2021 рік склав 88,74 %, а в перевізника Deutsche Bahn у Німеччині вчасно прибуло на станцію 84,75 % пасажирських поїздів за той самий період часу. У Швейцарії поріг пунктуальності значно вище, ніж у вищерозглянутих країнах – 3 хв. Рівень виконання ГРПП за 2021 рік склав 91,65 %.

Слід зазначити, що в деяких країнах граничні значення затримок для пасажирських поїздів варіюються залежно від виду сполучення та класності поїзда. Наприклад, для поїздів на мережі французького оператора інфраструктури SNCF Réseau встановлені граничні значення 5 хв 59 с для приміського сполучення та від 5 до 15 хв для дальніх поїздів з урахуванням класності поїзда. Вчасно прибули на станцію 84,9 % поїздів загальної кількості у дальньому сполученні та 92,9 % поїздів – у приміському.

Таблиця 1

Зведена характеристика допустимого рівня затримок для пасажирських поїздів і відсоток виконання ГРПП у деяких країнах Європи

Країна	Граничні значення затримок для пасажирських поїздів	Відсоток виконання ГРПП (2021 рік)
Польща	5 хв 59 с	88,74 %
Німеччина	5 хв 59 с	84,75 %
Швейцарія	3 хв	91,65 %
Франція	Від 5 до 15 хв	84,9 % у прямому та 92,9 % у приміському сполученні
Україна	Відсутні	86,0 % у прямому та 96,2 % у приміському сполученні (за прямуванням)

На сьогодні на мережі залізниць України не існує значень часу затримок пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд буде вважатися затриманим. Відсутність нижніх меж пунктуальності для пасажирських поїздів створює неможливість ведення

якісного обліку та аналізу затримок пасажирських поїздів. Це у свою чергу призводить до зниження рівня виконання ГРПП та зменшення загальної ефективності залізничного транспорту. Тому, враховуючи наведений

вище аналіз, необхідне встановлення граничного значення часу для пасажирських поїздів.

Для формалізації процедури вибору граничних значень часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд може вважатися затриманим з урахуванням системи «стимулів і штрафів» (англ. Bonus-Malus System), у роботі запропоновано використати методи теорії ігор [13].

Для формалізації процедури визначення граничного рівня затримки для пасажирського поїзда на першому етапі запропоновано визначити середній рівень відхилення в часі серед всіх затриманих пасажирських поїздів для розрахункового періоду. Розрахувати відхилення від нормативного розкладу – час затримки за допомогою математичного сподівання:

$$M[X] = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i, \quad (1)$$

де x_i – час затримки пасажирського поїзда;

p_i – імовірність затримки пасажирського поїзда серед усіх затримок за деякий проміжок часу;

n – кількість аналізованих затримок.

Однак, урахуваючи збитковість залізничних пасажирських перевезень, важливо побудувати систему, що буде забезпечувати збільшення «мотивації» залізничного перевізника в дотриманні виконання ГРПП. Для цього виникає потреба у врахуванні додаткових стримуючих факторів при визначенні граничного часу затримок для пасажирських поїздів. Для залучення більшої кількості пасажирів на залізницю може запроваджуватись маркетингових крок, що передбачає встановлення додаткових штрафних плат з вартості проїзду. Це гарантує повернення $n\%$ вартості сплаченої плати, вказаної у проїзному документі, при затримці поїзда понад встановлений час. Для визначення оптимального рівня кореляції між граничною затримкою, ціною квитка та відсотка повернення його вартості необхідне створення математичної моделі на основі теорії ігор, де ігрова матриця має вигляд [13]

$$\begin{matrix} & B_1 & B_2 & \dots & B_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix}, \quad (2)$$

де A_m – стратегії прийнятих рівнів доплат до вартості проїзду, що, за функцією корисності, повинен сплатити пасажир за бажаний рівень виконання графіка руху поїзда;

B_m – стратегії встановлених граничних рівнів затримки пасажирського поїзда;

c_{mn} – відсоток штрафних доплат за проїзд.

Для кожного граничного рівня затримки пасажирського поїзда та рівня доплат до вартості проїзду розставляється відсоток загальної вартості проїзду, виплачуваний при запізненні поїзда понад встановлений термін, тобто $C_m = \{c_{11}, c_{12}, \dots, c_{mn}\}$. Запропоновано розраховувати c_{mn} за формулою

$$c_{mn} = \frac{P_{\text{проїзд}} \cdot A_m}{B_m + M(X)} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де $P_{\text{проїзд}}$ – загальна вартість проїзду, грн.

Якщо $M(X) < B_n$, то формула набуває іншого вигляду:

$$c_{mn} = \frac{(P_{\text{проїзд}} \cdot A_m) \cdot \alpha}{B_m + M(X)} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де α – коефіцієнт до рівня ціни, варіюється від 2 до 3.

Крім того, слід зазначити, що при визначенні відсотка повернення вартості проїзду необхідно також урахувати відхилення від математичного сподівання рівня затримки пасажирського поїзда за допомогою побудови графіка розподілу випадкових величин. Для прикладу припустимо, що гравцем «А» виступає умовний «пасажир», а гравцем «В» – «залізничний перевізник». Граничний рівень затримки встановлений на рівні від 1 до 25 хв. Вартість проїзду дорівнює $P_{\text{проїзд}} = 500$ умов. Од., а доплати до нього – від 20 до 80 умов. од. Вихідні дані для визначення затримок поїздів на станції K за деякий проміжок часу відображені на рис.1.

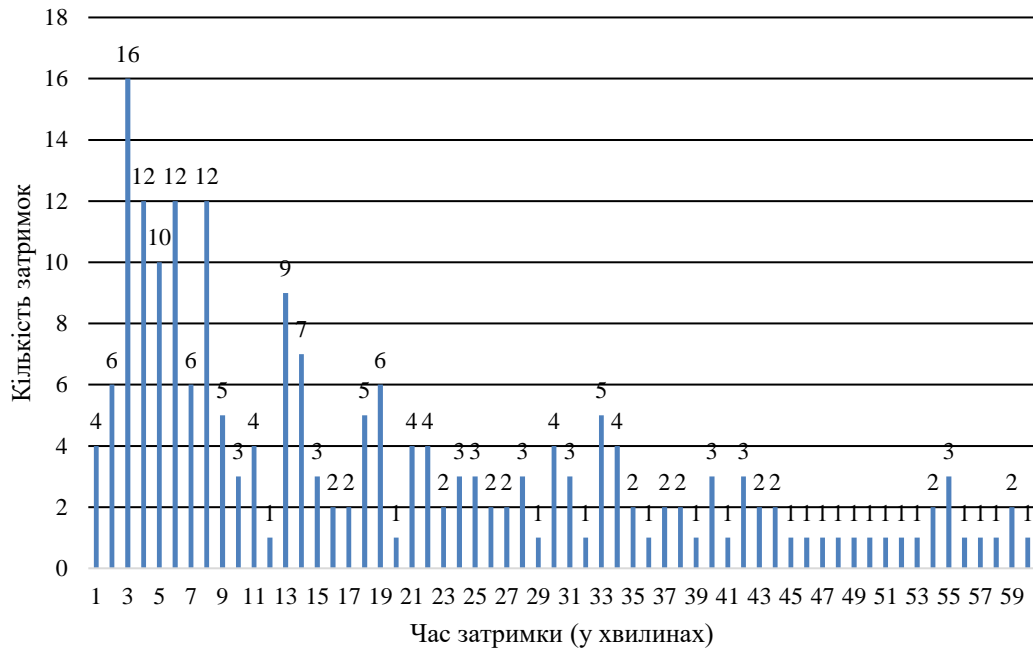


Рис. 1. Кількість і час затримки пасажирських поїздів на станції K

Математичне сподівання затримки для всіх затримок дорівнює $M(X) \approx 25,2$ хв. Проте воно враховує всі затримки, допущені за розглянутий період. Однак на рис. 1 можна побачити, що

найбільшу кількість пасажирських поїздів було затримано в межах від 1 до 35 хв. Враховуючи це, є доречним зменшити діапазон затримок, що розглядалися, до рівня від 1 до 35 хв (рис. 2).

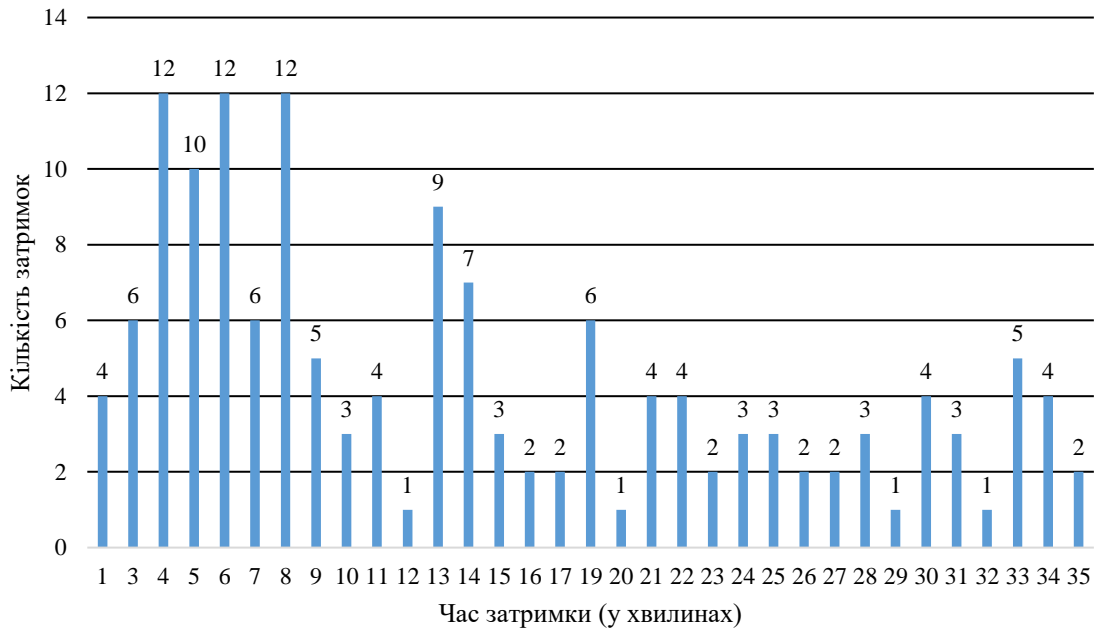


Рис. 2. Кількість і час затримки пасажирських поїздів на станції K (від 1 до 35 хв)

Математичне сподівання тривалості затримки дорівнює $M(X_{1-35\text{ хв}}) \approx 9,56$ хв. Враховуючи це математичне сподівання та розподіл часу затримки пасажирських поїздів, можна побудувати платіжну матрицю гри, до якої вноситься рівень штрафних

виплат до квитка A_m , граничний час затримки для пасажирського поїзда B_n і відсоток вартості квитка, що повертається пасажирову c_{mn} . Платіжна матриця наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Матриця виграшів залізниці та пасажирів

		В				
		1	5	15	20	25
А	20	9,5	6,9	12,2	10,1	8,7
	40	18,9	13,7	24,4	20,3	17,4
	60	28,4	20,6	36,6	30,5	26
	80	37,9	27,8	48,9	40,6	34,7

Для розв'язання цієї матриці запропоновано використати метод мінімакс. Для цього необхідно знайти сідлову точку. Найоптимальніші стратегії як

для «залізниці», так і «пасажирів» відображені в табл. 3.

Таблиця 3

Найоптимальніші стратегії для «пасажирів» та «залізничний перевізник»

		В					$b = \max(c_{mn})$
		1	5	15	20	25	
А	20	9,5	6,9	12,2	10,1	8,7	6,9
	40	18,9	13,7	24,4	20,3	17,4	13,7
	60	28,4	20,6	36,6	30,5	26	20,6
	80	37,9	27,8	48,9	40,6	34,7	27,8
$a = \min(c_{mn})$		37,9	27,8	48,9	40,6	34,7	-

Гарантований виграш, визначений нижньою ціною гри, $a = \max(c_{mn}) = 27,8$, що вказує на максимальну чисту стратегію в комірці А4 для «залізничного перевізника». Верхня ціна гри дорівнює $b = \min(c_{mn}) = 27,8$, що вказує на комірці В2, тобто ціна гри дорівнює 27,8. Отже, за розрахунками гри, при заданих вихідних даних оптимальною стратегією для «пасажирів» і «залізничного перевізника» є ситуація, коли при найбільшій доплаті за проїзд у 80 умов. од. (вартість проїзду 580 умов. од.) при перевищенні затримки більш ніж на 5 хв повертається 27,8 % вартості проїзду.

Висновки

Завдяки проведеному аналізу діючих систем обліку виконання графіка руху поїздів у різних залізничних системах було виявлено, що впровадження максимально допустимого часу

затримки пасажирських поїздів дає можливість більш якісно дослідити відсоток виконання графіка руху. Наразі у АТ «Укрзалізниця» не встановлено нормативно максимально допустимий граничний час затримки для пасажирських поїздів. Для удосконалення системи обліку виконання графіка руху пасажирських поїздів на мережі залізниць України в цьому дослідженні запропоновано на основі методу теорії ігор формалізувати процедуру вибору граничних значень часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд може вважатися затриманим з урахуванням системи «стимулів і штрафів». На емпіричних даних проведено розрахунки розв'язання матричної гри, які виявили, що оптимальним варіантом для гравців «пасажирів» і «залізничний перевізник» є ситуація, коли при найбільшій доплаті за проїзд при перевищенні затримки більш ніж на 5 хв повертається 27,8 % вартості квитка. Запропонована в цьому дослідженні математична модель на основі

теорії ігор дає змогу побудувати на ринку залізничних пасажирських перевезень систему підвищення якості виконання графіка руху поїздів з урахуванням інтересів перевізника та користувачів послуги з перевезення; дослідити і встановити для АТ «Укрзалізниця» граничні значення часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких пасажирський поїзд може вважатися затриманим з урахуванням системи «стимулів і штрафів» (англ. Bonus-Malus System).

Список використаних джерел

1. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України: затв. наказом М-ва транспорту та зв'язку України від 31 серпня 2005 р. № 507. Київ: Вид-во ТОВ «Імпрес», 2005. 464 с.
2. Інструкція з обліку і аналізу виконання графіка руху пасажирських, приміських та вантажних поїздів : ЦЧУ-ЦД-0002 : затв. наказом Укрзалізниці 18.11.2010 р. № 747-Ц. Київ : Імпрес, 2011. 62 с.
3. Joborn M., Ranjbar Z. Understanding causes of unpunctual trains: Delay contribution and critical disturbances. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. 2022. Vol. 23. P. 100339. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210970622000397?via%3Dihub#fig3> (last access 05.10.2022). DOI: 10.1016/j.jrtpm.2022.100339.
4. Grechi D., Maggi E. The importance of punctuality in rail transport investigation on the delay determinants. *European Transport*. 2018. Vol. 70. URL: https://www.researchgate.net/publication/330322491_The_importance_of_punctuality_in_rail_transport_investigation_on_the_delay_determinants (last access: 07.10.2022).
5. Damsara P., Sirisoma N. Analysis of Punctuality in Railway Transportation; Coastal Railway Line, Sri Lanka. *113th Annual Conference of Institute of Engineers*. 2019. P. 389- 394. URL: https://www.researchgate.net/publication/336650888_Analysis_of_Punctuality_in_Railway_Transportation_Coastal_Railway_Line_Sri_Lanka. (last access: 27.10.2022).
6. Zakeri G., Olsson N. O. E. Investigating the effect of weather on punctuality of Norwegian railways: a case study of the Nordland Line. *Journal of Modern Transportation*. 2018. Vol. 26. P. 255 – 267. DOI: 10.1007/s40534-018-0169-7.
7. Nabian M. A., Alemazkoo N., Meidani H. Predicting Near-Term Train Schedule Performance and Delay Using Bi-Level Random Forests. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2019. Vol. 2673/5. DOI: 10.1177/0361198119840339.
8. Lbazi S., Jihal H., Azouasi M. Predict France trains delays using visualization and machine learning techniques. *Procedia Computer Science*. 2020. Vol. 175. P. 700-705. DOI: 10.1016/j.procs.2020.07.103.
9. Binder S., Maknoon M. Y., Sharif A. Sh., Bierlaire M. Passenger-centric timetable rescheduling: A user equilibrium approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2021. Vol. 132. P. 103368. DOI: 10.1016/j.trc.2021.103368.
10. Stolilova S. Application of game theory in planning passenger rail and road transport on parallel routes. *19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*. 2020. P. 1293 – 1301. URL: https://www.researchgate.net/publication/342380330_APPLICATION_OF_GAME_THEORY_IN_PLANNING_PASSENGER_RAIL_AND_ROAD_TRANSPORT_ON_PARALLEL_ROUTES. (last access: 14.10.2022).
11. Моделирование распределения грузопотоков на направлениях транзитных перевозок железнодорожным транспортом в международном сообщении / Д. Н. Козаченко, Б. В. Гера, В. В. Скалозуб, Ю. Н. Германюк. *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна*. 2016. № 11. С. 39 - 47. DOI: 10.15802/tstt2016/76829.
12. Punktualność pociągów w 2021 r. Portal statystyczny UTK. URL: <https://dane.utk.gov.pl/sts/analizy-i-opracowania/18652,Punktualnosc-pociagow-w-2021-r.html> (дата звернення: 13.11.2022).
13. Jones A.J. Game Theory. *Mathematical Models of Conflict*. Published by Woodhead Publishing Limited. 2000. 300 p. DOI: 10.1016/B978-1-898563-14-3.50002-1.

Kharchenko D., Kiman A., Snerbyna M., Prokhorchenko A. Improving the system of accounting for the implementation of the passenger train schedule

Abstract. The article is devoted to the improvement of the system of accounting for the implementation of the passenger train schedule by determining the maximum values of the delay time for passenger trains, when exceeded, the train is considered delayed. An analysis of the existing systems of accounting for the implementation of the train schedule in various railway systems is carried out. It is found that the introduction of the maximum permissible delay time for passenger trains allows finding a balance between the costs of the railway carrier and the requirements for the quality of passenger service. Using the game theory, the article formalizes the procedure for selecting the maximum values of the delay time for passenger trains, beyond which the train can be considered delayed, taking into account the Bonus-Malus System. Based on empirical data, the authors calculated the solution of a matrix game, which revealed that the optimal option for the players "passenger" and "railroad" is a situation where the highest fare surcharge, when the delay exceeds five minutes, returns 27.8% of the fare. The

mathematical model proposed in this study based on the latest game theory allows us to build a system for improving the quality of train scheduling in the railway passenger transportation market, taking into account the interests of the carrier and users of the transportation service.

Keywords: railroad, passenger transportation, train schedule, game theory.

Надійшла 10.03.2023 р.

Харченко Дмитро Романович, магістрант, група 221-ОПУТ-Д21, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0009-0005-3174-3231. E-mail: uznlt@ukr.net.

Киман Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління вантажною та комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-4000-3287. Tel.: +38 (057) 730-10-75. Email: uermp@kart.edu.ua.

Щербина Марина Євгенівна, аспірант, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-1418-4886. Tel.: +38 (066) 635-76-01. Email: shcherbyna@kart.edu.ua.

Прохорченко Андрій Володимирович, доктор технічних наук, професор кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-3123-5024. Tel.: +38 (066) 635-76-01. Email: prokhorchenko@kart.edu.ua.

Kharchenko Dmytro, master-student, group 221-OPUT-D21, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0009-0005-3174-3231. E-mail: uznlt@ukr.net.

Kimani Andrii, cand. tech. sciences, Associate Professor of Freight and Commercial Management of the Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-4000-3287. Tel.: +38 (057) 730-10-75. Email: uermp@kart.edu.ua

Snerbyna Maryna Yevhenivna, graduate student of the Department of Operational Management of the Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-1418-4886. Tel.: +38 (066) 635-76-01. Email: shcherbyna@kart.edu.ua

Prokhorchenko Andrii, Dr. Tech. Sciences, Professor, Professor of the Department of Operational Management of the Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-3123-5024. Tel.: +38 (066) 635-76-01. Email: prokhorchenko@kart.edu.ua

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;

Замула О. А., д.т.н., професор,
ХНУ імені В. Н. Каразіна;

Каргін А. О., д.т.н., професор, УкрДУЗТ;

Климаш М. М., д.т.н, професор,
НУ «Львівська політехніка»;

Збігнев Лукасік, д.т.н., професор,
Технологіо-гуманітарний університет імені
Казимира Пуласького (Польща);

Марек Мезитис, д.т.н., професор, Ризький
технічний університет (Латвія);

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;

Тьєрі Хорсін, професор математики,
Національна консерваторія мистецтв та
ремесел (Франція);

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 Мещерякова І.М.
Редактор Ібрагімова Н. В.*

*Підписано до друку 27.03.2023 р. Формат 60x84 1/8.
Папір писальний. Ум.-вид. ар. 4,5. 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.*