



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ПІВНІЧНО-СХІДНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
ТРАНСПОРТНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ**

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
УКРАЇНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Випуск 163

Харків 2016

УДК 656.2(062)

У збірнику наукових праць УкрДУЗТ відображені матеріали та наукові розробки вчених і спеціалістів залізничного транспорту, наукових установ і промисловості з вирішення сучасних задач та проблем організації перевезень та управління на транспорті, рухомого складу і тяги поїздів, транспортного будівництва та залізничної колії, автоматики, телемеханіки та зв'язку.

Збірник наукових праць УкрДУЗТ призначений для інженерно-технічних працівників, магістрантів, студентів і науковців залізничного транспорту та промисловості.

З електронною версією збірника можна ознайомитися на сайті: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe.

Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus (Польща).

З реєстрацією збірника можна ознайомитися на сайті <http://jml2012.indexcopernicus.com>.

Google Scholar профіль: <https://scholar.google.com.ua>

Веб-сторінка збірника: <http://znp.kart.edu.ua>

ISSN 1994-7852

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Друкується за рішенням вченої ради університету, протокол № 6 від 05 вересня 2016 р.

Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту включено до списку друкованих (електронних) періодичних видань, що включаються до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Наказ МОН України від 21.12.2015 р. №1328 (додаток 8)).

Редакційна колегія

Головний редактор – Михалків Сергій Васильович, кандидат технічних наук, доцент, УкрДУЗТ

Бабаєв М.М., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Бойнік А.Б., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Буцько Т.В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Ватуля Г.Л., д.т.н., доцент, УкрДУЗТ
Вовк Р.В., д.фіз.-мат.н., професор, УкрДУЗТ
Воронін С.В., д.т.н., доцент, УкрДУЗТ
Ворожбян М.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Даренський О.М., д.т.н., професор,
УкрДУЗТ
Каграманян А.О., к.т.н., доцент, УкрДУЗТ
Лаврухін О.В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Ломотько Д.В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ

Мартинов І.Е., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Мойсеєнко В.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Мороз В.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Огар О.М., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Панченко С.В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Приходько С.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Плугін А.А., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Тартаковський Е.Д., д.т.н., професор,
УкрДУЗТ
Тимофєєва Л.А., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Фалендиш А.П., д.т.н., професор, УкрДУЗТ

ЗМІСТ

<i>Лаврухін О.В., Шанатіна О.О., Газаєв С.В., Аржановська Я.С., Кульова Д.О.</i> Аналіз перспектив впровадження високошвидкісного руху в Україні	4
<i>Трикоз Л.В., Потапов Д.О., Багіяню І.В.</i> Фізико-хімічне обґрунтування причин утворення мікротріщин у рейковій сталі	11
<i>Ананьева О.М., Давиденко М.Г., Бабаєв М.М.</i> Види и параметри помех, действующих в канале связи системы автоматической локомотивной сигнализации	20
<i>Долгополов П.В., Трегубчак Д.В.</i> Удосконалення організації поїздопотоків на залізничному полігоні в умовах швидкісного руху	25
<i>Бутько Т.В., Петрова І.М.</i> Удосконалення управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами в умовах станції Основа	31
<i>Малахова О.А., Харченко Н.В.</i> Визначення маршрутів переміщення вагонопотоків на основі підвищення ефективності оперативного управління	38
<i>Сіконенко Г.М., Остапенко С.С., Рутьова М.А.</i> Аналіз основних причин транспортних подій на залізничному транспорті	44
<i>Альошинський Є.С., Стасюк І.Г.</i> Напрямки підвищення продуктивності дільниць високошвидкісних магістралей України	50
<i>Бутько Т.В., Вергелес В.О.</i> Удосконалення процесу забезпечення порожніми вагонами припортового залізничного вузла	57
<i>Бутько Т.В., Титаренко П.І., Кисіль М.М.</i> Удосконалення роботи вокзального комплексу в умовах швидкісного руху	65
<i>Мкртчян Д.І., Мороз В.С.</i> Підвищення рівня сервісного обслуговування пасажирів високошвидкісних поїздів на залізничних вокзалах України	71
<i>Константинов Д.В., Кафанова А.Ю., Зайцева В.Ю., Миронюк О.С.</i> Аналіз функціонування приміських перевезень в умовах створення ПАТ	74
<i>Фалендиш А.П., Коломієць О.Б., Вихопень І.Р., Тихонравов С.М.</i> Модель оцінки технічного стану тягових двигунів моторвагонного рухомого складу	86
<i>Петрушов В.В., Осипов М.В.</i> Удосконалення управління вантажопотоками в інтермодальному сполученні за допомогою ГЕРТ-мереж	94
<i>Дудчак А.І.</i> Доцільність та ефективність швидкісних залізничних пасажирських перевезень	100
<i>Кулешов В.В., Робота Є.П.</i> Підвищення ефективності роботи станції при перевезеннях парком вагонів різних власників в умовах розвитку інформатизації	109
<i>Прохорченко А.В., Бугай Ю.С., Семененко Р.І., Воловодик В.М.</i> Передумови необхідності класифікації залізничної інфраструктури України для експлуатаційної діяльності	118

УДК 656.027(477)

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ВПРОВАДЖЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОГО РУХУ В УКРАЇНІ

Д-р техн. наук. О. В. Лаврухін, асистент О. О. Шапатіна,
магістри С. В. Газаєв, Я. С. Аржановська, Д. О. Кульова

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ВНЕДРЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ В УКРАИНЕ

Д-р техн. наук. А. В. Лаврухин, ассистент О. А. Шапатина,
магистры С. В. Газаев, Я. С. Аржановская, Д. А. Кулёва

ANALYSIS OF PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF HIGH-SPEED TRAFFIC IN UKRAINE

Doctor of technical sciences O. Lavrukhin, assistant O. Shapatina,
masters S. Gazaev, Y. Arzhanovska, D. Kuleva

У статті проведено аналіз щодо організації високошвидкісного руху за кордоном, визначено перспективи щодо впровадження та будівництва високошвидкісних магістралей в Україні.

Ключові слова: пасажирські перевезення, високошвидкісний рух, електропоїзд Hyundai.

В статті проведено аналіз організації високошвидкісного руху за кордоном, визначено перспективи щодо впровадження та будівництва високошвидкісних магістралей в Україні.

Ключевые слова: пассажирские перевозки, высокоскоростное движение, электропоезд Hyundai.

Today, speed and high-speed traffic is a perspective direction of development of transport. In order to implement high-speed passenger train in Ukraine was carried out a whole range of necessary measures, including the development of the necessary documentation, the adoption of state programs, the training of the railway infrastructure, procurement and testing of new equipment and training.

Despite the emergence of high-speed trains, passenger path did not appear in Ukraine, completely missing a specially equipped path, allowing speeds of up to 200 km/h. The limiting factor in the development of high-speed traffic in Ukraine is the high cost of building high-speed lines. But the experience of Western Europe and Asia has shown that the creation of a network of high-speed highways causes significant economic and social impact, which justifies the high cost of their construction.

Thus, the introduction of high-speed traffic in Ukraine is one of the components in the integration of Railway Transport of Ukraine into the global transport system, which will increase the flow of passengers in international communication.

Keywords: passenger transport, high-speed traffic, trains Hyundai.

Вступ. Завдяки своєму географічному розташуванню Україна протягом тисячо-

ліття служить містком між Європою та Азією, між Північчю і Півднем. Крім того,

вона покрита щільною мережею транспортних шляхів і має високорозвинений рухомий склад усіх видів транспорту. За даними англійського інституту «Рендел» [1], за коефіцієнтом транзитності (тобто за розвиненістю всіх видів транспортних зв'язків і відповідної їм інфраструктури) Україна посідає перше місце в Європі (коефіцієнт транзитності України становить 3,75; Польщі – 2,92).

На сьогодні українська мережа залізниць є однією з найрозвинутіших серед європейських країн. Україна займає лідируючу позицію серед країн Європи за обсягами пасажиро- та вантажоперевезень у межах держави і відіграє значну транзитну роль.

Пасажирські перевезення залізничним транспортом у загальній структурі прибутків від перевезень займають близько 10 %. Так, за підсумками січня - липня 2010 року українськими залізницями було перевезено 252,2 млн осіб, а пасажирообіг склав 30,9 млрд пас.км [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблему високошвидкісного руху в Україні в різні часи досліджували такі українські вчені: Бараш Ю. С., Корженевич І. П. [3], Кірта Г. М., Босов А. А. [4], Дикань В. Л. [5], Курган М. [6] та ін.

Дослідження щодо реалізації високошвидкісного руху в Україні належать початку 70-х рр. ХХ ст., коли вчені Дніпропетровського відділення інституту механіки Академії наук України і Дніпропетровського інституту інженерів залізничного транспорту провели на діючій ділянці Балівка-Березанівка Придніпровської залізниці дослідні поїздки вагона-лабораторії з реактивною тягою зі швидкістю до 250 км / год.

У 1969-1974 рр. були розроблені пропозиції щодо будівництва високошвидкісних магістралей за напрямком Центр – Південь: Москва – Крим, Кавказ для конкуренції з авіаційним транспортом при середній швидкості руху – 300 км/год.

У 1988 році була прийнята Державна науково-технічна програма «Високошвидкісний екологічно чистий транспорт», що передбачає створення високошвидкісних магістралей «Центр – Південь».

У 2002 році було визначено можливі маршрути високошвидкісних залізничних ліній та обсяги пасажирських перевезень в Україні [7].

У 2003 році розроблено концепцію впровадження швидкісного та високошвидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України в 2005-2015 роках, але за відсутності коштів на будівництво її не було впроваджено [3].

У 2012 р. до ЄВРО-2012 було введено швидкісний рух на окремих напрямках між містами - учасниками футбольних змагань відповідно до документів [8, 9].

Таким чином, впровадження високошвидкісного руху в Україні є одною зі складових до інтеграції залізничного транспорту України у світову транспортну систему, що дасть змогу збільшити потоки пасажирів у міждержавному сполученні.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даної роботи є визначення технологічно-економічної доцільності впровадження високошвидкісного руху на магістралях України.

Досягнення визначеної мети має ґрунтуватися на вирішенні двохетапного науково-практичного завдання. На першому етапі необхідно провести широкомасштабний аналіз закордонного досвіду експлуатації високошвидкісного залізничного транспорту. На другому етапі необхідним є виконання технологічно-економічного обґрунтування щодо доцільності впровадження високошвидкісного руху на залізничних магістралях України.

Наукова новизна полягає у вирішенні науково-технічної задачі обґрунтування технологічно-економічної доцільності щодо впровадження високошвидкісного руху на території України, що дасть можливість залізницям України інтегруватися у швидкісну мережу Європи.

Основна частина дослідження. З переходом України до ринкових відносин змінився попит на транспортні послуги, актуальним стало питання щодо використання існуючої мережі залізниць для швидкісних перевезень.

На сьогоднішній день швидкісний і високошвидкісний рух – це перспективний напрямок розвитку транспорту. Загальна довжина високошвидкісних магістралей у світі сьогодні становить близько 17 тис. км. Найбільшу протяжність мають високошвидкісні магістралі Китаю (понад 6 тис. км), Японії (2664 км), Іспанії (2656 км), Франції (2036 км), Німеччини (1334 км), Італії (923 км) (дані на момент 2012 року) [10].

Японська та іспанська концепції передбачають спорудження високошвидкісної магістралі, колійна система якої незалежна від решти залізничної мережі країни. Французька концепція передбачає будівництво високошвидкісних магістралей, що входять до загального складу мережі, однак призначених тільки для високошвидкісного рухомого складу [11]. Німецька та італійська концепції передбачають комплексну реконструкцію залізничних напрямків, при цьому здійснюється будівництво високошвидкісних ділянок і модернізація існуючих ліній із випрямленням головних шляхів за умови організації швидкісного та високошвидкісного руху при ширині колії 1435 мм.

Українська залізниця поки далека від європейських, японських та китайських швидкостей (понад 200 км/год) [12, 13]. Адже вони можливі тільки на виділених пасажирських шляхах, які не мають перетинів, обов'язково огорожені і технологія їх сумісності зовсім інша (включаючи технології управління та роботи систем безпеки), а рухомий склад високошвидкісних поїздів – спеціальний, а не адаптований.

Високошвидкісне сполучення потребує повної сумісності характеристик рухомого складу та інфраструктури

залізничного транспорту, у свою чергу, від сумісності рухомого складу та інфраструктури залежать безпека, ефективність та якість експлуатації, а також експлуатаційні витрати, тому в законодавстві Європейського Союзу цьому параметру приділяється значна увага.

Залізнична мережа України органічно вписується в європейську через Угорщину, Польщу, Молдову, Румунію та Словаччину. Однак вигідне з точки зору транспортних перевезень геополітичне розташування України не використовується у повній мірі. Вихід із цієї ситуації викладено в Концепції [8]. Крім реконструкції існуючих, передбачається будівництво нових ліній за техніко-технологічними параметрами, що забезпечують рух високошвидкісних поїздів зі швидкістю 300-350 км/год, що відповідає сучасним міжнародним стандартам.

Кабінет Міністрів України схвалив наприкінці 2004 року Державну цільову програму впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки. У 2010 році Міністерство інфраструктури та Укрзалізниця обрали базову модель – електропоїзд Hyundai (див. рисунок), що спроектований та побудований відповідно до українських умов, усі механізми поїзда адаптовані до технологічних, кліматичних та ландшафтних умов, інфраструктури і відповідають технічним вимогам Укрзалізниці. Технічні характеристики поїзда Hyundai наведено у таблиці.

Поїзди Hyundai були обрані для того, щоб з'єднати швидкісним сполученням міста, які приймали матчі Євро-2012: Київ, Львів, Харків та Донецьк. Перший Hyundai був переданий Україні в корейському місті Чангвон 20 грудня 2011 року.

Розклад руху перших експресів за напрямками Київ – Харків та Київ – Львів було оголошено 18 травня. 20 травня надійшли у продаж квитки на поїзди, за дві доби було продано близько 2000 квитків. Таким чином, українські пасажирів підтвер-

дили своє бажання користуватися сучасними комфортними швидкісними експресами.

На рисунку наведено розташування місць у вагонах поїзда Hyundai.

Таблиця

Технічні характеристики поїзда Hyundai

Країна-виробник	Південна Корея
Кількість вагонів у складі поїзда	9
Довжина головного вагона, м	22,38
Довжина проміжного вагона, м	22,20
Довжина рухомого складу, м	200,16
Загальна маса поїзда, т	461
Висота вагона, м	4,27
Ширина вагона, м	3,50
Максимальна швидкість, км/год	160
Кількість місць для сидіння	579
1-го класу	168 (вагон № 2, 5, 8)
2-го класу	411 (вагон № 1, 3, 4, 6, 7, 9)
Кількість місць для осіб з обмеженими фізичними можливостями	2

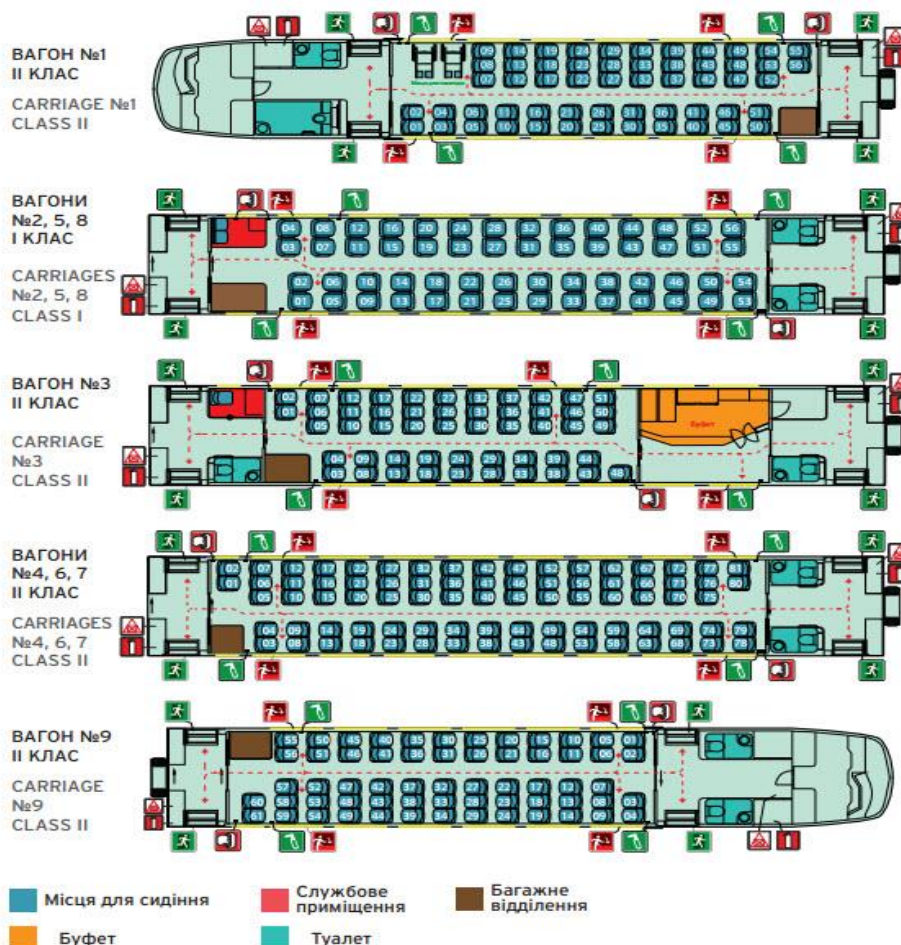


Рис. Розташування місць у поїзді Hyundai

На сьогодні одним із основних напрямів з великим пасажиропотоком є Київ – Харків. У цьому напрямі курсує велика кількість пасажирських поїздів. При обранні пасажирського поїзда основну увагу надають таким показникам, як швидкість доставки, вартість проїзду, комфорт та ін.

Технологічно-економічне обґрунтування буде здійснюватися на основі порівняння конкуруючих варіантів перевезення пасажирів у напрямі Київ – Харків поїздами 721/722 «Інтерсіті+»(Hyundai) та 63/64 «Оберіг».

Основним комплексним показником ефективності використання пасажирського рухомого складу є обіг пасажирського поїзда:

$$O(t_m^{\cdot}, t_m^{\ddot{)}, t_{\text{форм}}, t_{\text{об}}) = \sum t_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

при

$$\begin{cases} t_{\text{форм}} \geq t_{\text{норм}} \\ t_{\text{об}} \geq t_{\text{норм}} \\ v_{\text{вст}} \leq v_m^{\cdot}, v_m^{\ddot{)} \leq v_{\text{макс}} \end{cases}$$

де t_m^{\cdot} та $t_m^{\ddot{)}$ - час прямування пасажирського поїзда у прямому та зворотному напрямі, год.;

$t_{\text{форм}}$ та $t_{\text{об}}$ - час перебування складів у пунктах формування та обігу за нормативами, год;

$t_{\text{норм}}$ - нормативний час перебування під обробкою, год;

$v_{\text{вст}}$ - встановлена мінімальна швидкість руху по дільниці, км/год;

$v_{\text{макс}}$ - максимально припустима швидкість руху, км/год;

$$O_{ic} = 4\text{год}40\text{хв} + 4\text{год}35\text{хв} + 7\text{год}29\text{хв} = 16\text{год}44\text{хв},$$

- для поїзда «Оберіг»

$$O_{об} = 8\text{год}16\text{хв} + 8\text{год}5\text{хв} + 15\text{год}59\text{хв} = 32\text{год}20\text{хв}.$$

v_m^{\cdot} та $v_m^{\ddot{)}$ - швидкість прямування пасажирського поїзда у прямому та зворотному напрямі, км/год.

При визначенні чисельних значень обігу поїздів доцільно використовувати тільки час простою в пунктах обігу, оскільки саме цей час у значній мірі характеризує тривалість міжопераційних простоїв та підганяється в значній мірі під вимоги пасажирів.

Економічну доцільність поїзда визначають за формулою

$$C_i = \sum_{i=1}^k n_i \cdot N_i \cdot c_i, \quad (2)$$

де n_i - кількість місць у вагонах відповідного класу та типу;

N_i - кількість вагонів відповідного класу і типу;

c_i - вартість проїзду у вагонах відповідного класу та типу.

При цьому розрахована вартість проїзду, що припадає на одного пасажира, знаходиться з виразу

$$R_i = \frac{C_i}{N_i}. \quad (3)$$

Визначимо для статичних умов обіг швидкісного та пасажирських поїздів у напрямі Київ – Харків поїздами 721/722 «Інтерсіті+» та 63/64 «Оберіг».

Обіг складу відповідно до даних ПАТ «Українська залізниця» розраховується:
- для поїзда «Інтерсіті+»

Відповідно до таблиці та даних ПАТ «Українська залізниця» економічна ефективність поїзда «Інтерсіті+» розраховується:

$$C_{ic} = 56 \cdot 3 \cdot 375,08 + (56 + 51 + 81 \cdot 3 + 61) \cdot 245,02 = 16371666 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність поїзда «Оберіг» визначається:

$$C_{об} = 40 \cdot 15 \cdot 282,49 + 20 \cdot 3 \cdot 526,41 = 2010786 \text{ грн.}$$

Розрахована вартість проїзду, що припадає на одного пасажера, у поїзді «Інтерсіті+» становить:

$$R_{ic} = \frac{16371666}{579} = 282,76 \text{ грн/пас.}$$

Розрахована вартість проїзду, що припадає на одного пасажера, у поїзді «Оберіг»

$$R_{об} = \frac{20107860}{660} = 404,66 \text{ грн/пас.}$$

Таким чином, порівнюючи перевезення пасажирів у напрямі Київ – Харків поїздами 721/722 «Інтерсіті+» та 63/64 «Оберіг», можна зробити висновок, що хоча рентабельність поїзда «Оберіг» більше на 19 %, однак на один склад поїзда «Оберіг» припадає 2 поїзди «Інтерсіті+». У перерахунку на одного пасажера вартість проїзду у складі «Інтерсіті+» на 30 % менша, ніж у поїзді «Оберіг». При цьому вартість білетів поїздів «Інтерсіті+» першого класу диференціюється залежно від часу придбання квитка, тобто вартість квитка, що придбано за 45 днів до відправлення поїзда, буде на 15 % дешевше.

Обіг складу «Інтерсіті+» у 2 рази менший, тобто вища швидкість доставки. Поїзди Hyundai мають підвищену комфортність, а також враховані місця для осіб з обмеженими фізичними можливостями.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, досвід держав Західної Європи та Азії показав, що створення мережі високошвидкісних магістралей викликає вагомий економічний ефект, який виправдовує великі витрати на їх будівництво. Введення високошвидкісного руху в Україні дасть змогу зробити єдину мережу швидкісного руху, матиме попит серед користувачів послуг залізничного транспорту і, у свою чергу, сприятиме підвищенню кількості транзитних пасажирів у напрямку Європа-Азія.

Зроблені розрахунки підтверджують ефективність використання швидкісних поїздів Hyundai на напрямі Київ – Харків, що мають більшу швидкість доставки, забезпечують комфортне перевезення та дозволяють залізницям України збільшити прибутки.

Список використаних джерел

1. Джангужин, Р. Україне пора бы воспользоваться своим коэффициентом транзитности [Текст] / Р. Джангужин // Зеркало недели. – 1998. – № 9. – С. 8.

2. Статистичний щорічник України за 2011 рік [Текст] / Державний комітет статистики України; за ред. О. Г. Осауленка. – К.: ТОВ "Август-трейд", 2012. – 559 с.
3. Розробка концепції впровадження швидкісного та високошвидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України в 2005–2015 роках [Текст] // Дніпропетр. нац. ун-т залізнич. трансп. ім. ак. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2004. – 127 с.
4. Босов, А. А. Формирование вариантов рациональной сети линий высокоскоростного движения поездов в Украине [Текст]: монография / А. А. Босов, Г. Н. Кирпа. – Днепропетровск: ДНУЖТ им. ак. В. Лазаряна, 2004. – 144 с.
5. Дикань, В. Л. Обеспечение конкурентоспособности предприятия [Текст]: монография / В. Л. Дикань. – Харьков: Основа, 1995. – 160 с.
6. Курган, М. Пілотні проекти високошвидкісних магістралей в Україні [Текст] / М. Курган // Українські залізниці. – 2015. – № 11–12 (29–30).
7. Предварительное технико-экономическое обоснование проекта высокоскоростных железных дорог в Украине [Текст] / «SYSTRA». – К., 2002.
8. Концепція впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України в 2004-2015 роках [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2004. – 43 с.
9. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року, затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 року № 2174 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80>. – Загол. з екрана.
10. High Speed lines in the World. UIC High Speed Department Updated 1st July 2012.
11. Palacin, R. & Ralf, L. & Deniz, Ö. & Yan, N. High speed rail trends, technologies and operational patterns: a comparison of established and emerging networks. *Transport Problems: International Scientific Journal*. 2014. No. 9 (Special Edition). P. 123-129.
12. Jianping Z. Planning and Development of High-Speed Rail Network in China // Презентація доклада на VIII всемирном конгрессе по высокоскоростному железнодорожному транспорту. – Филадельфия, 2012.
13. Chinese high speed: in the wake of Wenzhou // *International Railway Journal*. 2012. – № 7. – P. 22.

Лаврухін Олександр Валерійович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: 730-10-85. E-mail: tilavalval@gmail.com.

Шапатіна Ольга Олександрівна, асистент кафедри управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: 730-10-85. E-mail: shapatina@ukr.net.

Газаєв Сослан Васильович, магістр групи МТ-TEMPUS-Б-15, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: 730-10-85.

Аржановська Яна Сергіївна, магістр групи МТ-TEMPUS-Б-15, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: 730-10-85.

Кульова Дар'я Олександрівна, магістр Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 730-10-85.

Lavrukhin Oleksander, Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the department chair of manage freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport. Ph.: 730-10-85. E-mail: tilavalval@gmail.com.

Shapatina Olga, assistant of chair of Manage freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport. Ph.: 730-10-85. E-mail: shapatina@ukr.net.

Gazaev Soslan, master of a group MT-TEMPUS-B-15, Ukrainian State University of Railway Transport. Ph.: 730-10-85.

Arzhanovska Yana, master of a group MT-TEMPUS-B-15, Ukrainian State University of Railway Transport. Ph.: 730-10-85.

Kuleva Daria, master of a Ukrainian State University of Railway Transport. Ph.: 730-10-85.

Стаття прийнята 29.06.2016 р.

УДК 544.72:625.143.3

ФІЗИКО-ХІМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЧИН УТВОРЕННЯ МІКРОТРИЩИН У РЕЙКОВІЙ СТАЛІ

Д-р техн. наук Л. В. Трикоз, канд. техн. наук Д. О. Потапов, інж. І. В. Багіянц

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ МИКРОТРЕЩИН В РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

Д-р техн. наук Л. В. Трикоз, канд. техн. наук Д. А. Потапов, инж. И. В. Багианц

PHYSICAL AND CHEMICAL RATIONALE THE REASONS FOR THE FORMATION OF CRACKS IN THE RAIL STEEL

DSc L.V. Trykoz, PhD D.A. Potapov, eng. I.V. Bagiyanc

У статті розглянуто механізм утворення мікротріщин у структурі рейкової сталі з позицій фізико-хімічної механіки дисперсних систем. Наявність однойменних зарядів на поверхні призводить до появи електровідштовхувальної сили, названої силою електроповерхневого латерального відштовхування. Ця сила знижує величину питомої поверхневої енергії і, відповідно, зменшує роботу утворення нових поверхонь, що створює умови для утворення і розвитку мікротріщин між зернами фериту і цементиту. Наведені у статті розрахунки показали, що найбільшою мірою поверхневий натяг знижують неметалеві включення, по границі яких і починається утворення тріщин.

Ключові слова: електроповерхневий потенціал, електроповерхнєве латеральне відштовхування, мікротріщини, рейкова сталь.

В статье рассмотрен механизм образования микротрещин в структуре рельсовой стали с позиций физико-химической механики дисперсных систем. Наличие одноименных зарядов на поверхности вызывает появление электроотталкивающей силы, названной силой электроповерхностного латерального отталкивания. Эта сила снижает величину удельной поверхностной энергии и, соответственно, уменьшает работу образования новых поверхностей, что создает условия для образования и развития микротрещин между зернами феррита и цементита. Приведенные в статье расчеты показали, что в наибольшей степени поверхностное натяжение снижают неметаллические включения, по границе которых и начинается образование трещин.

Ключевые слова: электроповерхностный потенциал, электроповерхностное латеральное отталкивание, микротрещины, рельсовая сталь.

The article describes the mechanism for formation of cracks in the structure of the rail steel from the standpoint of physical and chemical mechanics of disperse systems. The presence of the like charges on the surface causes the force of electrostatic repulsion. This force is called the electrosurface lateral repulsion force. This force reduces the value of the specific surface energy. Thus it reduces the work of formation of new surfaces. This creates conditions for the formation and development of cracks between the grains of ferrite and cementite. Calculations in the article have showed that nonmetallic inclusions reduce the surface tension to the greatest extent. On the border of nonmetallic inclusions the crack begins. Modified Hriffits' formula allows to explain the

appearance of cracks between grains of ferrite and cementite. This could be the basis for the development of the theory of plastic flow of alloy in general and rail steel in particular.

Keywords: *electrosurface potential, electrosurface lateral repulsion, microcracks, rail steel*

Вступ. Швидкість руху поїздів відображає рівень технічної оснащеності залізниць й якість організації руху. З підвищенням швидкості руху поїздів скорочуються терміни доставки вантажів, прискорюється проїзд пасажирів, поліпшується використання вагонів і локомотивів, збільшується провізна спроможність ліній. Однак у процесі експлуатації на поверхні кочення головки рейок та всередині них утворюються дефекти, які завдають економічні збитки залізничному транспорту, погіршуючи експлуатаційні показники роботи.

Залізничні рейки є одним із найважливіших елементів верхньої будови колії. Від стану рейок найбільшою мірою залежить і безпека руху поїздів, і продуктивність перевізного процесу. Міцність та експлуатаційна надійність рейок визначають швидкості руху й осьові навантаження рухомого складу. На сьогодні істотно змінилися режими навантаження й роботи колії і, зокрема, підвищилося осьове навантаження, збільшилися швидкості руху поїздів і вантажонапруженість ліній, що стало причиною підвищення рівня динамічного впливу коліс рухомого складу на колію. Зміна експлуатаційних умов значно впливає на одиночний вихід з ладу рейок через пошкодження. Аналіз причин одиночної зміни рейок показує, що більшу частину складають дефекти, виникнення яких пояснюється недостатньою контактнотомною міцністю їх матеріалу. Вони виникають і розвиваються всередині головки рейок без будь-яких зовнішніх ознак. У міру поступового розвитку втомної тріщини поперечний переріз рейки все більше послаблюється, і після досягнення нею критичного розміру для даних умов експлуатації настає остаточне

руйнування рейки, що може служити причиною сходу рухомого складу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Внаслідок особливої значимості рейок залізниць і металургійна промисловість приділяють велику увагу розробленню технологій, в яких дефекти і пошкодження є основою для оцінки всіх проблем, пов'язаних зі станом рейок. У роботі [1] зазначалося, що керівні документи з класифікації дефектів і пошкоджень, прийняті в різних країнах, різні, оскільки засновані на технологіях виготовлення, умовах експлуатації й методах обстеження рейок, характерних для кожної країни. Оскільки для умов експлуатації високошвидкісних ліній типові висока швидкість руху поїздів, невисокі осьові навантаження від рухомого складу і відносно невеликий вертикальний та поздовжній знос рейок, основними стають дефекти і пошкодження поверхні рейки контактнотомного походження.

Загальноприйнято, що основною причиною виникнення дефектів є силовий вплив у системі «колесо - рейка» [2, 3]. Втомні тріщини, що описані в роботі [2], є процесом поступового руйнування через створення та розвиток початкової тріщини. Цей процес може призвести до рейкових розривів під впливом навантаження, яке передається на головку рейки через невелику площу поверхні. Область контактної поверхні «колесо - рейка», як правило, перебуває в діапазоні від 1,5 до 3,0 см², або до 5,0 см² у випадку зносу або дефектних коліс та/або рейок. Зростання тріщини залежить від багатьох факторів, і найбільш важливими серед них є: статичне навантаження на колесо, динамічне навантаження колеса, прокатні характеристики транспортного засобу, рейок, рейкова сталь, перепад температур, напруги в рейці, знос головки рейок,

геометрія і жорсткість колії. Для кожного типу дефекту швидкість росту тріщини може значно варіюватися. За даними роботи [3], пошкодження головок рейок спостерігаються в усьому світі через збільшення експлуатаційних навантажень, вантажонапруженості й швидкості руху поїздів. Вони виникають на поверхні і поширюються вниз під невеликим кутом 10-30 ° у головці рейки на глибину кількох міліметрів. Після цього тріщина або поширюється назад на поверхню, в результаті чого частина рейки піднімається, залишаючи неглибоку порожнину, або йде вниз у рейку. У першому випадку, який є найбільш поширеним, порожнина викликає сильні вертикальні ударні навантаження на залізничні транспортні засоби, які можуть призвести до подальшого пошкодження як рейки, так і рухомого складу.

У багатьох джерелах розглядаються й інші фактори, що призводять до появи або розвитку пошкоджень. Так, проведене дослідження в роботі [4] дозволило її авторам встановити, що дефекти рейок мають як сталеплавильне (встановлено в 37 % випадків), так і прокатне походження (встановлено в 56 % випадків). Мікродослідження цілого ряду зразків, вирізаних з різних частин рейки (головки, шийки та підшви), проведені в роботі [4], показали, що дефекти можуть мати вигляд

тонкої або широко розкритої тріщини (типу порожнини), похилої тріщини, іноді тонкої звивистої тріщини. У більшості випадків тріщини повністю або частково заповнені неметалевими включеннями типу складних оксидів і окалини. З метою уточнення природи походження дефектів автори [4] проводили мікрорентгеноспектральні дослідження за допомогою растрового електронного мікроскопа. У результаті дослідження встановлено, що неметалеві включення є складними оксидами, в складі яких спостерігаються Si, Al, Mn, Ca, Na, K, Fe; в окремих випадках S і Ti. Оксиди подібного складу характерні для дефектів сталеплавильного походження. Відомо, що їх наявність може негативно позначатися на механічних властивостях рейок, у тому числі призводити до локального зниження пластичності, що у свою чергу може стати однією з причин, що сприяють утворенню та збільшенню дефектів у процесі прокатки. У табл. 1 наведені результати мікрорентгеноспектрального аналізу, з якого видно, що поблизу дефектів спостерігаються скупчення дрібних включень, які, очевидно, є вторинними – виділилися у твердому металі внаслідок дифузії кисню за місцем дефекту, що відбувається в процесі тривалої витримки заготовки при високій температурі.

Таблиця 1

Хімічний склад рейкової сталі поблизу тріщини

Номер зразка	Вміст елемента, %												
	C	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe
1	13,94	48,98	0,24	5,32	23,17	0,05	2,39	0,55	0,22			2,83	2,32
2	8,36	52,98	0,28	5,69	26,74	0,03	2,64	0,32	0,11			1,8	1,06
3	14,26	51,85	0,14	5,03	23,74	0,01	2,23	0,28	0,12			1,6	0,69
4	4,02	1,44		0,05	0,23		0,06	0,03		0,19	0,08	1,01	93,07

Крім силового впливу, рейка має й тепловий нагрів від колісної пари, постійна температура якої може бути набагато вищою, ніж у рейки. У цьому випадку колесо забезпечує додаткове підвищення

температури на поверхні рейки, що додає термічної напруги і теплового розм'якшення, що може підвищити швидкість зносу рейки. Встановлено [5], що тепловий стрес незначно впливає на

швидкість зносу рейок, але теплове розм'якшення може підвищити швидкість зносу аж до порядку величини для розглянутих умов.

Ще один фактор, що прискорює вихід рейок, – електрокорозія. Про корозійний вплив на залізничні споруди часто забувають, оскільки він не передбачає негайної коригувальної реакції на рух поїздів [6]. Процес корозії є природним процесом, який відбувається повільно і безперервно протягом усього терміну служби всіх матеріалів і який може бути прискорений за рахунок блукаючих струмів від системи електрифікації залізниць. На процес електрохімічної корозії впливають погана рейкова ізоляція, забруднення баласту вантажами, що перевозяться, накопичення гальмівного пилу поблизу пасажирських платформ. Також пошкоджуються блукаючими струмами конструкції мостів, тунелів, труб, інших підземних споруд. Крім того, блукаючі струми можуть також викликати відмову інших життєво важливих систем, таких як системи сигналізації та зв'язку.

Крім корозії від струмів витоку, виникає й внутрішня корозія, обумовлена мікроструктурою сталі. Рейкова сталь – це кристалічне тіло, яке складається з дрібних кристалів фериту, що утворюють зерна, і перліту (суміші цементиту з феритом), розташованого, головним чином, на стиках феритних зерен, який утворює «сітку» або вкраплення між зернами (рис. 1). Наявність різних за вмістом вуглецю фаз і, відповідно, зерен і границь лежить в основі формування мікрогальванічних елементів (пар) і, відповідно, електрохімічної корозії сталі. Основна маса зерен, приблизно 80 % від загальної кількості, має розміри в інтервалі від 9 до 19 мкм, середній розмір – 13,5 мкм. Частинок з розміром менше 5 мкм практично немає. Відповідно, розвиток пластичних деформацій і пошкоджень від корозії може бути описано з точки зору фізико-хімічної механіки дисперсних систем, до яких належить сталь.

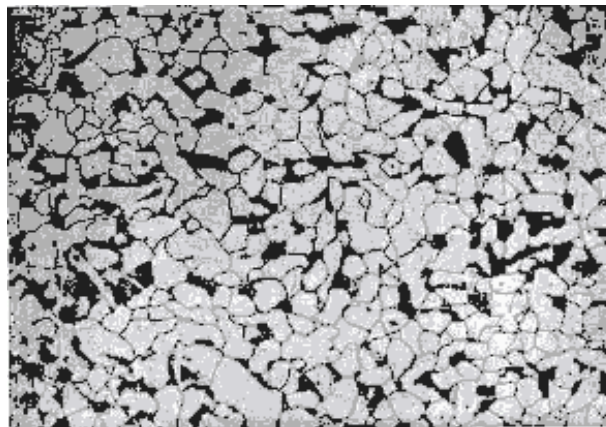


Рис. 1. Мікроструктура сталі

Визначення мети та задачі дослідження. Метою статті є обґрунтування формули для визначення фактичних характеристик міцності і втомних характеристик рейкового металу на основі фізико-хімічних уявлень, яка дає змогу дати кількісне силове трактування процесу утворення і зростання дефектів. Поглиблення цих уявлень і кількісний опис механізмів корозії сталі можливо і на основі врахування субмікроструктури сталі, електроповерхневих властивостей і взаємодій, їх впливу на процеси окислення, відновлення і перенесення кисню і води, а також продуктів корозії.

Основна частина дослідження. Залежно від впливу на безпеку руху всі дефекти та пошкодження рейок розподіляються на гостродефектні і дефектні. Усі дані про вилучення рейок за дефектами та пошкодженнями по Південній залізниці за останні чотири роки було розділено за цими двома критеріями [8]. Загальна кількість рейок, що була оброблена, складає 19015 шт.

На рис. 2 наведена загальна діаграма вилучення гостродефектних рейок по Південній залізниці (тут і далі позначення дефектів виконано згідно з роботою [9]). Загальний масив рейок – 3627 шт. Основними дефектами є: поперечні тріщини в головці у вигляді світлих або темних плям і злами через них внаслідок недостатньої контактної-втомної міцності

металу 21.2 (29,6 %), горизонтальне розшарування головки через наявність скупчень неметалевих включень 30Г.2 (19,4 %), гартівні тріщини в загартованому шарі металу головки 27.2 (13,8 %), поперечні тріщини в головці через порушення технології зварювання рейок 26.3 (5,1 %), тріщини в шийці від болтових та інших отворів у рейках 53.1 (4,85 %), поздовжні тріщини і виколи через них у місцях переходу головки в шийку 52.1 (4,66 %). Специфічний вплив рухомого складу та порушення режиму ведення поїзда, зокрема екстрене гальмування, призводять до зміни структури на поверхні кочення рейок і зміни напруженого стану усієї головки рейки і, як наслідок, може призводити до дефектів 21.2 і 30Г.2 й частково сприяти прискоренню появи дефектів: пробуксовка рейок колесами локомотивів 14 та поперечні тріщини в головці і злами через них внаслідок буксування, юза, проходу коліс із повзунами або вибоїнами 24.

Традиційно на першому місці є дефекти контактно-втомного походження. Проаналізуємо, з точки зору електроповерхневих властивостей, сили взаємодії між зернами фериту та цементиту та ймовірність виникнення втомної тріщини. Skorистаємося для цього уявленнями про електроповерхневі потенціали простих речовин [10]. Ці уявлення засновані на тому, що електродний потенціал залежить від числа електронів на зовнішніх орбіталах атомів простих речовин – металів і неметалів. Значення електродного потенціалу є кількісною характеристикою окислювально-відновних властивостей

вимірюваного електрода по відношенню до окислювально-відновних властивостей водневого електрода. Проста речовина з негативним стандартним електродним потенціалом має надмірну кількість електронів у поверхневому шарі або дипольний шар (за рахунок тунелювання електронів) ще до занурення електрода в розчин, тобто має абсолютний потенціал поверхні. Атоми лужних металів мають у зовнішній орбіті 1 електрон, який притягується до одного протона ядра, а кожен із семи електронів галогенів притягується сімома протонами ядра. У зв'язку з цим лужні метали легше інших речовин віддають електрони і окислюються. Навпаки, галогени легше інших речовин приймають електрони і відновлюються. Потенціал поверхні, утворений за рахунок окислювально-відновної реакції, названо абсолютним електроповерхневим потенціалом [10] для відображення місця його виникнення (на поверхні речовини), відмінності від поверхневого потенціалу (закріпленого в електрохімії терміном) та його електростатичної природи (утворений зарядами). По суті, цей електроповерхневий потенціал є абсолютною величиною, на відміну від вимірюваного стандартного електродного потенціалу. У табл. 2 наведено електроповерхневі потенціали $\Delta\psi_{\text{эл}}^0$ тих елементів, які були ідентифіковані в роботі [7]. Оскільки автори [7] вважають, що включення являють собою оксиди, розрахуємо за методикою [10, 11] також і електроповерхневі потенціали оксидів.

Таблиця 2

Електроповерхневі потенціали хімічних елементів рейкової сталі поблизу тріщини

Елемент	C	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe
$\Delta\psi_{\text{эл}}^0$, В	-1,108	1,44	-3,69	-2,99	-1,23	1,41	-4,25	-4,2	-2,96	-2,52	-2,24	-2,51	-1,77
Сполука	Fe ₃ C	--	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	VO ₂	Cr ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
$\Delta\psi_{\text{эл}}^0$, В	1,66	--	1,125	0,33	-0,55	-1,43	2,35	1,38	-0,17	-0,12	0,03	0,14	-0,156

Як бачимо з даних табл. 2, оксиди мають більш позитивний електродний потенціал у порівнянні із залізом, через що утворюється гальванічна пара, корозія починає протікати за контактним типом, внаслідок якої залізо кородує з великою швидкістю, що перевищує звичайну корозію в кілька разів.

Розглянемо термодинамічний аспект даної проблеми. Для утворення тріщини необхідно затратити роботу на утворення двох нових поверхонь між зернами структурних елементів сталі. Ця робота визначається як поверхневий натяг на границі двох фаз. Роль вільної поверхневої енергії і поверхневого натягу у формуванні різних властивостей матеріалів виключно висока. Так, відповідно до теорії Гріфітса [12] реальна міцність p_0 твердого пружно-крихкого тіла залежить від величини поверхневого натягу за формулою

$$p_0 \approx \left(\frac{\sigma E}{l} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

де E – модуль Юнга, МПа; l – довжина тріщини, м; σ – поверхнева енергія або поверхневий натяг, Дж/м².

За визначенням питома вільна поверхнева енергія дорівнює роботі, яку необхідно витратити для утворення одиниці площі поверхні. При цьому робота витрачається на розрив зв'язків і виведення певного числа молекул на поверхню. Ця теорія пояснює сутність різних ефектів Ребіндера (зниження міцності) як зниження питомої вільної поверхневої енергії твердих тіл у результаті фізико-хімічного впливу середовища і внаслідок цього зменшення роботи утворення нових поверхонь. У тілах, здатних до пластичної плинності (метали, сплави), розвиток тріщини супроводжується значним пластичним деформуванням. У цьому випадку зв'язок міцності тіла з поверхневою енергією може бути описано

формулою, схожою з рівнянням Гріфітса (1), в якому величина σ містить, крім істинної поверхневої енергії, роботу пластичних деформацій на одиницю поверхні тріщини. Визначимо фізичний зміст цієї роботи.

Наявність однойменних зарядів на поверхні призводить до їх електростатичного відштовхування уздовж цієї поверхні. Ці сили спрямовані проти сил поверхневого натягу в тангенціальному напрямку і знижують його. У літературі щодо поверхневих явищ подібні сили називаються латеральними (бічними) [10]. З огляду на зв'язок поверхневого натягу σ_0 з міцністю твердих тіл за теорією Гріфітса, можна дійти висновку, що поверхневий натяг твердих речовин змінюється подібно до рідких при зміні потенціалу. Це свідчить про значущість латеральних сил відштовхування σ_{LAT} і порівнянності величин цих сил з величинами поверхневого натягу, а отже, силами зв'язку між частинками в кристалічній ґратці, які зумовлюють σ_0 . Таким чином, реальна міцність має бути пов'язана з величинами σ_0 і σ_{LAT} співвідношенням

$$p_0 \approx \left(\frac{\sigma_0 - \sigma_{LAT}}{l} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

де σ_{LAT} – електроповерхневе латеральне відштовхування (сила, яка припадає на одиницю довжини поверхні), Н/м; l – довжина можливої тріщини (розмір зерна в мікроструктурі сталі), м.

Формула (2) дасть змогу більш ефективно управляти міцнісними характеристиками та іншими властивостями різних матеріалів, а також гетерогенними процесами шляхом впливу на електроповерхневі властивості систем. Існування латеральних сил та їх важлива роль у поверхневих явищах підтверджується численними експериментальними і теоретичними дослідженнями. Відповідно до рівняння

Ліпмана [12], поверхневий натяг σ електрода зменшується при збільшенні або зменшенні потенціалу від потенціалу нульового заряду за формулою

$$d\sigma = -qd\varphi, \quad (3)$$

де q – поверхневий заряд, Кл; φ – різниця потенціалів, В.

Взаємодії, пов'язані з електрокапілярним ефектом, названо електроповерхневим латеральним відштовхуванням [10]. Ці сили пов'язані з існуванням поверхневого χ -потенціалу та електроповерхневого потенціалу ψ_{EP}^0 , тобто зумовлені дією пов'язаних і вільних зарядів поверхні. За своєю природою вони можуть бути тільки відштовхувальними. Електроповерхнє латеральне відштовхування σ_{LAT}^{EP} на поверхні можна уподібнити електрокапілярному ефекту, що виникає при зміщенні електричного потенціалу ртуті від

потенціалу нульового заряду $\Delta\varphi$, що викликає зменшення поверхневого натягу $d\sigma$ у рівнянні Ліпмана (3). Формула для електроповерхневого латерального відштовхування, виведена в роботі [10], має вигляд

$$\sigma_{LAT}^{EP} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0(\psi_{EP}^0)^2}{2\delta_0^2} \cdot \frac{S}{L}, \quad (4)$$

де ε – діелектрична проникність; ε_0 – електрична стала; δ_0 – відстань між поверхневими зарядами, м; S – площа поверхні частинки, м²; L – довжина частинки, м.

У такому вигляді величину електроповерхневого латерального відштовхування σ_{LAT}^{EP} легко визначити за величиною електроповерхневого потенціалу речовин φ_{EP}^0 і розмірами частинки. Зробимо відповідні розрахунки для сполук з табл. 3.

Таблиця 3

Величини електроповерхневого латерального відштовхування хімічних елементів рейкової сталі поблизу тріщини

Сполука	Fe ₃ C	--	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	VO ₂	Cr ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
$\Delta\psi_{EP}^0$, В	1,66	--	1,125	0,33	-0,55	-1,43	2,35	1,38	-0,17	-0,12	0,03	0,14	-0,156
σ_{LAT}^{EP} , мДж/м ²	2033	--	597	64	267	2283	1198	593	17	11	0,7	15	19

З джерела [13] відомо, що величина поверхневого натягу твердих тіл змінюється в широких межах від 100 до 3000 мДж/м². Розрахунок за формулою (4) дають дані такого ж порядку, що свідчить про правильність теоретичних уявлень про розвиток тріщин у мікроструктурі сталі. Відповідно, найбільше зниження міцності за формулою (2) відбуватиметься на границях неметалевих включень і цементиту, що пояснює створення умов для

утворення та розвитку тріщини під час динамічного навантаження на рейку.

Висновки з досліджень і перспективи подальшого розвитку в даному напрямку. Уточнена формула Гріфітса дозволяє дати пояснення появи мікротріщин між зернами фериту і цементиту, що може бути покладено в основу розвитку теорії пластичної плинності сплавів взагалі і рейкової сталі зокрема.

Список використаних джерел

1. Рельсовая сталь для высокоскоростных линий [Текст] // Железные дороги мира. – 2006. – № 11. – С. 71-77.
2. Popovic, Z. The Importance of Rail Inspections in the Urban Area -Aspect of Head Checking Rail Defects [Internet] / Z. Popovic, L. Lazarevic, L. Brajovic, M. Vilotijevic // International Scientific Conference Urban Civil Engineering and Municipal Facilities. – Procedia Engineering, 2015. – Vol. 117. – P. 596-608. Available from: doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.220
3. Peng, D. NDI of Rail Squats and Estimating Defect Size and Location Using Lock-In Thermography. ENG [Internet] / D. Peng, R. Jones // Scientific Research Publishing. – 2013. – Vol. 05. – № 1. – P. 29-38. Available from: <http://dx.doi.org/10.4236/eng.2013.51005>
4. Троцан, А. И. Исследование причин образования поверхностных дефектов рельсов [Текст] / А.И. Троцан, В.В. Каверинский, А.О. Носоченко, И.М. Кошулэ // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. – Маріуполь, 2012. – Вип. 25. – С. 106-114.
5. Asih, A.M.S. Modelling the Effect of Steady State Wheel Temperature on Rail Wear [Internet]/ A.M.S. Asih, K. Ding, A. Kapoor // Tribology Letters. – 2013. – Vol. 49. – Is. 1. – P. 239-249. Available from: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11249-012-0061-2>.
6. Recommended Maintenance Practices for Stray Current Corrosion on DC Electrified Systems / K. Zan, V. Mawley, M. Ramos, S. Singh // 2014 Joint Rail Conference [Internet]. ASME International; 2014, Apr 2. Available from: <http://dx.doi.org/10.1115/jrc2014-3712>.
7. Структура стали [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://svarchik.ru/struktura.htm>.
8. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка технологічних вказівок на використання старопридатних рейок довжиною 12,5 та 25 метрів в коліях КП «Харківський метрополітен»» [Текст] // В.Г. Вітольберг, О.М. Даренський, Д.О. Потапов [та ін.]. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – 62 с.
9. Класифікація та каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів на залізницях України. Класифікація та каталог дефектів і пошкоджень рейок на залізницях України / ЦП-0284/0285 [Текст] : наказ № 050-Ц/од від 02.02.2013. – К.: Укрзалізниця, 2013. – 194 с.
10. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портланд-цемента, бетона и конструкций из них [Текст]: монография; в 3-х т. Т.1. Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В.Трикоз [и др.]; под ред. А.Н. Плугина. – К.: Наук. думка, 2011. – 331 с.
11. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портланд-цемента, бетона и конструкций из них [Текст]: монография; в 3-х т. Т.3. Теория прочности, разрушения и долговечности бетона, железобетона и конструкций из них / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, О.А. Калинин, [и др.]; под ред. А.Н.Плугина. – К.: Наук. думка, 2012. – 287 с.
12. Щукин, В. Д. Коллоидная химия [Текст] / В.Д. Щукин, А.В. Перцов, Б.А. Амелина. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 352 с.
13. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии [Текст] / С.С. Воюцкий. – М.: Химия, 1976. – 511 с.

Трикоз Людмила Вікторівна, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net.
Потапов Дмитро Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-59. E-mail: prx_xiit@kart.edu.ua.

Багіянц Ірина Вікторівна, інженер Українського державного університету залізничного транспорту.
Тел. +38 (057) 730-19-49. E-mail: bagira54017@ukr.net.

Trykoz Liudmyla, doct. of techn. sciences, professor Department Building Materials, Constructions and Structures
Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net.

Potapov Dmytro, PhD, Department Track and Track Facilities, Ukrainian State University of Railway Transport.
Tel. +38 (057) 730-10-59. E-mail: ppx_xiit@kart.edu.ua.

Bagiyanc Irina, engineer of Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057)730-19-49.
E-mail: bagira54017@ukr.net.

Стаття прийнята 30.06.2016 р.

УДК 621.391:681.518

ВИДЫ И ПАРАМЕТРЫ ПОМЕХ, ДЕЙСТВУЮЩИХ В КАНАЛЕ СВЯЗИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Кандидаты техн. наук О. М. Ананьева, М. Г. Давиденко,
д-р техн. наук М. М. Бабаев

ВИДИ Й ПАРАМЕТРИ ЗАВАД, ЩО ДІЮТЬ У КАНАЛІ ЗВ'ЯЗКУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

Кандидати техн. наук О. М. Ананьєва, М. Г. Давиденко,
д-р техн. наук М. М. Бабаєв

TYPES AND PARAMETERS OF THE HINDRANCES OPERATING IN THE COMMUNICATING CHANNEL OF SYSTEM OF AUTOMATIC CAB SIGNALLING

Cand. of techn. sciences O. M. Anan'yeva, cand. of techn. sciences M. G. Davidenko,
doct. of techn. sciences M. M. Babaev

Помехи, действующие в канале передачи информационных сигналов автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа, носят как аддитивный, так и мультипликативный характер. При этом пиковые мощности импульсных помех в десятки-сотни раз превосходят мощность сигнала. Для обеспечения максимальной помехоустойчивости целесообразно исследовать возможность построения приемника сигналов, в той или иной мере адаптирующегося к помеховой обстановке.

Ключевые слова: сигнал, канал связи, рельсовая линия, флуктуационная помеха, импульсная помеха, тяговый ток, линия электропередачи.

Завади, що діють у каналі передачі інформаційних сигналів автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу, носять як адитивний, так і мультипликативний характер. При цьому пікові потужності імпульсних завад у десятки-сотні разів перевершують потужність сигналу. Для забезпечення максимальної завадостійкості доцільно досліджувати можливість побудови приймача сигналів, що тією чи іншою мірою адаптується до заводової обстановки.

Ключові слова: сигнал, канал зв'язку, рейкова лінія, флуктуаційна завада, імпульсна завада, тяговий струм, лінія електропередачі.

The hindrances operating in transmission channel of information signals of automatic cab signaling of continuous type carry both additive, and multiplicative character. These are the hindrances caused by instability of electric contacts, aimings from voltage changers of power supply, influence of power distribution circuits of electricity transmission, change in time of geometry of system "rail - receiving coil", local magnetic heterogenities of way, etc. The structure and characteristics of this complex of hindrances at train movements change difficult to predict. Thus peak capacities of pulse hindrances in tens-hundreds times exceed signal power. For providing the maximum noise stability it is reasonable to investigate possibility of creation of the signal receiver of system of automatic cab signaling to some extent adapting for interfering situation by continuous correction of all algorithm of processing or its some parameters on the basis of the analysis of the current characteristics of mix of signal and hindrance.

Keywords: signal, communicating channel, rail line, fluctuation hindrance, pulse hindrance, traction current, power transmission line.

Введение. Наличие или отсутствие помех того или иного вида, действующих в конкретной рельсовой линии как узле канала связи системы автоматической локомотивной сигнализации (АЛСН) зависит от типа электротяги, применяемого на данном участке железной дороги, от качества контактов токосъемников и проводов, а также колес электроподвижного состава и рельсов, наличия поблизости высоковольтных линий электропередачи, от погодных условий (наличие грозových разрядов), от локальных магнитных свойств рельсов и элементов их крепления к шпалам, от технических характеристик местного оборудования автоматики и связи [1-5]; нельзя исключить и другие факторы малопредсказуемого характера. Вибрации и раскачивания локомотива – носителя конкретного комплекта оборудования АЛСН – также вносят вклад в состав комплекса помех на выходе приемных локомотивных катушек ввиду имеющей место в этом случае переменности магнитной связи катушек и рельсов [1].

Постановка задачи и анализ исследований. Целью данной работы является анализ видов и параметров помех, действующих в канале связи системы АЛСН. Чтобы оценить величину вклада каждой из перечисленных помех в напряжение на зажимах приемных локомотивных катушек, рассмотрим

временные и (или) частотные характеристики этих помех. Помехи, возникающие в результате проникновения в тракт АЛСН энергии, создаваемой источниками, не являющимися генератором кодовых посылок данной рельсовой цепи, носят аддитивный характер, т. е. алгебраически складываются с полезным сигналом. Часть из них имеет флуктуационный характер, т. е. являются непрерывными стохастическими колебаниями, длительность которых многократно превышает период следования сигналов АЛСН. Эти помехи вызваны временными нестабильностями контактов токосъемников с проводами и колес с рельсами; они имеют место при любом виде электротяги. Экспериментально установлено, что среднеквадратичная величина напряжения этих помех на участках с тягой на постоянном токе составляет 0,3...0,4 В в диапазоне частот от 0 до 70 Гц [1]. В этой же работе показано, что на участках с тягой на переменном токе в рельсовой цепи имеют место флуктуационные помехи, вызывающие на выходах фильтров ФП-25 и ФП-75 случайные процессы со среднеквадратичной величиной напряжения в десятые доли вольта. В обоих случаях напряжение флуктуационных помех имеет величину того же порядка, что и величина напряжения сигнала АЛСН; сам же

помеховый процесс в общем случае является нестационарным.

Основной материал. Влияние высоковольтных линий электропередачи (ЛЭП) на работу АЛСН ощутимо на расстояниях до 70 м при напряжении ЛЭП 500 кВ, оно обуславливает значительную часть сбоев в работе системы [1, 6, 15, 21]. Величина ЭДС, возникающей из-за влияния ЛЭП в локомотивных катушках, колеблется в пределах 0,33...0,54 В; сам же помеховый процесс, строго говоря, является случайным узкополосным (с центральной частотой 50 Гц) и нестационарным (из-за непрерывных колебаний величины расстояния от ЛЭП до рельсовой линии вдоль трассы).

Помехи, сопровождающие преобразование тягового тока и регулирование напряжения на тяговых электродвигателях, преимущественно являются сосредоточенными по спектру вблизи частоты тягового тока и частот ее гармоник [1, 3, 4, 7, 8], их величины соответствуют току гармоник в рельсовой линии, составляющему единицы процентов от величины тягового тока вплоть до 13-й гармоник [7].

Полупроводниковые регуляторы напряжения, используемые в тяговых электроприводах постоянного тока, служат источниками импульсных помех [1, 9, 15]. Мощные одиночные и групповые импульсные помехи возникают при коммутации схем соединения тяговых электродвигателей постоянного тока из последовательной в параллельную (или последовательно-параллельную), широко используемую как при локомотивной, так и при моторвагонной тяге [1, 9-11]. По данным источника [1] амплитуда ЭДС помехи в локомотивных катушках достигает 12 В при длительности импульса около 0,03 с (эффективная ширина спектра 300...500 Гц), при этом в течение существования группы импульсов средний интервал между импульсами составляет величину около 1 с. При прохождении

локомотивных катушек над изостыками могут возникать одиночные дипольные импульсные помехи амплитудой в единицы вольт и длительностью около 0,06 с при скорости локомотива 80 км/ч [1] с пропорциональным уменьшением (увеличением) длительности по мере роста (уменьшения) скорости. Грозы служат источниками мощных импульсных помех с длительностью одиночного импульса порядка 10^{-3} с и широким диапазоном амплитуд [12]. Отметим также как источник аддитивных помех так называемый шпальный эффект, обусловленный пространственно-периодической неоднородностью магнитного поля тягового тока, вызванной периодическим расположением добавочных ферромагнитных масс в виде стальных подкладок [1].

Рассмотрев источники и параметры аддитивных помех, перейдем к аналогичному анализу мультипликативных помех. Мультипликативными называют помехи, влияние которых на сигнал описывается оператором перемножения [12]. Физической причиной возникновения таких помех в системе АЛСН является изменение во времени величины магнитной связи приемных локомотивных катушек и рельсов. Такое изменение вызвано двумя факторами, действующими порознь или совместно:

- 1) изменение во времени геометрии системы «рельсы-катушки»;
- 2) наличие вдоль рельсовой линии локальных неоднородностей магнитного поля сигнала.

Наличие первого фактора обусловлено нестабильностью траектории кузова локомотива и жестко связанных с ним приемных катушек относительно рельсовых нитей [1, 13]. Данная нестабильность вызвана раскачиванием кузова и, строго говоря, имеет место в течение всего времени движения локомотива. Относительно кратковременное изменение геометрии

системы «рельсы-катушки» имеет место также при проследовании изостыков.

Наличие второго фактора обусловлено неоднородностями рельсовых нитей как ферромагнитных тел ввиду наличия уже упомянутых стальных подкладок под рельсы [1], стрелок, крестовин и пр., рассмотрению чего посвящен раздел 3 настоящей работы.

Поскольку мультипликативные помехи так или иначе связаны с динамикой локомотива, то их амплитуды и временные характеристики существенно зависят от скорости его движения.

Принимая во внимание представленную совокупность помех приему сигнала АЛСН и учитывая, что сигнальная ЭДС, наведенная суммарно в обеих катушках на частоте 25 Гц имеет величину порядка 0,1 В [1, 14], можно сделать вывод, что в самом общем случае прием сигналов АЛСН осуществляется на фоне комплекса аддитивных и мультипликативных помех, состав и характеристики которого при движении по маршруту изменяются малопредсказуемым образом, при это пиковые мощности импульсных помех в десятки – сотни раз превосходят мощность сигнала. Как известно [16-18], общий подход к решению задачи приема в таких условиях состоит в построении адекватной модели совокупности сигнала и помех и в дальнейшем принятии статистических

решений о наличии и виде сигнала на основе непрерывного анализа помеховой обстановки и соответствующей коррекции параметров модели (так называемый адаптивный метод приема). Иногда применяют упрощенный способ приема, состоящий в раздельном подавлении мощных импульсных помех и флуктуационных помех. Импульсные помехи ослабляют цепочкой «широкополосный усилитель – амплитудный ограничитель – узкополосный усилитель» в разных модификациях [15, 19, 20], а затем выполняют обработку такой отфильтрованной смеси сигнала и помехи методами, развитыми для приема сигнала на фоне флуктуационных помех. Однако помехи, сосредоточенные по спектру, существенно снижают помехоустойчивость такого вида приема [20].

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Таким образом с точки зрения обеспечения максимальной помехоустойчивости целесообразно исследовать возможность построения приемника сигналов АЛСН, в той или иной мере адаптирующегося к помеховой обстановке путем непрерывной коррекции всего алгоритма обработки или некоторых его параметров на основе анализа текущих характеристик смеси сигнала и помехи.

Список использованных источников

1. Лисенков, В. М. Теория автоматических систем интервального регулирования [Текст] / В. М. Лисенков. – М.: Транспорт, 1987. – 150 с.
2. Соболев, Ю. В. Путьевые преобразователи автоматизированных систем управления железнодорожного транспорта [Текст] / Ю. В. Соболев. – Харьков: ХФИ «Транспорт Украины», 1999. – 200 с.
3. Кулик, П. Д. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности [Текст] / П. Д. Кулик, Н. С. Ивакин, А. А. Удовиков. – К.: Издательский дом «Мануфактура», 2004. – 288 с.
4. Бадер, М. П. Электромагнитная совместимость [Текст] / М. П. Бадер. – М.: УМК МПС, 2002. – 638 с.

5. Леушин, В. Б. Анализ причин сбоев в системе АЛСН [Текст] / В.Б. Леушин, К.Э. Блачев, Р.Р. Юсупов // Автоматика, связь, информатика. – 2013. - № 4. – С. 20-25.
6. Михайлеску, Д. Неблагоприятные влияния и уровни помех при электрической тяге [Текст] / Д. Михайлеску, М. Пантелимон // Железные дороги мира. – 1982. – № 10. – С. 57-63.
7. Мамошин, Р. Р. Повышение качества энергии на тяговых подстанциях дорог переменного тока [Текст] / Р.Р. Мамошин. – М.: Транспорт, 1973. – 224 с.
8. Шаманов, В.И. Защищенность локомотивных приемников АЛС от помех [Текст] / В.И. Шаманов // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 4. – С. 14-19.
9. Дюбей, Гопал К. Основные принципы устройства электроприводов [Текст] / Гопал К. Дюбей. – М.: Техносфера, 2009. – 480 с.
10. Тулупов, В. Д. Автоматическое регулирование сил тяги и торможения электроподвижного состава [Текст] / В.Д. Тулупов. – М.: Транспорт, 1976. – 368 с.
11. Баранов, В. А. Совершенствование электрооборудования электропоездов с коллекторным тяговым приводом [Текст] / В. А. Баранов // Локомотив. – 2012. – № 1. – С. 26-27.
12. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник [Текст] / В.Т. Белінський, Г.І. Васюк, Вал.С. Вунтесмері [та ін.]; за ред. Ю.Л. Мазора, Є.А. Мачуського, В.І. Правди. – К.: Вища школа, 1999. – 838 с.
13. Лисенков, В. М. Индуктивная связь с поездами [Текст] / В.М. Лисенков. – М.: Транспорт, 1976. – 112 с.
14. Сороко, В. И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: в 2 т. Т. 2 [Текст] / В.И. Сороко, Е.Н. Розенберг. – М.: НПФ «Планета», 2000. – 1008 с.
15. Леонов, А. А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации [Текст] / А.А. Леонов. М.: Транспорт, 1982. – 256 с.
16. Репин, В. Г. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем [Текст] / В.Г. Репин, Г.П. Тартаковский. – М.: Советское радио, 1977. – 432 с.
17. Тартаковский, Г. П. Теория информационных систем [Текст] / Г.П. Тартаковский. – М.: Физматкнига, 2005. – 304 с.
18. Тихонов, В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем [Текст] / В.И. Тихонов, В.Н. Харисов. – М.: Радио и связь, 2004. – 608 с.
19. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст] / И.С. Гоноровский. – М.: Советское радио, 1971. – 672 с.
20. Батаев, О. П. Теорія електричного зв'язку [Текст] / О.П. Батаев, Н.А. Корольова, І.В. Ковтун. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – 630 с.
21. Meidani, Mohammadreza Introducing new algorithms for realising an FIR filter with less hardware in order to eliminate power line interference from the ECG signal [Text] / Mohammadreza Meidani, Behboud Mashoufi // IET Signal Processing. – 2016. – Vol. 10, Issue 7, 9. – P. 709-716.

Ананьєва Ольга Михайлівна, канд. техн. наук, докторант кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-96.

E-mail: eltech@kart.edu.ua.

Давиденко Михайло Георгійович, канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-96.

E-mail: eltech@kart.edu.ua.

Бабаєв Михайло Михайлович, д-р техн. наук, професор кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-96.

E-mail: eltech@kart.edu.ua.

Anan'yeva O.M., Candidate of Technical Sciences, doctoral student of department of automation and computer telecontrol train traffic Ukrainian state university of railway transport. Kharkov, Ukraine. Ph.: (057) 730-19-96. E-mail: eltech@kart.edu.ua.

Davidenko M.G., Candidate of Technical Sciences, associate professor of department of electrical equipment and electrical machines Ukrainian state university of railway transport. Kharkov, Ukraine. Ph.: (057) 730-19-96. E-mail: eltech@kart.edu.ua.

Babaev M., Doctor of Engineering, professor of department of electrical equipment and electrical machines Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. Тел.: (057) 730-19-96. E-mail: eltech@kart.edu.ua.

Стаття прийнята 30.06.2016 р.

УДК 656.254.5

УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПОЛІГОНІ В УМОВАХ ШВИДКІСНОГО РУХУ

Канд. техн. наук П. В. Долгополов, Д. В. Трегубчак

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЕЗДОПОТОКОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПОЛИГОНЕ В УСЛОВИЯХ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Канд. техн. наук П. В. Долгополов, Д. В. Трегубчак

IMPROVING THE TRAIN FLOWS ON THE RAILWAY POLYGON IN CONDITIONS OF HIGH-SPEED TRAFFIC

Cand. of techn. sciences P. V. Dolgoplov, D. V. Tregubchak

Розроблено математичну модель регулювання поїздопотоків на залізничному полігоні з масовим швидкісним рухом на основі теорії графів. Реалізація моделі за допомогою інформаційно-керуючих систем дає змогу оптимізувати маршрути прямування поїздів в умовах скорочення пропускної спроможності окремих ділянок у періоди вимушених перерв у їх роботі.

Ключові слова: регулювання поїздопотоків, залізничний полігон, диспетчерське управління, теорія графів, скорочення пропускної спроможності, високошвидкісний рух.

Разработана математическая модель регулирования поездопотоков на железнодорожном полигоне с массовым скоростным движением на основе теории графов. Реализация модели с помощью информационно-управляющих систем позволяет оптимизировать маршруты следования поездов в условиях сокращения пропускной способности отдельных участков в периоды вынужденных перерывов в их работе.

Ключевые слова: регулирование поездопотоков, железнодорожный полигон, диспетчерское управление, теория графов, сокращение пропускной способности, высокоскоростное движение.

Research and practical experience shows you that the gasket of each high-speed train on the schedule greatly increases the demand of throughput capacity.

This requires a reorientation of part of train streams to other areas, and especially in terms of the need to upgrade railway infrastructure with the renovations with the closing of the tracks at stations and spans.

A mathematical model of regulation of train flows on the railway polygon with massive high-speed traffic based on the theory of graphs was developed. With the help of model it was simulated the distribution of train streams for the bypass routes in case of closure of one of the spans.

The implementation of the model using information management systems allows you to optimize the routes of trains in terms of throughput capacity reducing of individual sites during periods of forced interruptions in their work. This technology allows you to move from train control on certain sections to control on the extensive grounds of the railway and the network regions.

Keywords: *regulation of train flows, railway polygon, Supervisory control theory, graph theory, throughput capacity reducing, high-speed traffic.*

Вступ. У період впровадження нових технологій на залізницях набуває актуальності необхідність адаптації залізничної мережі та поїздопотоків до швидкісного руху. Проте наукові дослідження та практичний досвід свідчать, що прокладання кожного швидкісного поїзда на графіку руху поїздів значно збільшує потрібну пропускну спроможність ділянок $N_{номр}$ [1].

Це вимагає переорієнтування частки поїздопотоків на інші ділянки, причому особливо гостро дане питання стоїть в умовах необхідності модернізації залізничної інфраструктури з проведенням ремонтних робіт із закриттям колій на станціях та перегонах, коли є необхідним більш ефективного використання пропускну спроможності ділянок залізничного полігону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задачі з оптимізації поїздопотоків на розгалужених полігонах вирішувалися у певних наукових роботах, серед яких слід виділити [2,3,4,5]. Проте в них не враховано зменшення пропускну спроможності ділянок під час проведення робіт із закриттям колій.

Мета та задачі дослідження. Метою даної роботи є побудова математичної моделі оптимізації поїздопотоків на залізничному полігоні в умовах тимчасових обмежень пропускну спроможності при ремонтних роботах із закриттям окремих колій та перегонів у термінах теорії графів.

На основі побудованої моделі доцільно створити інформаційно-керуючу систему диспетчерського управління, яка дасть змогу оптимально розподіляти поїздопотоки на залізничному полігоні та безперервно контролювати безпеку руху поїздів з боку оперативно-диспетчерського персоналу на основі сучасних методів оптимізації вагонопотоків в умовах швидкісного пасажирського руху.

Основна частина дослідження. Головними завданнями оперативного управління поїзною роботою є планування поїздоутворення і пропускання поїздів по ділянках. Послідовне спільне вирішення цих завдань значно розсовує тимчасові рамки оперативного планування поїздної роботи.

Проте необхідність надання технологічних "вікон" для ремонту технічних засобів створює значні труднощі у просуванні поїздопотоків, суттєво знижуючи пропускну спроможність ділянок протягом тривалого періоду впродовж року.

Диспетчерський апарат має володіти оперативною інформацією для можливості планування розподілу збільшеного поїздопотоків при регулюванні насичення ділянок поїздами, наданні "вікон" і інших перервах руху поїздів. Така технологія дає змогу перейти від управління рухом поїздів на окремих ділянках до управління поїздопотоками на розгалужених полігонах залізниці і регіонах мережі.

З метою скорочення затримок поїздів у період надання "вікон" застосовуються такі організаційно-технічні заходи, що дають можливість підвищити використання пропускну і провізної спроможності:

- організація сполучених поїздів [6];
- застосування пристроїв, що дають змогу забезпечити рух за сигналами локомотивних світлофорів у протилежному напрямі (по неправильному шляху);
- виділення найбільш кваліфікованих поїзних диспетчерів для чергування у дні надання "вікон" тощо.

Варіантний графік, що розробляється при наданні "вікон", забезпечує максимальні розміри вантажного руху при мінімальних затримках пасажирських.

Для визначення реальних розмірів руху в добу надання "вікон" необхідно провести розрахунки добової пропускну спроможності ділянки з урахуванням впливу перерв у русі.

Для створення оптимальних умов роботи ділянок полігону в умовах інтероперабельності [7] у період надання

"вікон" необхідно регулювати їх насичення поїздами. Для вибору оптимального розподілу поїздопотоків на розгалужених полігонах розроблена методика, що базується на теорії графів і потоків у мережах. Для досліджень базовий полігон представлено у вигляді зваженого графа, на якому кожній ділянці приведена у відповідність її наявна пропускна спроможність, що визначена як

$$N_{нал} = \frac{(1440 \cdot t_{техн}) \cdot \alpha_n}{T}, \quad (1)$$

де $t_{техн}$ – тривалість технологічного "вікна", хв;

α_n – коефіцієнт надійності, який враховує вплив відмов у роботі технічних засобів (колії, пристрої СЦБ і зв'язку, контактна мережа тощо) на наявну пропускна спроможність лінії;

T – період ГРП, хв.

Потрібна пропускна спроможність для ділянок розраховується як [1]

$$N_{потр} = N_{ван} + \varepsilon_{шв} \cdot N_{шв} + \varepsilon_{пс} \cdot N_{пс} + N_{пр} + \varepsilon_{сб} \cdot N_{сб}, \quad (2)$$

де $\varepsilon_{шв}; \varepsilon_{пс}; \varepsilon_{сб}$ – коефіцієнти знімання відповідно швидкісних, пасажирських та збірних поїздів;

$N_{ван}; N_{шв}; N_{пс}; N_{пр}; N_{сб}$ – середні розміри руху відповідно вантажних, швидкісних, пасажирських, приміських та збірних поїздів.

У розрахунках прийнято такі значення величин $\varepsilon_{пс} = 4,3; \varepsilon_{шв} = 2,4; \varepsilon_{сб} = 2,0$ [1].

При насиченому ГРП більшість поїздів прямує на жовтий вогонь світлофора. В результаті не виконуються нормативи графіка руху й знижується використання пропускну спроможності.

У період "вікон" диспетчерський апарат змушений пропускати поїзди по

нерациональних маршрутах. Це значно збільшує експлуатаційні витрати при зменшенні дільничної швидкості.

Дана обставина обумовлює необхідність побудови та реалізації моделі визначення раціонального плану поїздопотоків в обхід закритих перегонів по найбільш доцільних маршрутах.

Сформуємо задачу визначення раціонального розподілу поїздопотоків на базовому залізничному полігоні у формальному вигляді у термінах математичного апарату теорії графів. Наукові дослідження проведено із застосуванням математичних методів спрямованого перебору варіантів та Форда-Фалкерсона [8].

Згідно з конфігурацією базового залізничного полігону побудовано граф $G(V, E)$ з пропускною спроможністю $c(u, v)$ його розрізу та потоком $f(u, v)$ для ребер з u до v . Необхідно знайти максимальний потік з джерела s до стоку t . На кожному кроці даного методу для кожного потоку діють однакові умови:

$$f(u, v) \leq c(u, v), \quad (3)$$

тобто потік з u до v не має перевищувати пропускної спроможності ребер;

$$f(u, v) = -f(v, u); \quad (4)$$

$$\sum_v f(u, v) = 0 \Leftrightarrow f_{in}(u) = f_{out}(u) \quad (5)$$

для всіх вузлів u , крім s та t . Потік не змінюється при проходженні через вузол.

Таким чином, маємо зважений граф G з пропускною спроможністю c , джерелом s та стоком t . Необхідно отримати оптимальний розподіл максимального потоку f з s до t .

Поки є шлях p з s до t , такий, що $c_f(u, v) > 0$ для всіх ребер $(u, v) \in p$, визначаємо $c_f(p) = \min\{c_f(u, v) \mid (u, v) \in p\}$, причому для кожного ребра $(u, v) \in p$ мають бути справедливими умови:

$$f(u, v) \leftarrow f(u, v) + c_f(p); \quad (6)$$

$$f(v, u) \leftarrow f(v, u) + c_f(p). \quad (7)$$

Отже, при надходженні на станцію 1, яка є джерелом графа, від 1 до 12 поїздів за зміну (12 годин) вони пропускаються по найкоротшому шляху 1–2–3–4–5–6–7–8–9–10. Пропускна спроможність ділянки 2–3 використовується також і для інших вантажних поздопотоків, тому з урахуванням максимального використання парку локомотивів та інтенсивного пасажирського руху вона становить 12 вантажних поїздів у зміну.

Внаслідок цього при необхідності пропускання від 13-го поїзда доцільно використовувати найбільш ефективний з економічної точки зору маршрут, що обминає ділянку 2–3, а саме 1–15–3–4–5–6–7–8–9–10, як наведено у табл. 1.

При зростанні поїздопотоків до 14-ти та більше поїздів стає лімітуючою ділянка 8–9, яка може пропустити лише 13 вантажних поїздів даного напрямку за зміну. Тому поїзди, починаючи з 14-го, доцільно спрямувати в обхід ділянки 8–9 за маршрутом 1–15–3–4–5–6–7–17–18–10.

Таким саме чином зіставлено потрібну та наявну спроможності ділянок і побудовано розподіл поїздопотоків 1–10 по різних раціональних маршрутах прямування.

При проведенні ремонтних робіт на двоколійній ділянці із закриттям однієї колії перегону пропускна спроможність всієї ділянки різко скорочується.

Таблиця 1

Розподіл змінних поїздопотоків за маршрутом 1–10

Можливі розміри поїздопотоків 1-10, поїзд/змін	Основний та додаткові шляхи прямування поїздопотоків	Лімітуючі ділянки
1 – 12	1–2–3–4–5–6–7–8–9–10	2–3
13	1–15–3–4–5–6–7–8–9–10	2–3, 8–9
14–16	1–15–3–4–5–6–7–17–18–10	2–3, 8–9, 5–6
17 – 19	1–15–16–8–9–10	2–3, 8–9, 5–6, 1–15
20–21	1–2–11–12–5–13–6–7–17–18–10	2–3, 8–9, 5–6, 1–15, 17–18
21 – 25	1–2–11–12–5–13–6–19	2–3, 8–9, 5–6, 1–15, 17–18, 12–5

У даній роботі проведено моделювання розподілу вантажних поїздопотоків на випадок закриття однієї колії перегону ділянки 2–3. При цьому наявна пропускна спроможність скорочується до одного вантажного поїзда за зміну. Порядок розподілу поїздопотоків для даного випадку наведено у табл. 2.

Як видно, тільки один вантажний поїзд може бути пропущеним за найефективнішим маршрутом 1–2–3–4–5–

6–7–8–9–10. Починаючи з другого, поїзди доцільно пропускати в обхід ділянки 2–3 за маршрутом 1–15–3–4–5–6–7–8–9–10. У такому випадку тепер стає лімітуючою одноколійна ділянка 1–15, яка може пропустити лише сім вантажних поїздів за зміну. Тому поїздопотік, що перевищує 8 поїздів, необхідно пропускати за третім варіантом – за маршрутом 1–2–11–12–5–6–7–8–9–10 тощо.

Таблиця 2

Розподіл змінних поїздопотоків за маршрутом 1–10 при закритті однієї колії перегону на ділянці 2–3

Можливі розміри поїздопотоків 1-10, поїзд/змін	Основний та додаткові шляхи прямування поїздопотоків	Лімітуючі ділянки
1	1–2–3–4–5–6–7–8–9–10	2–3
2–8	1–15–3–4–5–6–7–8–9–10	2–3, 1–15
9–13	1–2–11–12–5–6–7–8–9–10	2–3, 1–15, 8–9
14	1–2–11–12–5–6–7–17–18–10	2–3, 1–15, 8–9, 12–5
15–16	1–14–15–3–4–5–6–7–17–18–10	2–3, 1–15, 8–9, 12–5, 5–6
16–18	1–14–15–16–8–17–18–10	2–3, 1–15, 8–9, 12–5, 5–6, 1–14

Якщо на базовому полігоні виключити з експлуатації (у випадку ремонтів, транспортних пригод та надзвичайних ситуацій) усі ділянки, що визначають пропускну спроможність (дані ділянки являють собою розріз графа), то величина максимального потоку дорівнюватиме нулю.

Оскільки розріз блокує всі можливі маршрути для поїздів від початкової до кінцевої станції, то сума наявної пропускної спроможності вхідних у нього ділянок складає пропускну спроможність розгалуженого полігону мережі.

Завдання знаходження найкоротших шляхів пересування поїздопотоків має велике практичне значення.

Для кожного кола дорожнього диспетчера має розроблятися таблиця з

черговістю розподілу поїздопотоків при закритті перегонів на технологічні вікна або з іншим причин. Для реалізації можливостей регулювання насичення ділянок, що розглянуті, необхідно, щоб число поїздів, що надходять, не перевищувало пропускної спроможності розгалуженого полігону.

Використовуючи дані табл. 2 ДНЦ може планувати пропускання (розподіл) збільшеного поїздопотоків при регулюванні насичення ділянок поїздами, наданні "вікон" і інших перервах руху поїздів. Така технологія дає змогу перейти від управління рухом поїздів на окремих ділянках до управління поїздопотоків на розгалужених полігонах залізниці і регіонах мережі [9].

Для отримання достовірних оперативних даних запропонованою системою доцільно також впровадити підсистему ідентифікації поїздів з використанням контрольної ділянки та інформації АСК ВП УЗ Є, що дає змогу визначати статичні характеристики вагонів поїзда та зіставляти дані з телеграм - натурних аркушів з фактичними номерами вагонів [10].

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. У статті розроблена математична модель регулювання поїздопотоків на залізничному полігоні, що

базується на теорії графів. Реалізація розробленої моделі на виробництві на основі інформаційно-керуючих систем дає змогу оптимізувати розподіл поїздопотоків на розгалужених полігонах.

Використовуючи оперативну інформацію диспетчерський апарат може планувати розподіл збільшеного поїздопотоків при регулюванні насичення ділянок поїздами, наданні "вікон" і інших перервах руху поїздів. Така технологія дає можливість перейти від управління рухом поїздів на окремих ділянках до управління поїздопотоків на розгалужених полігонах залізниці і регіонах мережі.

Список використаних джерел

1. Грунтов, П. С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте [Текст]: учебник для вузов ж.-д. транспорта / П.С. Грунтов, А.М. Макарович, В.Г. Шубко; под общ. ред. П.С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994. – 543 с.
2. Talebian, A., Zou, B. Integrated modeling of high performance passenger and freight train planning on shared-use corridors in the US [Text] / A. Talebian, B. Zou // Transportation Research Part B: Methodological. – 2015. – Vol. 82. – P. 114-140.
3. Implementation and validation of an Angle of Arrival (AoA) determination system for real-time on-board train positioning [Text] / M. Arenas, A. Podhorski, S. Arrizabalaga, J. Goya, B. Sedano, J. Mendizabal // Transportation Research Procedia. – 2016. – № 14. – P. 1950-1956.
4. Krasemann, J. Computational decision-support for railway traffic management and associated configuration challenges: An experimental study [Text] / J. Krasemann // Journal of Rail Transport Planning & Management. – 2015. – Vol. 5. – №. 3. – P. 95-109.
5. Долгополов, П. В. Оптимізація порожніх вагонопотоків з використанням математичного апарату задач на графах [Текст] / П.В. Долгополов, В.В. Петрушов // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2008. – Вип. №16. – С. 14-19.
6. Пособие поездному диспетчеру и дежурному по отделению [Текст] / Г.М. Грошев, В.А. Кудрявцев, Г.А. Платонов и др. – М.: Транспорт, 1992. – 368 с.
7. Калашнікова, Т. Ю. Удосконалення інформаційно-керуючої системи залізниць в умовах інтеперабельності [Текст] / Т.Ю. Калашнікова, Є.М. Кушкін, Є.Д. Купенко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 146. – С. 61–65.
8. Балашевич, В. А. Математические методы в управлении производством [Текст] / В.А. Балашевич. – Минск: Вышэйшая школа, 1976. – 184 с.
9. Долгополов, П. В. Удосконалення диспетчерського керівництва дільниці на основі прогнозного моделювання перевізного процесу [Текст] / П. В. Долгополов, Т. В. Головка, Т. В. Галишинець, І. А. Іванова // Вісник НТУ "ХПІ". – 2015. – Вип. 49(1158). – С. 36–39.

10. Егоров, О. И. Процедура идентификации поездов с использованием информации АСК ВП УЗ-Е [Текст] / И.В. Жуковицкий, О.И. Егоров // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 2015. – Вип. 6(115). – С. 61–66.

Рецензент д-р техн. наук, професор О. В. Лаврухін

Долгополов Петро Віталійович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: pit2013@mail.ru.
Трегубчак Дар'я Володимирівна, слухач магістратури ІППК Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(050) 537-00-71.

Dolgoplov Peter, PhD. Of tehn. Sciences, Associate Professor of Management of operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-88. E-mail: pit2013@mail.ru.

Tregubchak Darya, Lichistener IPPK of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (050) 537-00-71.

Стаття прийнята 04.07.2016 р.

УДК 656.073.436

УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ПРОСУВАННЯ ВАГОНІВ З НЕБЕЗПЕЧНИМИ ВАНТАЖАМИ В УМОВАХ СТАНЦІЇ ОСНОВА

Д-р техн. наук Т. В. Бутько, магістр І. М. Петрова

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОДВИЖЕНИЯ ВАГОНОВ С ОПАСНЫМИ ГРУЗАМИ В УСЛОВИЯХ СТАНЦИИ ОСНОВА

Д-р техн. наук Т. В. Бутько, магістр І. М. Петрова

IMPROVING THE MANAGEMENT OF THE PROCESS OF MOVING OF WAGONS WITH DANGEROUS GOODS IN TERMS OF STATION BASIS

Dr. of Tech. Sc. Professor T.V. Butko, master I.M. Petrova

У даній статті досліджується питання удосконалення перевезення небезпечних вантажів (НВ) на залізничному транспорті і наведено динаміку розподілу кількості вагонів з НВ по місяцях за 2015 рік перевезень по станції Основа регіональної філії «Південна залізниця». Розроблена модель може бути основою автоматизованої системи планування процесу перевезень НВ за умови мінімізації ризиків.

Ключові слова: статистика, технологія перевезень, розподіл, динаміка, вагони з небезпечними вантажами.

В данной статье исследуется вопрос совершенствования перевозки опасных грузов (НВ) на железнодорожном транспорте и приведена динамика распределения количества вагонов с НВ по месяцам за 2015 год перевозок по станции Основа регионального филиала «Южная железная дорога». Разработанная модель может быть основой автоматизированной системы планирования процесса перевозок НВ при условии минимизации рисков.

Ключевые слова: статистика, технология перевозок, распределение, динамика, вагоны с опасными грузами.

In this article, the question of improving the transport of dangerous goods (DG) in rail transport had been researched and dynamic of distribution of the number of cars with DG by months for 2015 transport year on Osnova stations of the regional branch of "Southern Railway" had been provided. The developed model can be the basic model of automated planning system of transportation process of DG providing minimal risks. For formalization technology transport of dangerous goods subsystem "technical station - adjacent station" mathematical model of operational management based on fuzzy situational network plays your decision making dispatcher personalom. Dlya finding the optimal management strategy in indistinct situational network that minimizes the length of the wagons of DG in each stage of formation obrobky. Sutnist promotion process management model cars with DG at the operational level is to find the optimal management strategy for minimizing the time criteria of cars and high level of protection against the risk of both "regular" and in emergencies. At the base station, the principle of separation areas of operational management (planning). As part of the process of sequence processing plant installed by cars and cars of the time standards for each stage

Keywords: *statistics, technology, transportation, distribution, dynamics and cars with dangerous goods.*

Вступ. До актуальних транспортних проблем, які вимагають особливої уваги, можна віднести підвищення безпеки перевезень, що позитивно позначиться на транспортному процесі просування вантажів. Поряд з цим спостерігається тенденція зростання транспортних подій за участю НВ різних класів. Близько 10 % усіх аварій і катастроф, які відбуваються на залізничному транспорті, припадає на організаційні чинники, технічний стан рухомого складу, наявність колій з простроченим терміном ремонту, що становить реальну загрозу безпеці перевезень і збереження НВ. Тому і виникають проблеми щодо чіткої організації всього ланцюга перевезень, що є трудомістким етапом організації перевезень НВ на залізничному транспорті. При плануванні маршруту прямування вагонів необхідно враховувати план формування вантажних поїздів, напрямок прямування та категорію поїзда, станції зупинки та розклад руху. Від рівня планування залежить безаварійність перевезення НВ та ефективність реалізації якості послуг залізничним транспортом з урахуванням збереження вантажу на швидкості і точності доставки.

Актуальність. Сучасна життєдіяльність людини призвела до збільшення

номенклатури і обсягу споживання хімічних, радіоактивних і інших небезпечних речовин. З кожним роком стає все більше підприємств, які використовують радіаційні, вибухонебезпечні, пожежонебезпечні, отруйні та їдкі речовини. Споживачами речовин, виробів і матеріалів, що мають небезпечні властивості, є всі галузі промисловості, що викликає необхідність у практично безперервному їх перевезенні залізницями в умовах високого рівня безпеки та при мінімальних витратах на просування вагонів з НВ. Зважаючи на вищевикладене, тема статті є актуальною та зорієнтованою на удосконалення системи організації перевезень НВ на залізницях України.

Мета дослідження. Метою дослідження є удосконалення організації і управління процесом просування вагонів з НВ на оперативному рівні, що забезпечує зменшення можливих ризиків.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження загальної тенденції перевезення небезпечних вантажів сформовано динаміку їх розподілу за 2015 рік в умовах станції Основа регіональної філії «Південна залізниця», для вантажів 1-4 класів, яку наведено на рис. 1. Поряд з динамікою обсягів вагонів по місяцях на рис. 1 наведено основні характеристики, а саме:

N – середнє значення, σ – середнє квадратичне відхилення, K_H – коефіцієнт нерівномірності.

Коефіцієнт нерівномірності K_H , що дорівнює 5.25, свідчить про наявність сезонних коливань в обсягах перевезень.

Для більш детальнoго аналізу сформовано динаміку зміни обсягів перевезень НВ по місяцях 2015 року за класами небезпечності (рис. 2).

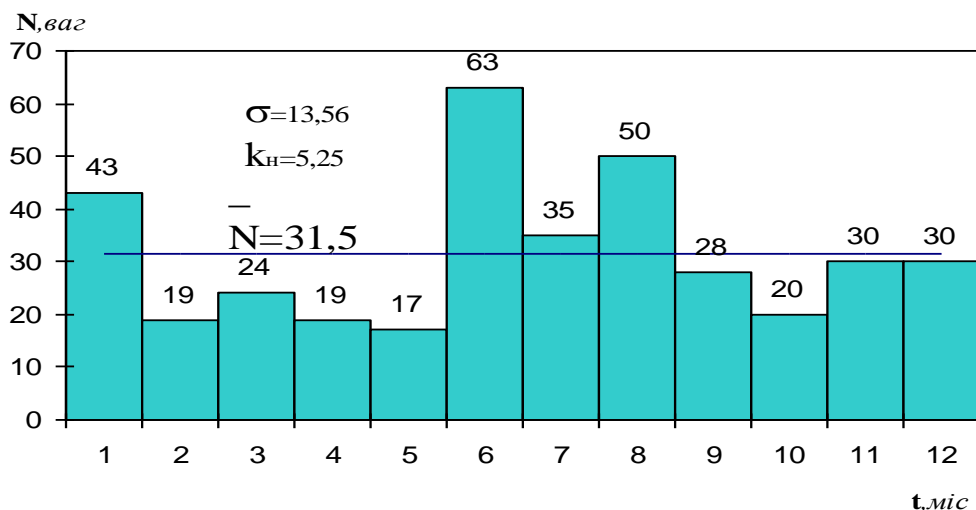


Рис. 1. Динаміка обсягів перевезення небезпечних вантажів в умовах станції Основа за 2015 рік

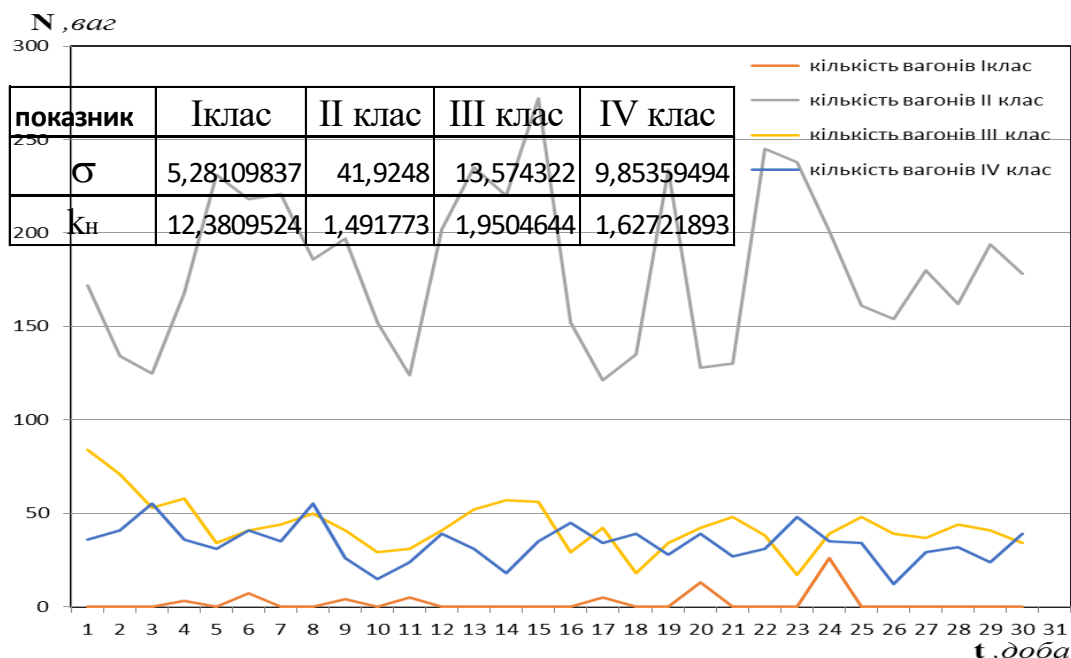


Рис. 2. Динаміка обсягів перевезення небезпечних вантажів в умовах станції Основа за червень 2015 року

Аналіз динаміки свідчить про наявність коливань зміни обсягів перевезень небезпечних вантажів за класами протягом місяця, яка відображається коефіцієнтом нерівномірності K_H для кожного класу. Також розраховане середнє квадратичне відхилення σ та середнє значення N для кожного окремого класу по місяцях 2015 року.

На основі досліджень спостерігаються найбільші коливання в обсягах перевезення НВ по добах для небезпечних вантажів II класу, незначні коливання мають небезпечні вантажі III та IV класів. За результатами аналізу встановлено, що тенденція зміни обсягів перевезень НВ за класами свідчить про стійку тенденцію щодо наявності коливань. Тому в таких умовах потребує вирішення питання щодо формування гнучких методів оперативного управління при перевезенні НВ усіх класів.

Аналіз останніх досліджень. Значний внесок у вирішення завдань удосконалення організації перевезень небезпечних вантажів на залізничному транспорті, оперативного управління, процесу планування маршруту прямування вагонів та оптимальної схеми напрямку вагонопотоків зробили такі вчені та практики: Н.С. Green, R.E. Barlow, Н. Kumamoto, A.J. Bourne, F.N. Proschan, E.J. Henly, E. Apl, E. Erkut, С. ReVelle, А.Г. Базазьян, В.М. Акулінічев, В.Н. Андрюсюк, А.Л. Кармолін, А.В. Костров, П.С. Грунтов, В.М. Самсонкін, А.М. Островский, В.І. Медведєв, Л.Е. Шейнкман, Т.В. Бутько, С.І. Музикіна та ін. Сутність формування моделі управління процесом просування вагонів з НВ на оперативному рівні полягає в пошуку оптимальної стратегії управління за критеріями мінімізації часу перебування вагонів та високим рівнем захисту від небезпеки як у «штатних», так і в надзвичайних ситуаціях. На станції Основа застосовується принцип розмежування районів оперативного управління (планування). В межах технологічного

процесу роботи станції встановлена послідовність обробки вагонів та визначені нормативи часу перебування вагонів на кожному з етапів, тоді як процес вибору пріоритету обслуговування вагонів може бути змінений відповідно до рішення станційного диспетчера і записується у вигляді лінгвістичної змінної $\alpha = [\eta, F_k, X]$, з терм-множиною $F_k = \{\text{поточний режим, пріоритетний режим}\}$, η – ім'я лінгвістичної змінної, X – множина значень лінгвістичної змінної, що обґрунтовується підходом поїздів на станцію. За таких умов можна корегувати черговість обробки вагонів з НВ та вибору часу відправлення. Кожен етап обробки вагона з НВ можна описати такими параметрами: інтенсивність пересувань рухомих одиниць у парку або по суміжних коліях (прилегла дільниця, сортувальний комплекс тощо).

Для удосконалення технології роботи станції Основа щодо підвищення безпеки формування, розформування, постановки вагонів з НВ потрібне розроблення таких додаткових заходів:

- встановити контроль за відповідністю рухомого складу вимогам Правил перевезення вантажів, Додатка 2 до СМГС;
- при роботі з вагонами, завантаженими НВ, забезпечувати контроль норм прикриття в поїздах та під час виконання маневрів, згідно з вимогами Інструкції з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України та Правил перевезень небезпечних вантажів [2] – розробити технологію раціонального планування та прогнозування виконання основних експлуатаційних показників роботи станції.

На залізничному транспорті застосовується принцип розмежування районів оперативного управління в роботі, запропоновано формалізувати процес управління взаємопов'язаних підсистем «технічна станція – прилегла дільниця» в системі загального маршруту прямування вагонів з НВ. Застосування такого системного підходу надасть змогу на основі відтворення математичною моделлю

оперативного управління в послідовному просуванні вагонів з НВ у підсистемах «технічна станція – прилегла дільниця». Процедура послідовного суміщення таких адаптивних моделей дасть можливість сформулювати систему оперативного управління перевезеннями НВ на всьому маршруті їх прямування. Враховуючи зазначені особливості, процес оперативного управління просуванням вагонів із небезпечними вантажами має бути досконало підготовлений. Одним із важливих заходів є розроблення сценаріїв виконання плану обробки вагонів на станції та пропускання поїздів з такими вагонами на дільниці в межах оперативного планування на 3-4 години. Для вирішення поставленої задачі в роботі запропоновано використати підхід на основі побудови ситуаційної моделі, в якій об'єктом управління є вагони або група вагонів з небезпечними вантажами, що перебувають на станції або в складі поїзда на дільниці. Тоді як стан об'єкта з точки зору його рівня безпеки (захисту) і тривалості перебування в стадіях технологічного процесу обробки подано у вигляді нечіткої ситуації, що є нечіткою множиною другого рівня.

$$\tilde{S} = \{ \langle (\mu_S(y_i) / y_i) | y_i \in Y \rangle \},$$

де $Y = \{y_1, y_2, y_i, \dots, y_p\}$ – множина ознак, значеннями яких описується стан об'єкта управління в деякий момент часу $i = \overline{1, p}$; $\mu_S(y_i)$ – функція належності, що характеризує ступінь належності елемента y_i нечіткій множині \tilde{S} .

Кожний компонент вектора Y ідентифікується лінгвістичним поняттям T^i ,

$$\tilde{S} = \{ \langle \mu_S(y_1) / y_1 \rangle, \langle \mu_S(y_2) / y_2 \rangle \},$$

де

$$\langle \mu_S(y_1) / y_1 \rangle = \{ \langle \mu_{\mu_S}(y_1)(T_1^1) / \text{"малий"} \rangle, \langle \mu_{\mu_S}(y_1)(T_2^1) / \text{"середній"} \rangle, \langle \mu_{\mu_S}(y_1)(T_3^1) / \text{"високий"} \rangle \};$$

що відображається на числовій осі U^i та записується як множина $\{T^i\}$, $i = \overline{1, p}$. Отже кожна ознака y_i описується лінгвістичною змінною, що є кортежем.

$$\langle y_i, T^i, P^i \rangle,$$

де y_i – ім'я лінгвістичної змінної, що описує ознаку; $T_i = \{T_1^i, T_2^i, T_j^i, \dots, T_m^i\}$ – база терм-множина значень, що представляє найменування нечітких змінних, областю визначення яких є множина U^i ознаки y_i ; $j = \overline{1, m}$. Для опису термів T_j^i застосовуються функції належності $\mu_j: U \rightarrow [0, 1]$ є ступенем належності, що являє собою міру того, наскільки елемент $u \in U$ відповідає поняттю, суть якого формалізує множина T .

Для опису стану вагонів з небезпечними вантажами на станції та дільниці запропоновано використати дві ознаки, що представлені як лінгвістичні змінні $\langle \text{"рівень безпеки"}, T_1, D_1 \rangle$ і $\langle \text{"тривалість перебування вагонів у підсистемі станція – дільниця"}, T_2, D_2 \rangle$, де $T^1 = \{\text{малий, середній, високий}\}$, $T^2 = \{\text{незначна, нормативна, критична}\}$; D^i – база множина ознаки y_i , ($i = \overline{1, 2}$). Для кожної лінгвістичної змінної визначається ступінь належності всім її можливим значенням (термам).

За таких визначень деяка нечітка ситуація \tilde{S} , що характеризує нечіткий стан об'єкта, який виник при оперативному управлінні роботою з вагонами, має такий вигляд:

$$\langle \mu_s(y_2) / y_2 \rangle = \{ \langle \mu_{\mu_s}(y_2) (T_1^2) / \text{"незначна"} \rangle, \langle \mu_{\mu_s}(y_1) (T_2^1) / \text{"нормативна"} \rangle, \langle \mu_{\mu_s}(y_2) (T_3^2) / \text{"критична"} \rangle \}.$$

Управляючі рішення для вагонів з небезпечними вантажами описують дії щодо переведення вагона із однієї стадії обробки в іншу та характеризуються тривалістю здійснення переходу із одного стану в інший. Беручи до уваги, що на кожній стадії обробки вагона можливий варіант прискорення виконання операції за

рахунок переведення бригад оглядачів або надання додаткового маневрового локомотива для здійснення маневрів, запропоновано використати поняття "прискорений режим" здійснення операції. За таких умов управляюче рішення R_k можна записати у вигляді лінгвістичної змінної з терм-множиною

$$F_k \{ \text{нормативний режим, прискорений режим} \},$$

що описуються функціями належності трикутної форми на базовій шкалі, яка відповідає інтервалам часу на виконання управляючої дії. Таким чином, можливе досягнення так званого "рівноважного" стану системи, якому притаманна процедура вибору між часом перебування вагона на станції або дільниці.

Враховуючи принципи системного підходу, в межах оперативного управління перевезеннями НВ запропоновані для опису ознак, що характеризують стан об'єкта управління, лінгвістичні змінні, які мають відображати цілісність оцінки всього технологічного процесу обробки вагонів як на технічній станції, так і на прилеглий дільниці. Це дасть змогу уникнути випадків, коли в процесі управління не виправдано підвищується рівень небезпеки для зменшення тривалості перебування вагонів на станції, тоді як після прискореної обробки вагонів з НВ виконується їх відправлення в складі поїзда, у якого графік руху призводить до

збільшення загального часу перебування вагонів у підсистемі "технічна станція – прилегла дільниця" в декілька разів.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Запропонована модель оперативного управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами в підсистемі "технічна станція – прилегла дільниця" на базі нечіткої ситуаційної мережі надасть змогу зменшити ризики виникнення потенційно можливої транспортної події й пов'язаних з нею збитків під час виконання поїзної або маневрової роботи шляхом інтелектуальної підтримки планування на оперативному рівні. Розроблені основи дають можливість знизити кількість транспортних подій з причин організаційного характеру. На основі запропонованої моделі можна створити систему підтримки прийняття рішень диспетчерського персоналу, яка підвищить рівень безпеки перевізного процесу на залізничному транспорті.

Список використаних джерел

1. Положення про систему управління безпекою руху поїздів у Державній адміністрації залізничного транспорту України [Текст]: затв. наказом № 27 Міністерства інфраструктури України від 1.04.2011 р.; зареєстр. в Міністерстві юстиції України 17.06.2011 р. за №729/19467. – 48 с.

2. Правила перевезення небезпечних вантажів [Текст]: наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 25.11.2008 р., № 1430; зареєстр. в Міністерстві юстиції України 26.02.2009 р. за №180/16196, із змінами, внесеними Наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 05.11.2009 р. № 1135; зареєстр. в Міністерстві юстиції України 30.11.2009 р. за № 1151/17167. – 672 с.

3. Бутько, Т. В. Формування математичної моделі планування маршрутів слідування вагонів з небезпечними вантажами в умовах ризику [Текст] / Т.В. Бутько, О.В. Прохорченко, С.І. Музикіна // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2012. - №3(174). – С. 18-23.

4. Бутько, Т. В. Формування моделі оперативного управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами в підсистемі “технічна станція – прилегла станція” на базі нечіткої ситуаційної мережі [Текст] / Т.В. Бутько, О.В. Прохорченко, С.І. Музикіна // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Науково-технічний журнал. – Харків, 2012. – Вип. 3. – С. 3-8.

5. Кормен, Томас Х. Алгоритмы: построение и анализ=Introduction to Algorithms [Текст] / Томас Х. Кармен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1296 с.

6. Deb K. Genetic algorithms for function optimization. In: Genetic Algorithms and Soft Computing / K. Deb.; Edited by F. Herrera and J. L. Verdegay. – Heidelberg: Physica-Verlag, 1996. – P. 3-29.

7. Борисов, А. Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования [Текст] / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.

8. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление. Теория и практика [Текст] / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 299 с.

9. Кочнев, Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог [Текст]: учеб. пособие для вузов / Ф.П. Кочнев, И.Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1990. – 424 с.

10. Yen, J.Y. Finding the K shortest loopless paths in a network [Текст] / J.Y.Yen // Management Science. – 1971. - №17. – P. 712-716.

Бутько Тетяна Василівна, д-р техн. наук, професор кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (097)4424525.
Петрова Ірина Михайлівна, студентка гр.22-IV-ОПУТм Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (066)9040786. E-mail: Klimova10031985@gmail.com.

Butko T.V., Dr. tehn. science, Operation Work Management Department of Ukrainian State University of Railway Transport.

Petrova I.M., student(master) gr. 22-IV-OPUTm of Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (066)9040786. E-mail. Klimova10031985@gmail.com.

Стаття прийнята 05.07.2016 р.

УДК 656.025.6

ВИЗНАЧЕННЯ МАРШРУТІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАГОНОПОТОКІВ НА ОСНОВІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ

Канд. техн. наук О. А. Малахова, слухач ІППК Н. В. Харченко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРШРУТОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВАГОНОПОТОКОВ НА ОСНОВЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Канд. техн. наук О. А. Малахова, слушатель ИППК Н. В. Харченко

IDENTIFICATION TRAVEL ROUTES ON THE BASIS TRAFFIC VOLUMES GREATER EFFICIENCIES OPERATIONAL CONTROL

Cand. of Tech. Sc. O. A. Malakhova, IPPK listener N. V. Kharchenko

В умовах конкуренції і вступу України до європейської спільноти особливого значення набуває завдання удосконалення оперативного управління експлуатаційною роботою з використанням динамічних баз даних як інформаційної та технологічної основи управління вагонопотоками на залізниці. Організація вагонопотоків у поїзди повинна забезпечувати не тільки задоволення потреб вантажовідправників, але й високі фінансові результати.

Ключові слова: перевезення, транспорт, вагонопотік, оперативне управління, транспортна задача.

В условиях конкуренции и вступления Украины в европейское сообщество особое значение приобретает задача совершенствования оперативного управления эксплуатационной работой с использованием динамических баз данных в качестве информационной и технологической основы управления вагонопотоками на дороге. Организация вагонопотоков в поезда должна обеспечивать не только удовлетворение потребностей грузоотправителей, но и высокие финансовые результаты.

Ключевые слова: перевозка, транспорт, вагонопоток, оперативное управление, транспортная задача.

In terms of competition and the entry of Ukraine into the European community is particularly important task of improving the operational management of operational work with dynamic database as an information and technological bases of management of traffic volumes on the road. Organization of traffic volumes in train should provide not only the satisfaction of the needs of shippers, but also strong financial results.

All of them ultimately aimed at making rational decisions on the use of the rolling stock, in order to reduce transport costs in the final price of the product, which should stimulate the production of goods.

On the other hand, and he railways became an active participant of the market of transport services. Effective technology works with a fleet of freight cars making it more attractive to customers and helps to attract freight traffic.

The paper offers a strategic decision on the choice of transport routes on which cars with base stations delivered to various destinations.

Keywords: transport, transportation, traffic volumes, operational management, the problem of transport.

Вступ. Від ефективності функціонування транспорту багато в чому залежить процес ціноутворення і конкурентоспроможність товарів вітчизняних виробників на ринку. Як відомо, транспортні витрати у вартості продукції за окремими видами товарів доходять до 50%.

Основним резервом поліпшення ефективності функціонування залізниць є вдосконалення технології роботи, і, в першу чергу, з вагонним парком [1].

До основних процесів управління на залізничному транспорті відносяться операції з вантажними вагонами, пов'язані з навантаженням, сортуванням і формуванням, переміщенням, розвантаженням і регулюванням їх у порожньому стані.

Для ефективного управління в галузі створена та вдосконалюється автоматизована система АСК ВП УЗ – Є, яка перш за все спрямована на прийняття раціональних рішень щодо використання вагонних парків, щоб знизити транспортну складову в кінцевій ціні продукції, що має стимулювати виробництво вітчизняних товарів.

З іншого боку, і сам залізничний транспорт став активним учасником ринку транспортних послуг. Ефективна технологія роботи з парком вантажних вагонів робить його більш привабливим для клієнтури і сприяє залученню вантажопотоків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із завдань оперативного планування на рівні тактичного управління є завдання забезпечення станцій навантаження вагонами своєчасно і в потрібному обсязі. При здійсненні переміщень вагонів між станціями залізничного полігону постає задача пошуку раціональних маршрутів, якими б було можливо здійснити ці переміщення при мінімальних витратах матеріальних та часових ресурсів і в умовах обмеженої кількості локомотивів. У роботі [2] відмічається, що підвищити конкурентоспроможність залізниць Іспанії

можливо за рахунок пошуку нових маршрутів переміщення вантажів, особливо шляхом пропуску експортних вантажів. Доведено [3], що для забезпечення безпеки, екологічності, енергоефективності, конкурентоспроможності та високого рівня якості обслуговування клієнтів залізничного транспорту залізничний транспортний сектор повинен поширювати можливості передових технологій (Advanced Technologies – АТ). Використання зручних сучасних інформаційних систем [4] дозволить планувати переміщення рухомого складу в реальному часі, поширити доступ до баз даних та забезпечити безпеку і колективне управління базами даних. Взаємодію залізниць з під'їзними коліями та визначення топології мереж розглянуто у [5]. Основним критерієм ефективності прийнято максимальну техніко-економічну ефективність та забезпечення відповідного ризику, пов'язаного з експлуатацією залізниць. У статті [6] показано, що управління на залізничному транспорті має три основних рівні: стратегічний, тактичний та оперативний. В даній роботі наведені основні шляхи вирішення проблеми переміщення різних вантажів (Multicommodity Network Design) на оперативному рівні.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення роботи залізниці на базі раціонального розподілу порожніх вагонів під завантаження в місцях масового навантаження вагонів при інтеграції даної задачі в комплексну систему автоматизованих робочих місць оперативного та інженерно – технічного персоналу диспетчерського апарату дорожнього рівня. Реалізація цієї мети потребує постановки та вирішення таких основних задач:

- формалізація задачі визначення раціонального розподілу порожніх вагонів під завантаження в місцях масового навантаження вагонів;

- розробка нових функціональних задач, пов'язаних з реалізацією технології місцевої роботи та інтеграцією їх в комплексну систему автоматизованих робочих місць оперативного та інженерно-технічного персоналу даних технологічних комплексів.

Виклад основного матеріалу. Транспортна задача (або завдання прикріплення постачальників до споживачів), у науковій літературі часто звана транспортною задачею Хітчкок - Купманса, з'явилася одним з перших прикладів оптимізації на лінійних мережах і стала типовою для промислових фірм, що мають кілька підприємств, складів, ринків збуту і оптових баз.

Теоретичні дослідження порядку розподілу вагонопотоків на полігонах були проведені докторами технічних наук В.М. Акулінічевим, Є.В. Архангельським, К.А. Бернардом, Т.В. Бутько, М.І. Даньком, В.А. Буяновим, П.С. Грунтовим, М.Д. Гловайським, В.І. Некрашевичем, А.Т. Осьмініною, Є.А. Сотниковим та ін.

Формалізація даної задачі проводиться, як правило, при вирішенні планових завдань [7]. У даній роботі стратегічні рішення зводяться до вибору транспортних маршрутів, за якими вагони основних станцій доставляються в різні пункти призначення. У звичайній інтерпретації цієї моделі прийнято вважати, що на мережі залізниць є m станцій відправлення, на яких знаходяться вагони, готові до відправлення в n пунктів призначення. Передбачається, що i -та станція може відвантажити не більше S_i вагонів (наявні ресурси станції відправлення), а j -тій станції призначення потрібно не менше D_j виробів.

Витрати на перевезення вантажної одиниці з пункту відправлення i в пункт призначення j дорівнюють C_{ij} . Завдання полягає в тому, щоб мінімізувати транспортні витрати при перевезенні

вагонів, тобто знайти найбільш раціональний маршрут. Транспортними витратами можуть виступати тариф, відстань, час та ін.

Економіко-математичну модель вирішення даної задачі можна сформулювати наступним чином.

Відомий ряд станцій $(m(1, \dots, m))$, що відправляють вагони у кількості $A_i (A_1, \dots, A_i, \dots, A_m)$ і $n(1, \dots, n)$, станцій, яким необхідні вагони в кількості $B_j (B_1, \dots, B_i, \dots, B_n)$. Отже, відомі запаси і попит кожної із станцій. Відомі також витрати на переміщення одиниці продукції з кожної i -ї станції відправлення в кожену j -ту станцію призначення (C_{ij}). Потрібно знайти оптимальний варіант закріплення станцій призначення за станціями відправлення, який забезпечував би мінімум витрат на перевезення. Цільова функція буде мати [8]

$$F(\min) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} x_{ij}. \quad (1)$$

Обмеженнями є такі:

1) продукт з кожного пункту відправлення повинен бути повністю вивезений в пункти призначення

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = a_i; \quad (2)$$

2) попит кожної станції призначення повинен бути повністю задоволений

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = b_j; \quad (3)$$

3) обсяги перевезень повинні набувати позитивного значення

$$x_{ij} \geq 0; \quad (4)$$

4) сумарний обсяг виробництва даного продукту повинен дорівнювати сумарній

потребі, тобто модель повинна бути закритою, це є умовою її можливості розв'язання

$$\sum_{i=1}^m A_i = \sum_{j=1}^n B_j \quad (5)$$

Процес вирішення транспортної задачі оформлюється у вигляді таблиці-матриці (табл. 1).

Таблиця 1

Вихідні дані

	Врб	Дрн	Д	Жм	Кл	Мр	Мк	О-С	О	Плт	Хр	Шпт	Я	Внаявн
Врб	х	282	558	572	883	699	1160	964	250	341	947	610	545	159
Дрн	282	х	788	290	601	925	878	682	480	339	670	328	775	137
Дрн	557	788	х	1055	1366	234	1643	948	308	399	666	1093	80	177
Жм	572	290	1055	х	364	1141	641	392	770	629	660	260	1001	84
Кл	883	601	1366	364	х	1452	277	760	1081	940	228	273	1312	113
Мр	699	925	234	1141	1452	х	1729	1034	449	530	740	1179	154	201
Мк	1160	878	1643	641	277	1729	х	1055	470	551	761	1200	175	144
О-С	964	682	948	392	760	1034	1055	х	755	614	276	652	894	235
О	250	480	308	770	1081	449	470	755	х	141	633	808	295	155
Плт	341	339	399	629	940	530	551	614	141	х	499	667	376	249
Хр	947	670	666	660	228	740	761	276	633	499	х	826	586	128
Шпт	610	328	1093	260	273	1179	1200	652	808	667	826	х	1039	175
Я	545	775	80	1001	1312	154	175	894	295	376	586	1039	х	223
Впотр	147	168	212	179	89	103	127	225	164	232	117	198	291	

Необхідно знайти оптимальний план перевезень по маршруту Врб - Я, виключаючи норму зворотного руху. Критерій оптимальності – мінімальний обсяг перевезень, ваг.км.

Після застосування пошуку рішення у надбудові Microsoft Excel отримуємо результати рішення (табл. 2). Виділимо маршрути перевезень з отриманих результатів рішення. Для наочності зводимо у табл. 3.

Таблиця 2

Результати вирішення плану перевезення

	Врб	Дрн	Д	Жм	Кл	Мр	Мк	О-С	О	Плт	Хр	Шпт	Я	Вивез.	Залишок
Врб	х	82	0	0	0	0	0	0	0	77	0	0	0	159	0
Дрн	62											75		137	
Д						18							159	177	-1,4E-10
Жм								74				10		84	
Кл												113		13	2,84E-14
Мр			201											201	-6,5E-11
Мк					84								60	144	-5,7E-14
О-С				118							117			235	5,68E-14
О										155				155	-2,8E-14
Плт	85													249	
Хр								128						128	4,26E-14

Таблиця 3

Результати рішення по маршрутах перевезень

Маршрути перевезень	Добова кореспонденція вагонопотоків, ваг	Маршрути перевезень	Добова кореспонденція вагонопотоків, ваг
1	2	3	4
Врб - Дрн	82	О-Жм	118
Врб-Плт Півд.	77	О-Хр	117
Дрн-Врб	62	О-Плт.	155
Дрн-Шпт	75		
Д-Мр	18	Хр-О	128
Д-Я	159		
Жм-О Жм-Шпт	74	Шпт-Дрн	86
	10	Шпт-Жм	61
		Шпт-Кл	5
		Шпт-О	23
Кл-Шпт	113	Я-Д	11
		Я-Мр	85
		Я-Мк	127
Мк-Кл	84	Мр-Д	201
Мк-Я	60		

Мінімальний обсяг перевезень

$$\begin{aligned}
 F \min = & 82 \cdot 282 + 77 \cdot 341 + 62 \cdot 558 + 75 \cdot 328 + 18 \cdot 234 + 159 \cdot 80 + 74 \cdot 392 + 10 \cdot 260 + \\
 & + 113 \cdot 273 + 201 \cdot 234 + 84 \cdot 277 + 60 \cdot 175 + 118 \cdot 392 + 117 \cdot 276 + 155 \cdot 141 + 85 \cdot 341 + \\
 & + 164 \cdot 141 + 128 \cdot 276 + 86 \cdot 328 + 61 \cdot 260 + 5 \cdot 273 + 23 \cdot 652 + 11 \cdot 80 + \\
 & + 85 \cdot 154 + 127 \cdot 175 = 536120 \text{ (ваг.км)}
 \end{aligned}$$

Аналіз проводиться на основі даних «Звіту зі стійкості» та «Звіту за результатами» [9]. Аналіз допомагає проводити управлінське рішення, спрямоване на подальшу стратегію діяльності станцій. Нормована вартість показує, до якого значення потрібно зменшити витрати на перевезення, щоб невигідні маршрути стали вигідними. Наприклад, витрати на перевезення за маршрутом Врб-О слід зменшити на 22 ваг.км.

Тіньові ціни запасів постачальників є негативними числами, вони показують, як зменшуються загальні витрати при збільшенні дефіцитних запасів станцій

відправлення. Тіньові ціни потреб станцій призначення вказують, як збільшуються загальні витрати при збільшенні потреб [10].

Висновок з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Основними завданнями, що стоять перед залізничниками, є удосконалення методів управління та раціоналізація перевізного процесу, що спрямовані на скорочення експлуатаційних витрат та покращення експлуатаційних показників. У зв'язку із цим потрібно запроваджувати нові методи управління перевезеннями, заснованими на використанні сучасних інформаційних систем.

Список використаних джерел

1. Современные аспекты моделирования маршрутов перевозки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mosresurs.ru/library/articles/137.xhtml/>.
2. González, E.M. Analysis and Viability of Railway Exportation to Europe from the South of Spain [Text] / Elvira Maeso González, Guadalupe González Sánchez, Juan Miguel Morente Romero // Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 160, 19 December 2014, P. 264-273.
3. Jarašūnienė, A. Advanced Technologies Used by Lithuanian Railways [Text] / Aldona Jarašūnienė // Procedia Engineering, Volume 134, 2016, P. 263-267.
4. Geng, G. Scheduling railway freight cars [Text] / Gangyong Geng, Ling X Li // Knowledge-Based Systems, Volume 14, Issues 5–6, August 2001, P. 289-297.
5. Ferrari, P. The dynamics of modal split for freight transport [Text] / Paolo Ferrari // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 70, October 2014, P. 163-176.
6. Yaghini, M. Multicommodity Network Design Problem in Rail Freight Transportation Planning [Text] / Masoud Yaghini, Rahim Akhavan // Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 43, 2012, P. 728-739.
7. Малахова, О. А. Удосконалення перевезення вагонопотоків шляхом раціоналізації маршрутів [Текст] / О.А. Малахова, О.В. Шевченко // Технологический аудит и резервы производства. – 2013. - № 5/2 (13). – С. 33-36.
8. Математическая постановка транспортной задачи линейного программирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://works.tarefer.ru/100/100027/index.html#_Тoc55894331.
9. Microsoft поддержка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://support.microsoft.com/kb/843304#6>.
10. Цыганкова, С. А. Экономико-математические методы и модели [Электронный ресурс] / С.А. Цыганкова, О.Н. Литвинова. – Режим доступа: <http://softacademy.inpu.edu.ua/Programs/EMM/index.html>.

Рецензент д-р техн. наук, профессор С. С. Альошинський

Малахова Олена Анатоліївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 066-341-84-81.
E-mail: alena.mal31@gmail.com.

Харченко Наталія Василівна, слухач ІППК Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 066-319-76-27.

Malakhova Olena, cand. of tech. sc, assistant professor of management operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 050-027-24-07. E-mail: alena.mal31@gmail.com.
Kharchenko Natalia, the listener IPPK Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 066-319-76-27.

Стаття прийнята 11.07.2016 р.

УДК 656.02:656.085.1

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИЧИН ТРАНСПОРТНИХ ПОДІЙ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Канд. техн. наук Г. М. Сіконенко, С. С. Остапенко, М. А. Рупьова

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Канд. техн. наук Г. М. Сиконенко, С. С. Остапенко, М. А. Рупьова

ANALYSIS OF CAUSES OF TRAFFIC ACCIDENTS ON RAILWAYS

Cand. of Tech. Sc. G. M. Sikonenko, S.S. Ostapenko, M. A. Ruliova

У роботі проведено аналіз стану безпеки руху поїздів, виявлено основні проблеми та особливості функціонування транспортної інфраструктури. Показано, що принцип забезпечення безпеки руху на основі управлінських, нормативних, оптимізаційних та інформаційних технологій повинен мати пріоритетне значення.

Ключові слова: безпека руху, транспортна подія, перевезення, вантаж, небезпечні вантажі, інформаційна технологія.

В работе проведен анализ состояния безопасности движения поездов, выявлены основные проблемы и особенности функционирования транспортной инфраструктуры. Показано, что принцип обеспечения безопасности движения на основе управленческих, нормативных, оптимизационных и информационных технологий должен иметь приоритетное значение.

Ключевые слова: безопасность движения, транспортное происшествие, перевозки, груз, опасные грузы, информационная технология.

The article analyzed the safety of trains, identified the main problems and functioning of the transport infrastructure. It is shown that the principle of ensuring safety on the basis of administrative, regulatory, optimization and information should have priority.

The formalization of the methodology and the development of specific methods and assessment and risk analysis with the subsequent risk adjustment mechanisms will improve security trains, especially the transport of dangerous goods.

One of the ways to improve the automated management rail transport systems - elimination of human factors in the causes of emergencies, relief labor railway workers associated with the carriage of dangerous goods and the management of transportation process.

To implement the above listed analyzes the functionality of all available information and automated systems, the work of all involved in the transportation process officers, duties of consignors and consignees of all regulations and rules related to the transport of dangerous goods.

Keywords: traffic safety, traffic accident, transportation, cargo, dangerous goods, information technology.

Вступ. Транспорт України є найважливішою складовою частиною виробничої

інфраструктури, а його розвиток – одна з пріоритетних задач держави.

Одним із чинників, що впливають на розвиток транспортної системи, є безпека перевезень.

Ринок транспортних послуг не гарантує єдності інтересів споживачів і залізниці, а об'єднувальні функції мають відводитися державним структурам, у задачі яких входять розмежування правового простору, а також проведення ефективних контролюючих та регулюючих заходів.

Стратегія розвитку транспортних послуг має бути спрямована на формування та підтримку конкуренції як на внутрішньому, так і міжнародному ринку транспортних послуг, на введення законодавчих норм прямої дії та механізмів, що гарантують виконання транспортними підприємствами зобов'язань щодо схоронності вантажів та безпеки працівників [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В основу розвитку і удосконалення вантажних перевезень необхідно закладати нові технології перевізного процесу, що забезпечують мінімізацію витрат на перевезення, ресурсозбереження, екологічну безпеку і сервісне транспортне обслуговування. При їх розробленні необхідно враховувати транспортну логістику й застосування засобів електроніки та обчислювальної техніки. Аналітичні основи для планування залізничних перевезень, у тому числі і небезпечних вантажів, наведені у роботі [2]. У статті [3] проведено аналіз аварій на залізничному транспорті у вигляді графа - дерева. Обробку транспортних подій запропоновано проводити з використанням інтуїціоністської теорії нечітких множин (ITFNs). На кількість транспортних подій впливає і розташування вантажів у вагонах. Особливо важливим це є при перевезеннях небезпечних вантажів (DG). Тому досліджені взаємозв'язки між розташуванням DG у вантажних вагонах та сходами вагонів з рейок при різних видах відправлень [4]. Залізничний транспорт є більш екологічно безпечним у порівнянні із

автомобільним [5], але розвиток залізничної інфраструктури в Європі не дає змоги конкурувати на невеликих відстанях перевезень (до 550 км) із автомобільними шляхами. Однак кількість транспортних подій за участю автомобільного транспорту значно перевищує аналогічні події за участю залізничників. У статті [6] зменшити кількість транспортних подій пропонується за допомогою розроблення системи знань та інтеграції в експертну систему управління вантажними залізничними перевезеннями ESRFL.

Мета і задачі дослідження. Метою даного дослідження є удосконалення перевезень на залізничному транспорті за умови скорочення випадків браків у роботі. Дана мета потребує вирішення таких задач:

- аналіз випадків браків у роботі, в тому числі з вини різних господарств;
- розроблення пропозицій щодо підвищення безпеки при перевезеннях вантажів на залізничному транспорті.

Виклад основного матеріалу. Методи підвищення якості транспортного обслуговування і ефективності перевезень можна розділити на чотири групи [7].

1. Технічні:
 - підвищення конструктивної надійності рухомого складу;
 - підвищення технічної готовності парку вагонів під навантаження;
 - удосконалення матеріально-технічного забезпечення виробництва.
2. Організаційні:
 - раціональне завантаження інфраструктури;
 - удосконалення структури управління перевезеннями;
 - оптимізація кількості рухомого складу, тривалості стоянок і зупинок, часу на просування;
 - удосконалення структури та поновлення рухомого складу.
3. Економічні:
 - удосконалення системи фондоутворення з урахуванням якості транспортного обслуговування населення;

– удосконалення матеріального стимулювання за якість роботи;
 – удосконалення системи планування перевезень.

4. Соціальні:

– підвищення кваліфікації працівників;
 – підвищення технічної та трудової дисципліни;

– поліпшення умов праці і відпочинку працівників.

На залізницях щомісячно (щоквартально) проводяться аналіз стану безпеки з виявленням причин [8]. Так, аналіз кількості транспортних подій у 2015 році свідчить про їх стійкий характер. Результати наведено на рисунку.

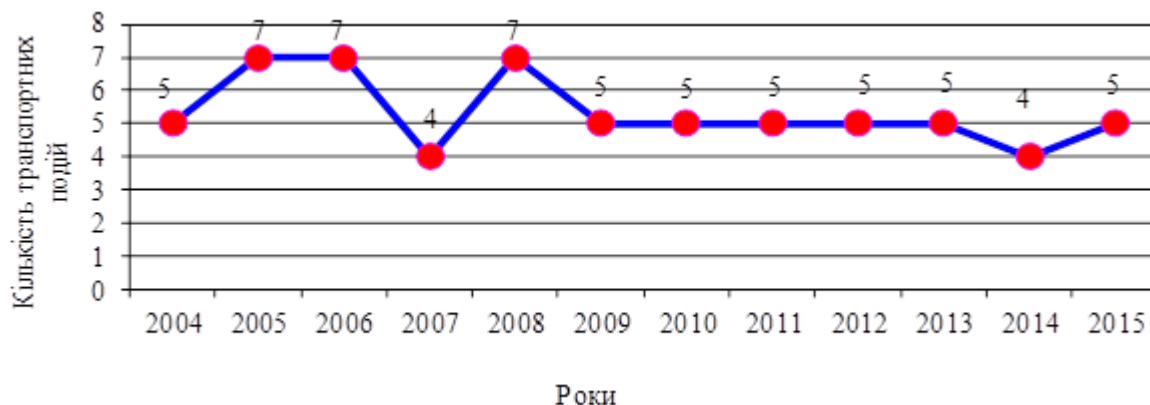


Рис. Діаграма розподілу транспортних подій за підсумками роботи 12 місяців за роками

Причинами транспортних подій у 2015 році стало:

– порушення складачем поїздів вимог п. 15.21 ПТЕ у частині надійного закріплення від виходу рухомого складу, п. 16.4.12 (б) Інструкції ЦД-0058 у частині відсутності контролю за надійністю закріплення групи вагонів, яка залишилась на колії приймально-відправного парку, п. 6.1.1.5 Інструкції ЦД-0067 у частині організації маневрової роботи з незабезпеченням безпеки руху та збереження рухомого складу;

– порушення складачем поїздів станції вимог п. 5.3 (в) Інструкції ЦД-0067 у частині невиконання обов’язку переконання у відсутності перешкод для пересування вагонів (гальмових башмаків під колесами вагонів тощо), п. 2 додатка 14 до Інструкції ЦД-0058 у частині повторення завдання маневрового диспетчера на виконання маневрів у неповному обсязі, вимог п. 6.1.1.2

Інструкції ЦД-0067 у частині незабезпечення точного та своєчасного виконання плану-завдання щодо виконання маневрової роботи;

– порушення маневровим диспетчером, який виконував обов’язки чергового по сортувальній гірці, вимог пункту п. 8.2.3 Інструкції з роботи Сортувальної гірки станції у частині надання оператору чергового по сортувальній гірці неправильної інформації про характеристику відчепа.

За підсумками роботи у I кварталі 2016 року допущено 3 транспортні події сходження рухомого складу при виконанні маневрової роботи. Порівняльна характеристика транспортних подій та аналіз причин наведено у табл. 1 та 2.

Професійні навички та стаж роботи значно впливають на результативність. Так, найбільше транспортних подій сталося за участю працівників зі стажем роботи до 1 року (табл. 3).

Таблиця 1

Класифікація транспортних подій (2016/2015 роки)

Класифікація транспортних подій	Кількість
	2016/2015
Інциденти	
Сходження рухомого складу залізничного транспорту під час виконання маневрів	1/3
Усього інцидентів	1/3
Усього транспортних подій	1/3

Таблиця 2

Розподіл транспортних подій за причинами (2016/2015 роки)

№ з/п	Причини транспортних подій	2016/2015
1	Порушення вимог ПТЕ, ІРП у частині надійного закріплення від виходу рухомого складу	0/1
2	Невилучення гальмового башмака з-під рухомого складу	0/1
3	Порушення вимог Інструкції з роботи сортувальної гірки у частині порядку гальмування відчепів	1/1
Усього		1/3

Таблиця 3

Розподіл транспортних подій за професіями та стажем роботи (2016/2015 роки)

Професія (посада)	Кількість працівників 2016/2015	У тому числі за стажем роботи (2016/2015)						
		До 1	Від 1 до 5	Від 5 до 10	Від 10 до 15	Від 15 до 20	Від 20 до 25	Понад 25
ДСЦ	1/0	-	-	-	1/0	-	-	-
Складач поїздів	0/2	0/2	-	-	-	-	-	-
ДСПГ	1/1	0/1	1/0	-	-	-	-	-
ДСПГО	1/0	1/0	-	-	-	-	-	-
Усього	3/3	1/3	1/0	-	1/0	-	-	-

Таким чином, аналіз довів, що основними причинами небережності вантажів є невиконання нормативних актів, недостатній професійний досвід та неузгодженість дій працівників.

Крім зазначеного, можна виділити такі напрямки розвитку та удосконалення перевезення вантажів:

– перехід на систему гарантованого забезпечення перевезень за договорами і довгостроковими контрактами, розроб-

лення і впровадження автоматизованої системи контролю за їх виконанням;

– проведення гнучкої тарифної політики, вдосконалення системи оплати перевезень вантажів, електронний обмін документами між залізницею і вантажо-відправниками, вантажоодержувачами, створення централізованої мережевої бази даних про них;

– тісний контакт з іншими видами транспорту, створення змішаних залізнично-морських (річкових) компаній;

– створення нових транспортних коридорів;

– забезпечення збереження вантажів, розроблення і впровадження нових запірнопломбувальних пристроїв, у тому числі і електронних, впровадження технічних засобів спостереження і контролю за вантажами, що перевозяться і зберігаються.

Для виключення впливу людського фактора необхідним є перехід до єдиної інформаційно-керуючої системи [9], яка б за функціональними можливостями об'єднувала наявні на сьогодні існуючі інформаційно-керуючі та інформаційно-довідкові системи, а також розширювала сфери їх застосування та перелік покладених на них завдань.

Особливою номенклатурою вантажів є небезпечні вантажі. Обсяги перевезень небезпечних вантажів залізничним транспортом складають більше 25 % від загального і щорічно зростають. Перелік небезпечних вантажів, що пред'являються до перевезення, налічує понад тисячу найменувань. Через особливі властивості небезпечних вантажів їх перевезення вимагає постійної уваги і безперервного контролю. Людині важко постійно зберігати увагу на високому рівні, тим більше, коли необхідно працювати з величезним потоками різноманітних даних. У цьому випадку на допомогу стають інформаційні системи, адаптовані під конкретні завдання.

Своєчасні і правильні дії осіб, що приймають рішення, можуть зберегти вантаж і життя людей, а швидка ліквідація

наслідків аварійних ситуацій, правильне використання наявних технічних засобів, створення безпечних умов роботи в зоні аварії, надання першої допомоги потерпілим залежать, перш за все, від правильної оцінки обстановки, що склалася, знань небезпечних властивостей вантажів, що перебувають у зоні аварій.

Тому на залізничному транспорті мають удосконалюватися технології перевезень небезпечних вантажів, інформаційна система, що забезпечує швидке сповіщення відповідних служб про небезпеку при аварійних ситуаціях, а також технологія безпечної ліквідації наслідків аварій і відновлення руху поїздів.

Удосконалення інформаційних технологій з перевезення небезпечних вантажів – перспективний напрямок підвищення безпеки. Воно не вимагає значних капітальних вкладень і експлуатаційних витрат, оскільки може здійснюватися за рахунок інтенсифікації використання вже застосовуваних технічних засобів. Поточна технічна оснащеність робочих місць залізничників сучасною обчислювальною технікою і наявна високошвидкісна мережа передачі даних дає змогу без значних витрат забезпечити впровадження і функціонування майже будь-якої інформаційної технології.

Висновок з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. У зв'язку з реформуванням залізничного транспорту, збільшенням номенклатури і обсягів перевезення небезпечних вантажів, прискоренням процесу інтеграції України до європейської економічної системи, стан системи безпечного перевезення вантажів, у тому числі і небезпечних, залізничним транспортом має перейти на більш високий рівень. Базисом для цього мають стати передові наукові досягнення, використання сучасних технологій, орієнтованих на формування єдиного інформаційного простору за технологією перевезень небезпечних вантажів та ліквідації надзвичайних ситуацій з ними.

Список використаних джерел

1. Мороз, Д. Г. Совершенствование методов обоснования требований по регулированию автомобильных перевозок опасных грузов [Электронный ресурс] / Д.Г.Мороз. – Режим доступа: <http://tekhnosfera.com/view/313799/a?#?page=1>.
2. Verma, M. A lead-time based approach for planning rail–truck intermodal transportation of dangerous goods [Text] / Manish Verma, Vedat Verter // European Journal of Operational Research, Volume 202, Issue 3, 1 May 2010, P. 696-706.
3. Liu, P. Fault tree analysis combined with quantitative analysis for high-speed railway accidents [Text] / Pei Liu, Lixing Yang, Ziyou Gao, Shukai Li, Yuan Gao // Safety Science, Volume 79, November 2015, P. 344-357.
4. Bagheri, M. Reducing the threat of in-transit derailments involving dangerous goods through effective placement along the train consist [Text] / Morteza Bagheri, Frank Saccomanno, Shojaeddin Chenouri, Liping Fu // Accident Analysis & Prevention, Volume 43, Issue 3, May 2011, P. 613-620.
5. Rich, J. On structural inelasticity of modal substitution in freight transport [Text] / J. Rich, O. Kveiborg, C.O. Hansen // Journal of Transport Geography, Volume 19, Issue 1, January 2011, P. 134-146.
6. Geng, G. Applying AI to railway freight loading [Text] / Gangyong Geng, Hong Zhang, Jun Zhu, Cuihao Zhong // Expert Systems with Applications, Volume 16, Issue 1, January 1999, P. 63-72.
7. Иванов, Ю. М. Совершенствование международных и национальных регламентов безопасной транспортировки опасных грузов [Электронный ресурс] / Ю.М. Иванов. – Режим доступа: http://rostransport.com/science_transport/pdf/2/16-19.pdf.
8. Аналіз стану безпеки руху поїздів у господарстві перевезень Одеської залізниці за підсумками роботи за 2015-16 р. [Рукопис] / Одеса, 2016. – 22 с.
9. Глобальная система оповещения (ГСО) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.iname.com/sensor.htm.

Рецензент д-р техн. наук, професор Є. С. Альошинський

Сіконенко Григорій Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 050-027-24-07.
E-mail: gregsik79@gmail.com.

Остапенко Сергій Сергійович, слухач ІППК Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 050-294-31-71. E-mail: ostapenko_ss@ukr.net.

Руллова Марина Артемівна, студентка факультету управління процесами перевезень Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 066-636-24-09.

Sikonenko Gregory, Cand. of Tech. Sc, assistant professor of management operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 050-027-24-07. E-mail: gregsik79@gmail.com.

Ostapenko Sergey, the listener IPPK Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 050-294-31-71. E-mail: ostapenko_ss@ukr.net.

Ruliova Maryna, student of uparvlinnya transport processes Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 066-636-24-09.

Стаття прийнята 11.07.2016 р.

УДК 656.052.432

НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ДІЛЬНИЦЬ ВИСОКОШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЕЙ УКРАЇНИ

Д-р техн. наук Є. С. Альошинський, магістрант І. Г. Стасюк

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ УЧАСТКОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ УКРАИНЫ

Д-р тех. наук Е. С. Алёшинский, магистрант И. Г. Стасюк

INCREASING PRODUCTIVITY DIRECTION OF UKRAINE RAILWAYS HIGH-SPEED LINES

Dr. of tehn. E. Alyoshinsky, master student I. Stasiuk

Розглянуто питання щодо удосконалення залізничних магістралей України за рахунок електрифікації ділянок мережі ВШМ. Проаналізовано проблеми нераціонального простою і перепробігу рухомого складу на лінії ВШМ. Запропоновано варіанти раціоналізації часу прямування пасажирських поїздів.

Ключові слова: високошвидкісні магістралі, електрифікація, контактна мережа, раціоналізація часу.

Рассмотрены вопросы по усовершенствованию железнодорожных магистралей Украины за счет электрификации участков сети ВСМ. Проведен анализ проблемы нерационального простоя и перепробега подвижного состава на линии ВСМ. Предложены варианты рационализации времени следования скоростных пассажирских поездов.

Ключевые слова: высокоскоростные магистрали, электрификация, контактная сеть, рационализация времени.

This article discusses questions on improving railways of Ukraine through railways high-speed lines electrification. Discusses same problems unsustainable the standing and the rerunning trains of the high-speed lines. Invited options optimization and decrease time to cross of high-speed passenger trains.

Keywords: high speed rail, electrification, contact line, optimization time.

Вступ. В умовах нестачі інвестиційної привабливості довгострокових проектів поряд з виконанням різноманітних зовнішніх джерел фінансових ресурсів необхідно одночасно вести пошук додаткових можливостей з підвищення прибутку залізниці як основного внутрішнього джерела власних коштів, що можуть бути спрямовані на поточне відновлення та розвиток основних засобів залізничного транспорту. В цих умовах перспективи

розвитку та підвищення ефективності функціонування залізничної галузі України можуть визначатися реалізацією проекту впровадження швидкісного руху.

Високошвидкісний залізничний транспорт (ВШЗТ) забезпечує рух поїздів зі швидкістю понад 250 км/год по спеціалізованих коліях або зі швидкістю понад 200 км/год по існуючих коліях. Рух таких поїздів, як правило, здійснюється по високошвидкісних магістралях (ВШМ) [1, 6, 14, 15]. На ВШЗТ використовуються

технології, аналогічні стандартним технологіям залізничного транспорту. Відмінності ж обумовлені перш за все високою швидкістю руху, що тягне за собою зростання таких параметрів, як відцентрові сили (виникають при проходженні поїздом кривих дільниць колії, можуть викликати стан дискомфорту у пасажирів) і опір руху.

Ключові технічні проблеми високошвидкісних залізничних магістралей все більше концентруються навколо питань підвищення максимальної та маршрутної швидкості з визначенням її оптимальної межі з позицій безпеки, привабливості для пасажирів, енергетичного балансу, капітальних вкладень, експлуатаційних витрат, отримання максимальних доходів, а також (що стає все більш актуальним) охорони навколишнього середовища [3].

В цілому підвищення швидкості руху поїздів обмежують такі фактори:

- аеродинаміка;
- механічний опір колії;
- тягові та гальмівні потужності;
- динамічна стійкість руху;
- відсутність відповідного рухомого складу;
- відсутність електрифікації окремих дільниць ліній ВШМ.

Оновлення рухомого складу залізниць за рахунок коштів державного бюджету через обмежені можливості практично не відбувається. В сучасних умовах господарювання залізничного транспорту для оновлення основних засобів залізниць доцільно використовувати змішане фінансування, а саме – фінансування розвитку залізниць за рахунок власних коштів із зовнішніх джерел [1,14].

Враховуючи проблеми залізничної галузі, які пов'язані з необхідністю оновлення та модернізації, а також з необхідністю реалізації масштабних будівельних інвестиційних проєктів залізничної інфраструктури, виникає проблема обґрунтування розвитку інфраструктури залізничного транспорту

України. Відповідно до світових стандартів це дозволить внести пропозиції відносно впровадження сучасних принципів його функціонування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато вчених займалися питаннями доцільності впровадження швидкісного руху на існуючих залізничних лініях при їх модернізації [7, 8, 12]. У роботі В.Ю. Козлова [9] було проведено дослідження щодо досягнення максимальних швидкостей за умови суміщеного руху вантажних і пасажирських поїздів та встановлення раціонального числа швидкісних пасажирських поїздів.

У роботі проф. І.Т. Козлова [13] проведено аналіз можливих реконструктивних заходів щодо збільшення пропускної спроможності залізниць, встановлені аналітичні залежності, що визначають капітальні вкладення і експлуатаційні витрати при різних схемах розвитку залізничних ліній, розроблені алгоритми вибору оптимальної схеми етапного розвитку ліній з використанням методів математичного аналізу (метод ітерації, метод градієнтного спуску, метод спуску по координатній сітці).

Проф. І.В. Турбіним був запропонований метод [8,10] поетапної реалізації заходів щодо зняття обмежень швидкості руху поїздів з урахуванням виділених на кожен рік матеріальних засобів.

Передача частини поїздопотоків на кружний рух є одним із способів підвищення пропускної спроможності лінії. У дослідженні Н.А. Воробйова, Б.В. Лашутіна і В.К. Суворова [11] подана методика оптимального розподілу пасажирських і вантажних потоків на паралельних залізничних лініях, заснована на методі динамічного програмування.

Мета статті. Аналіз роботи дільниці Білопілля – Люботин після впровадження електрифікації для швидкісного пасажирського руху.

Основна частина. Основними напрямками реформування залізничного

транспорту в частині основних засобів, що вимагають значних сум фінансування, крім модернізації рухомого складу та основних технічних засобів інфраструктури, є електрифікація залізниць.

Для прикладу розглянуто проект електрифікації дільниці Білопілля – Люботин, що обслуговує швидкісні поїзди №776/775 сполученням Київ-Суми-Харків.

На даний час загальними вимогами до технології роботи зазначеної дільниці є узгодженість і безперервність всіх окремих технологічних операцій з приймання і відправлення пасажирських поїздів, а також з підготовки составів до чергового рейсу. Це дозволяє до мінімуму скоротити загальну тривалість операцій з поїздами і складами завдяки максимальному поєднанню їх у часі і мінімальним строкам виконання на основі правильного розміщення обслуговуючого персоналу і застосування автоматизації та механізації робіт.

Одним з напрямків підвищення експлуатаційних характеристик ліній ВШМ України (як зазначено вище) є їх електрифікація, у зв'язку з тим, що контактна мережа є найважливішим елементом системи тягового електропостачання електричного транспорту. Від надійної роботи контактної мережі багато в чому залежить успішне виконання основної функції залізничного транспорту – своєчасне перевезення пасажирів і вантажів відповідно до заданого графіка руху.

Головне завдання контактної мережі – передача електроенергії рухомому складу за рахунок надійного, економічного та екологічно чистого струмознімання в розрахункових метеорологічних умовах при встановлених швидкостях руху [2].

Основними елементами контактної мережі з контактною підвіскою є дрти контактної мережі (контактний провід, несучий трос, підсилюючий провід і т. ін.), опори, що підтримують пристрої (консоли, гнучкі поперечки і жорсткі поперечки), та ізолятори.

Для проектування контактної мережі необхідно розрахувати загальну довжину і марку проводів на зазначеній проектній дільниці. Виходячи з результатів розрахунків системи тягового електропостачання, а також тягових розрахунків визначити тип контактної підвіски відповідно до максимальних швидкостей руху електрорухомого складу та інших умов струмознімання; знайти довжини прольоту; вибрати довжину анкерних ділянок, типи опор і підтримуючих пристроїв для перегонів; розробити конструкції контактної мережі в штучних спорудах; розмістити опори і скласти плани контактної мережі на станціях і перегонах з узгодженням зигзагів проводів і урахуванням виконання повітряних стрілок і елементів секціонування контактної мережі.

Тягові двигуни постійного струму, що застосовуються в електровозах при системі постійного і однофазного струму, не мають принципових відмінностей за конструкцією від тягових двигунів тепловозів з електропередачею. Але зазвичай їх розраховують на більшу напругу і менший струм. Отже, характеристика їх обмоток буде інша. У тепловозах потужність тягових двигунів обмежується потужністю дизеля, а в електровозах – умовами зчеплення і іншими показниками. Вони забезпечують безіскрове знімання струму при дуже великих швидкостях руху, добре вписуються в контактну мережу, не вимагають перестановки при зміні напрямку руху, управління ними може бути ручне й дистанційне.

Під час проектування пристроїв та систем електропостачання залізниць необхідно використовувати результати тягових розрахунків, що дозволить визначити витрати електроенергії для поїздів різних типів та маси в залежності від профілю колії даної дільниці [5].

Для розрахунку витрат на реалізацію проекту електрифікації визначено вихідні дані, що зведені до таблиці.

Таблиця

Загальна характеристика проектної електрифікації ділянки Білопіль-Люботин

Параметри ділянки	Умовне позначення	Характеристика
Система струму		змінний
Довжина ділянки, що електрифікується, км	L	230 км
Профіль колії		не рівнинний
Тип електровоза пасажирського		ЧС4, ДС3, ВЛ82М ЧС8
Маса пасажирського потяга, т	$Q_{\text{пас}}$	1280
Число пар пасажирських поїздів за добу	$N_{\text{пас}}$	15
Питома витрата електроенергії, Вт·год/ (ткм·брутто)	$w_{\text{пас}}$	20,9
Технічна швидкість, км/год	$V_{\text{пас}}$	106

На підставі вихідних даних проведено розрахунки капітальних та експлуатаційних витрат на реалізацію проекту електрифікації та можливого економічного ефекту від запропонованих заходів.

Визначено обіг пасажирських перевезень

$$\sum pl_{\text{пас}} = 2 \cdot N_{\text{пас}} \cdot 365 \cdot Q_{\text{пас}} \cdot L \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{пас}}$ - маса пасажирського поїзда;

$N_{\text{пас}}$ - кількість пар пасажирських поїздів за добу.

$$\begin{aligned} \sum pl_{\text{пас}} &= 2 \cdot 15 \cdot 365 \cdot 1280 \cdot 230 \cdot 10^{-6} = \\ &= 3223,68 \text{ млн ткм брутто.} \end{aligned}$$

Витрата електроенергії на тягу поїздів складає

$$W_{\text{т.рік}} = (\sum pl_{\text{пас}} \cdot w_{\text{пас}}), \quad (2)$$

$$W_{\text{т.рік}} = 67,37 \cdot 1,08 \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 0,97 \cdot 1,11 = 99,1 \text{ млн} \cdot \text{кВт} \cdot \text{год.}$$

Далі визначено середньодобову витрату електроенергії на тягу поїздів

де $W_{\text{т.рік}}$ – питома витрата електроенергії на тягу поїздів за рік.

$$W_{\text{т.рік}} = (3223,68 \cdot 20,9) \cdot 10^{-3} = 67,37 \text{ млн} \cdot \text{кВт} \cdot \text{год.}$$

Загальне електроспоживання на тягу поїздів визначається як

$$W_{\text{т.рік}} = W_{\text{т.рік}} \cdot k_{\text{д}} \cdot k_{\text{нм}} \cdot k_{\text{з}} \cdot k_{\text{д}} \cdot k_{\text{и}}, \quad (3)$$

де $k_{\text{д}}$ – коефіцієнт, що враховує додаткове електроспоживання на власні потреби електровозів і їх маневри, $k_{\text{д}}=1,08$;

$k_{\text{нм}}$ – коефіцієнт місячної нерівномірності руху, $k_{\text{нм}}=1,1-1,65$;

$k_{\text{з}}$ – коефіцієнт, що враховує електроспоживання в зимових умовах (враховувати лише в зимових умовах), $k_{\text{з}}=1,15$;

$k_{\text{д}}$ – коефіцієнт, що враховує перехід від середнього значення випрямленого струму до діючого значення перемінного струму, $k_{\text{д}}=0,97$;

$k_{\text{и}}$ – відношення діючого значення напруги первинної обмотки трансформатора електровоза до середнього значення випрямленої напруги, $k_{\text{и}}=1,11$.

$$W_{\text{т}} = K_{\text{мп}} \cdot K_{\text{нм}} \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot \sum N_i Q_i w_i; \quad (4)$$

де $K_{мп}$ – коефіцієнт, що враховує витрати електроенергії при маневровій роботі, $K_{мп}=1,1$;
 $K_{нм}$ – коефіцієнт місячної нерівномірності руху, $K_{нм}=1,1-1,15$;

N_i – добове число поїздів кожного типу;
 Q_i – маса поїзда кожного типу, т;
 w_i – питома витрата електроенергії на тягу поїздів, Вт·год/(ткм брутто).

$$W_T = 1,1 \cdot 1,12 \cdot 230 \cdot 10^{-3} \cdot (1280 \cdot 15 \cdot 20,9) = 113,70 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Визначено витрату електроенергії на тягу поїздів за рік

$$W'_{річ} = 163,70 \cdot 10^3 \cdot 365 = 59,75 \text{ млн кг} \cdot \text{год.}$$

$$W'_{річ} = W_T \cdot 365, \quad (5)$$

Грошові витрати на електроенергію визначаються як

$$W'_{річ} = 113,70 \cdot 10^3 \cdot 365 = 415 \text{ млн. кВт} \cdot \text{год}$$

$$E_{п} = W_{річ} \cdot C_{1кВт}; \quad (9)$$

Загальні грошові витрати на електроенергію визначено як

де $C_{1кВт}$ – вартість 1 кВт електроенергії для підприємства, $C_{1кВт}=22,35$ грн;

$$E_{ел} = W_{річ} \cdot C_{1кВт} \quad (6)$$

$$E_{п} = 59,750 \cdot 10^3 \cdot 22,35 = 1335423675 \text{ грн.}$$

де $C_{1кВт}$ – вартість 1кВт електроенергії для підприємства, $C_{1кВт}=156,82$ грн/кВт·год;
 $E_{ел} = 415000000 \cdot 156,82 = 65080300000$ грн·р.

Сума капітальних вкладень для проектування електрифікації складає

$$K = C \cdot L; \quad (10)$$

Визначено середньодобову витрату на паливо для тепловозної тяги

де C – вартість електрифікації 1 км колій становить 2,1 млн грн.

$$W_{т.п} = K_{мп.п} \cdot K_{нм} \cdot L \cdot 10^{-3} \cdot \sum N_i Q_j w_j, \quad (7)$$

Тоді затрати на будівництво електромережі складатимуть:

де $K_{мп.п}$ – коефіцієнт, що враховує витрати на паливо при маневровій роботі, $K_{мп.п}=1,08$;

$$K = 2,1 \cdot 230 = 483 \text{ млн грн.}$$

Q_j – маса поїзда кожного типу з тепловозною тягою, $Q_j=773$ т;

На наступному етапі необхідно визначити ефективність запропонованих впроваджень.

w_j – питома витрата палива на тягу поїздів, $w_j=5,08$ кг/ткм брутто.

Завдяки введенню електрифікації відбудеться раціоналізація часу на маршруті прямування поїздів. Для прикладу розглянуто пару пасажирських поїздів №776/775 сполученням Київ-Суми-Харків. Час відправлення зі станції Суми о 5 год 36 хв, час прибуття на станцію Харків-Пас. о 8 год 57 хв. Загальний час прямування поїзда 3 год 35 хв. Час відправлення зі стації Люботин о 8 год 21 хв, час прибуття на станцію Люботин о

$$W_{т.п} = 1,08 \cdot 1,13 \cdot 230 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 773 \cdot 5,08 = 163,70 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{год.}$$

Визначено витрати палива на тягу поїздів за рік, що складатимуть

$$W'_{річ} = W_{т.п} \cdot 365; \quad (8)$$

7 год 45 хв, з зупинкою протягом 36 хв. Під час зупинки поїзда відбувається причеплення до поїзного локомотива з тепловозною тягою локомотива на електричній тязі.

Якщо побудувати контактну мережу на даній ділянці, можна позбутись зайвого простою пасажирських вагонів та зайвих перепробігів локомотивів (рисунок).

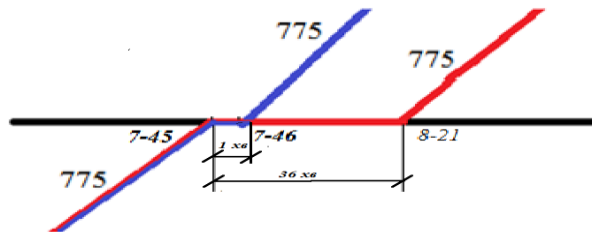


Рис. Економія часу за рахунок відсутності операцій з перечеплення поїзного локомотива на станції Люботин

Також в майбутньому з'являється можливість збільшити швидкість прямування поїздів ВШМ по існуючих коліях до 160-200 км/год за рахунок відсутності необхідності виконання операцій зі зміни локомотивів, а також скорочення часу виконання супровідних допоміжних й підготовчих операцій по прибутті поїзда на станцію.

Перед кожною країною, яка має намір ввести високошвидкісні магістралі (ВШМ), стає вибір: який тип експлуатаційної моделі застосувати, і кожна з них обирає свою концепцію будівництва або модернізації (порівнюючи витрати), виходячи з власних потреб. Розрізняють чотири типи експлуатаційних моделей [15].

1. Ексклюзивна модель експлуатації характеризується повним відокремленням ВШМ від традиційних магістралей. Використовується в Японії, де основною причиною розвитку системи високошвидкісної залізниці було те, що звичайні лінії досягли своїх меж потужності.

2. Змішана високошвидкісна модель. Характеризується тим, що швидкісний поїзд може працювати на спеціально побудованих нових лініях або на модернізованих сегментах звичайних ліній. Витрати на будівництво значно знижені. Застосовується на французьких лініях у

поїздах TGV, де високошвидкісні поїзди в основному йдуть по нових високошвидкісних лініях, але і використовуються на звичайних лініях в районах, де дублювання було недоцільним (при підходах до вокзалів в центрі міста).

3. Змішана традиційна модель. Передбачає пропуск деяких звичайних поїздів по ВШМ (Іспанія).

4. Повністю змішана модель. Ця модель використовується для системи ICE (Німеччина), де високошвидкісні поїзди використовують модернізовані звичайні лінії, а вантажні поїзди використовують резервну пропускну спроможність на високошвидкісних лініях в нічний час, тобто високошвидкісні і звичайні поїзди користуються інфраструктурою один одного.

Кожна модель експлуатації має свої переваги і недоліки. Ексклюзивна та змішана високошвидкісні моделі дозволяють більш інтенсивно використовувати інфраструктуру ВШМ, в той час як інші моделі повинні враховувати, що (за винятком багатокількісних ділянок ліній) повільні поїзди займають більше часу для проходження ділянки, що зменшує її пропускну спроможність [15].

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у

даному напрямку. Таким чином, завдяки реалізації проекту щодо електрифікації розглянутого напрямку дільниці ВШМ можна досягти суттєвих економічних та соціальних результатів. Зокрема:

- уникнути зайвої маневрової роботи на станціях Ворожба, Білопілля та Люботин;

- зменшити зайві перепробіги локомотивів, що у свою чергу сприятиме економії коштів та часу;

- зменшити час простою пасажирських вагонів в очікуванні заміни локомотива та локомотивної бригади на зазначених станціях;

- зменшити час перебування пасажирів в дорозі кожного рейсу за рахунок збільшення загальної середньої маршрутної швидкості на перегонах та скорочення простоїв на проміжних станціях напрямку прямування поїздів ВШМ мінімум на 35 хв на всіх станціях причеплення локомотивів та зміни локомотивної бригади;

- отримати суттєвий соціальний ефект за рахунок скорочення загального часу прямування пасажирських поїздів сполученням Київ-Суми-Харків приблизно на 17,3%.

Список використаних джерел

1. Офіційний сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.uz.gov.ua.
2. Бондарев, Н. А. Контактная сеть [Текст] / Н.А. Бондарев, В.С. Чекулаев. – М.: Маршрут, 2009. – 590 с.
3. Пащенко, Ю. Є. Інтегральна ефективність швидкісних залізничних магістралей [Текст]: монографія / Ю.Є. Пащенко, М.Ю. Гончаров, Й.М. Кранц [та ін.]; за ред. С.І. Дорогунцова. – К.: РВПС України НАН України, 2005. – 266 с.
4. Матвийчук, Е. Н. Скоростное железнодорожное движение. Перспективы развития в Украине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.masters.donntu.edu.ua/2008/kita/matviychuk/in d/index.htm](http://www.masters.donntu.edu.ua/2008/kita/matviychuk/in%20d/index.htm).
5. Фрайфельд, А. И. Проектирование контактной сети [Текст] / А.И. Фрайфельд. – М.: Транспорт, 1984. – 328 с.
6. High speed rail: Fast track to sustainable mobility. – 2012. – 36 p.
7. Савельев, В. Г. Организационно-экономические условия формирования системы скоростного движения пассажирских поездов на железных дорогах [Электронный ресурс]. – М., 1997. – Режим доступа: <http://economy-lib.com/disser/61563/a/#?page=13>.
8. Турбин, И. В. Поэтапное повышение скоростей [Текст] / И.В. Турбин, С.И. Матвеев, М.И. Карпов // Железнодорожный транспорт. – 1990. - №3. – С. 15-16.
9. Козлов, В. Ю. Обоснование экономически рационального числа скоростных пассажирских поездов [Текст] / В.Ю. Козлов // Тр. МИИТ. – Вып. 715. – С. 90-94.
10. Турбин, И. В. Развитие метода формирования оптимальных схем овладения перевозками [Текст] / И.В. Турбин // Тр. МИИТ. – 1984. – Вып. 750. – С. 21.
11. Воробьев, Н. А. Методика распределения грузовых и пассажирских потоков на параллельных линиях [Текст] / Н.А. Воробьев, Б.В. Лашутин, В.К. Суворов // Тр. ВНИИЖТ. – 1969. – Вып. 403. – 160 с.
12. Харина, Е.В. Выбор рациональных мер по повышению скорости движения пассажирских поездов в условиях растущего объема грузовых и пассажирских перевозок [Электронный ресурс]. – М, 2004. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/vybor-ratsionalnykh-mer-po-povysheniyu-skorosti-dvizheniya-passazhirskikh-poezdov-v-usloviya#ixzz3d4XTD7fC>.

13. Козлов, И. Т. Выбор схем этапного развития железнодорожных линий [Текст] / И.Т. Козлов. – М.: Транспорт, 1964. – 155 с.

14. Аналіз можливості організації місцевої роботи на залізничних станціях в умовах впровадження швидкісного пасажирського руху [Текст] / Є.С. Альошинський, О.С. Губачова, Г.О. Сіваконева, С.О. Світлична, Т.О. Ланчак // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3(56), Т. 2.

15. Kirkwood L. Development of a Whole Life Cycle Cost Model for Electrification options on the UK Rail System / L. Kirkwood, L Giuntini, E. Shehab, P. Baguley [Текст] // Procedia CIRP. – Vol. 47. – 2016. – P. 1 – 5.

Альошинський Євгеній Семенович, д-р техн. наук, професор кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: aesevgeny@gmail.com.
Стасюк Ірина Геннадіївна, магістр ІППК Тел (066) 024-34-10. E-mail: ziro4ka_zirka@mail.ru.

Aleshinsky Eugene Semenovich, Doctor of technical Sciences, Professor of the Chair of transport systems and logistics of the Ukrainian state University of railway transport. E-mail: aesevgeny@gmail.com.
Stasiuk Iryna Hennadiievna, master IPPK. Tel. (066) 024-34-10. E-mail: ziro4ka_zirka@mail.ru.

Стаття прийнята 12.07.2016 р.

УДК 656.073.37

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОРОЖНІМИ ВАГОНАМИ ПРИПОРТОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ВУЗЛА

Д-р техн. наук Т. В. Бутько, В. О. Вергелес

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОРОЖНИМИ ВАГОНАМИ ПРИПОРТОВОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЗЛА

Д-р техн. наук Т. В. Бутько, В. О. Вергелес

IMPROVING THE PROCESS OF SUPPLYING OF PORT RAILWAY NODE WITH EMPTY RAILCARS

Dr. of Tech. Sc. Professor T. V. Butko, V. O. Vergeles

У статті розглядаються перспективи розвитку транзитних перевезень через портові станції України та вдосконалення технології роботи припортових станцій в аспекті підведення порожніх вагонів. Побудовано динаміку, запропоновано автоматизовану технологію процесу надходження порожніх вагонів під навантаження із судна.

Ключові слова: вантажні операції, порожні вагони, групи, станції, накопичення, простій, ефективність, судна.

В статье рассмотрены перспективы развития транзитных перевозок через портовые станции Украины и, как следствие, - необходимость совершенствования технологии работы припортовых станций в аспекте подвода порожних вагонов. Построена динамика распределения количества поданных порожних вагонов. Благодаря этому возможно наблюдать изменение эксплуатационных расходов при различных технологиях работы.

Ключевые слова: грузовые операции, порожние вагоны, группы, станции, накопление, простой, эффективность, судна.

The article deals with the prospects for the development of transit through Ukrainian port station and as a result - the need to improve the technology of port work stations in the aspect of the supply of empty railcars. Dynamics of distribution of the number of empty freight railcars have built. This makes it possible to observe a change in operating costs for different work technologies. Ukraine as a transit state has a significant future development of rail and water transport system. One of the important tasks is the development of transport nodes at points of transshipment from rail to water transport and in the opposite direction, improving the technology of their work. In Ukraine there are 19 such transport hubs, five of them are Maritime transport gateway for existing and future demand. We form a mathematical model as a mathematical programming model with objective function, which consists of operating costs for individual components of the technological process per group of empty cars and the corresponding system of constraints that takes into account technical, technological and regulatory conditions.

Keywords: cargo operations, empty railcars, groups, stations, storage, accumulation, performance, ships.

Вступ. Відповідно до тенденцій світового економічного розвитку у найближчому майбутньому очікується суттєве зростання товарообміну у напрямку Європа – країни Азіатсько-Тихоокеанського регіону. За прогнозами, збільшується перевезення транзитних вантажів за участю залізничного і морського транспорту. У зв'язку з цим Україна має потенційні можливості для залучення додаткових транзитних потоків через свою територію за цими напрямками. За розрахунками, вантажообіг Євразійського транспортного коридору становитиме 40-50 млн тонн за рік.

Доцільно вважати, що першочерговим завданням інтеграції української транспортної системи в європейську є відповідний розвиток національної мережі, її транспортно-комунікаційної інфраструктури та розбудова логістичних систем. Наслідком цього є необхідність у забезпеченні умов для збільшення транзитних та експортно-імпортних потоків при суттєвому підвищенні якості обслуговування.

На даному етапі контейнеризація – це пріоритетний напрямок розвитку всесвітньої системи перевезень. Частка перевезення сухих вантажів у контейнерах

по Україні досягла вже 65 %. Згідно з прогнозами, до 2017 року вона складе 80 %. Таким чином, завдання формування автоматизованих технологій щодо забезпечення порожнім рухомим складом (зокрема фітінговими платформами) морських портів є актуальним.

Аналіз останніх досліджень. Забезпечення зовнішньоекономічних і транзитних зв'язків, прискорення інтеграції у світовий транспортний ринок – пріоритетні задачі залізничного транспорту України. Це підвищує роль і значимість удосконалювання перевезень зовнішньоторговельних вантажів, виконаних через сухопутні прикордонні переходи й морські порти, зокрема вимагає прискорення їхньої переробки в транспортних вузлах, утворених на стиках залізничного й морського транспорту.

Цим питанням присвячено ряд наукових робіт [1, 3, 6], але в них недостатньо уваги було приділено завданням щодо формування автоматизованої технології підводу порожніх вагонів для навантаження з морських суден.

Мета. Формування автоматизованої технології процесу надходження порожніх вагонів під навантаження із суден.

Виклад основного матеріалу.

Україна як транзитна держава має значну перспективу розвитку залізнично-водної транспортної системи. Одним з важливих завдань стає розвиток транспортних вузлів в місцях перевалки вантажів із залізничного на водний транспорт та у зворотному напрямку, удосконалення технології їх роботи. В Україні налічується 19 таких транспортних вузлів, п'ять із них є морськими транспортними воротами для нинішніх і перспективних вантажопотоків. До важливих морських портів відноситься Одеса, Іллічівськ та Південний – на Чорному морі, Маріуполь на Азовському та Ізмаїл на Дунаї. Через порти Чорного та Азовського морів здійснюються зовнішньоекономічні зв'язки. У перспективі потік вантажів у напрямку країн Кавказу та Центральної Азії повинен зростати. Основними вантажами будуть залізна руда, кокс, кам'яне вугілля, добрива, хімікати, чорні метали та ін., імпортованими – машини, устаткування, будівельні матеріали, кольорові метали, вогнетривкі матеріали та нетрадиційний вантажопотік – зрідженого газу.

Важливою ланкою в цьому процесі є удосконалення технології подавання і пошуку порожніх вагонів відповідного типу у порти.

Подавання вагонів одного типу під навантаження може відбуватися за такою технологією:

а) групи необхідних порожніх вагонів для даного роду вантажу зі станцій, відкритих для вантажних операцій (*BCi*), в регіоні залізниці або декількох сусідніх залізниць подаються на сортувальну станцію (*CC*), де відбувається їх накопичення на состав із порожніх вагонів (порожній маршрут); состав однотипних порожніх вагонів подається на передпортову вантажну станцію (*BCП*) і далі на вантажний фронт, де відбувається їх навантаження із судна;

б) групи необхідних порожніх вагонів для даного роду вантажу із станцій, відкритих для вантажних операцій (*BCi*), в регіоні залізниці або декількох сусідніх залізниць подаються на сортувальну станцію, де вони у складі сформованого поїзда в останній третині від хвоста відповідно до вимог (96) (п. 15.32) подаються далі до передпортової вантажної станції (*BCП*) і далі окремими групами надходять на вантажний фронт;

в) поєднання варіантів а) і б) у різних комбінаціях.

Виконання заявки починається з введення даних про рід вагонів, їхню кількість та рід вантажу, що перевозиться, після чого відбувається безпосередньо пошук вагонів під навантаження, їхня доставка відправнику навантаження. В залежності від місцезнаходження вагонів визначається час, необхідний на їх пошук.

Для дослідження загальної тенденції підведення порожніх вагонів, зокрема фітінгових платформ, було наведено статистичні спостереження щодо обсягу контейнерів, що вивантажувались із судна, сформована динаміка їх розподілу за 2015 рік в умовах портів Одеса, Іллічівськ регіональної філії "Одеська залізниця", яку наведено на рис. 1, 2.

Поряд з динамікою обсягів кількості вагонів по місяцях наведено основні характеристики, а саме: N – середнє значення, σ – середнє квадратичне відхилення, K_H – коефіцієнт нерівномірності.

Коефіцієнти нерівномірності відповідно дорівнюють $K_H = 2,45$ та $K_H = 1,88$, що свідчить про наявність сезонних коливань.

Для формування автоматизованої технології слід враховувати, що вартість простою судна за одиницю часу перевищує вартість простою вагонів, тому кожен варіант технології надходження порожніх вагонів на припортову станцію повинен забезпечити безперебійне вивантаження вантажу із суден в порожні вагони.

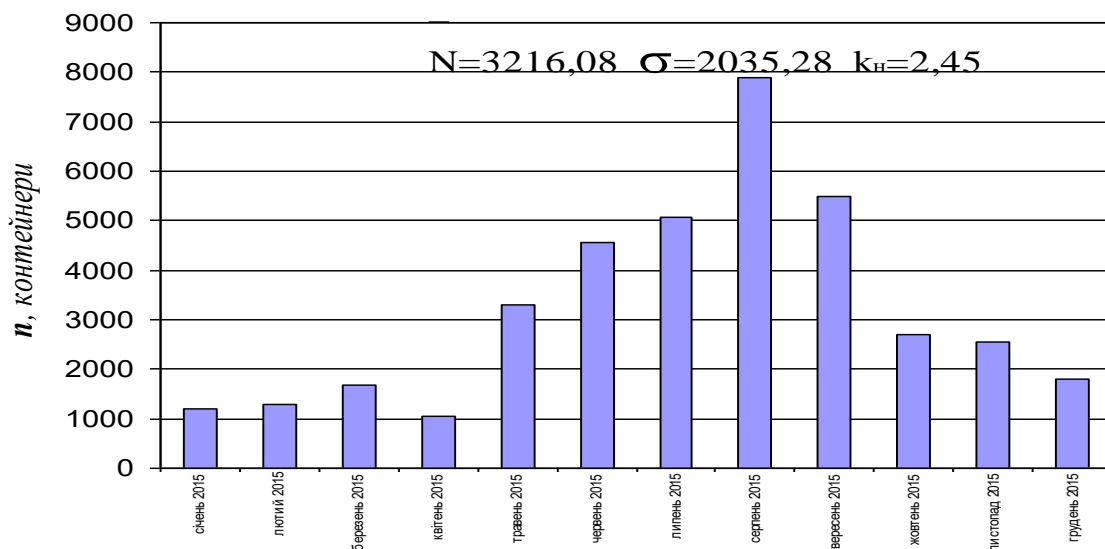


Рис. 1. Динаміка розподілу навантаження контейнерів із судна у вагони порту Одеса по місяцях 2015 року

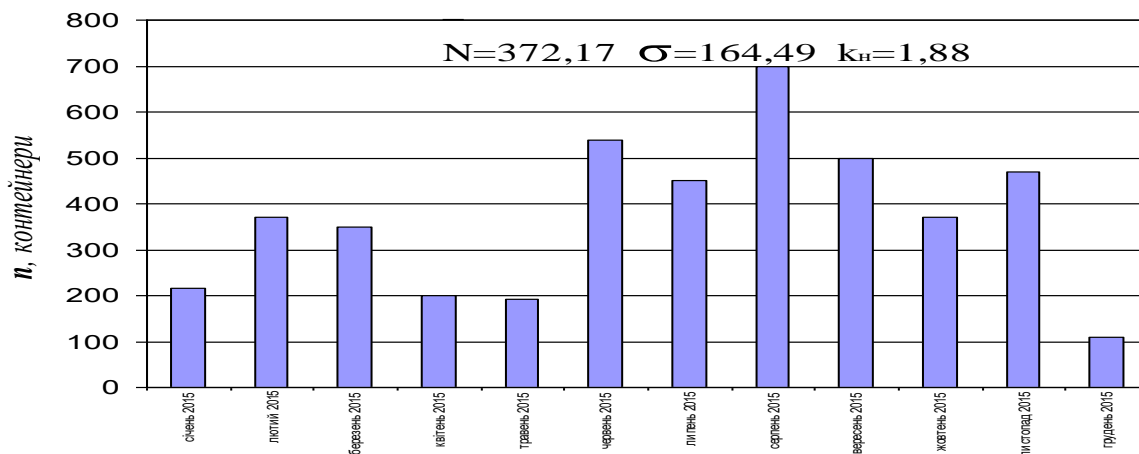


Рис. 2. Динаміка розподілу навантаження контейнерів із суден у вагони у порту Іллічівськ по місяцях 2015 року

Для вибору раціонального варіанта технологічного процесу доцільно порівняти сумарний час на доставку необхідної кількості порожніх вагонів на вантажний фронт у порту або експлуатаційні витрати по кожному варіанту та визначити основні чинники, що

впливають на вибір варіанта в конкретних умовах, які склалися.

Виходячи із принципів системного аналізу, формалізуємо технологію надходження порожніх вагонів під навантаження із суден, тобто розглядаємо станції, відкриті для вантажних операцій

(BC_i), сортувальну станцію (СС), передпортову станцію (BC_{Π}) та морський

порт як систему взаємопов'язаних підсистем (рис. 3).

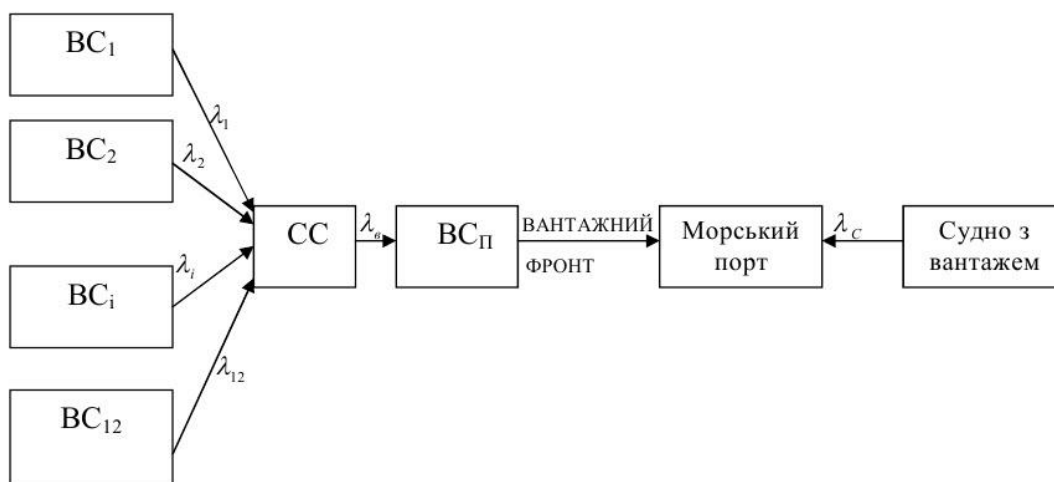


Рис. 3. Завантажений оргграф надходження порожніх вагонів у припортовому залізничному вузлі (λ_i - інтенсивність надходження порожніх вагонів; λ_B - інтенсивність надходження порожніх маршрутів; λ_c - інтенсивність надходжень судів до порту)

Модель вибору стратегії розподілу порожніх вагонів у залізнично-водному вузлі повинна складатись із цільової функції, яка являє сумарні експлуатаційні витрати або сумарний час простою рухомого складу, включаючи простій суден, і відповідної системи обмежень, що характеризує конструктивні і технологічні параметри вузла. Складова цільової функції, що включає експлуатаційні витрати в процесі надходження порожніх вагонів з BC_i на СС, однакова по кожному варіанту, тому при порівнянні її можна не враховувати.

Сформуємо математичну модель, як модель математичного програмування із цільовою функцією, яка складається з експлуатаційних витрат на окремі складові технологічного процесу, що припадають на групу порожніх вагонів, і відповідної системи обмежень, яка враховує технічні, технологічні і нормативні умови.

Розглядаємо структуру складової цільової функції, що відповідає за питомі експлуатаційні витрати при формуванні

состава на СС, в який включено порожні вагони в останню третину хвоста, що відповідає вимогам ПТЕ (п.15.32)

Уявімо кожен станцію BC_i як джерело, що генерує випадкову дискретну величину X_{ij} - кількість порожніх вагонів даного типу з імовірністю P_{ij} з функцією розподілу $F_i(x) = \sum P_{ij}$, тоді їх середнє значення:

$$n_i = \sum_{j=1}^{n_i} P_{ij} X_{ij}$$

де n_i - кількість усіх порожніх вагонів на BC_i .

Пошук потрібних порожніх вагонів даного типу відбувається на станціях, відкритих для вантажних операцій в регіоні залізниці або декількох наближених залізниць, при цьому станції BC_i функціонують незалежно одна від одної, що дозволяє використовувати центральну граничну теорему Ляпунова. Спираючись на цю теорему припустимо, що кількість

порожніх вагонів X_{ij} по всіх станціях BC_i є імовірнісною величиною X , що генерується одним джерелом S і підпорядкована нормальному закону розподілу із щільністю

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}},$$

де X і σ – відповідно середнє значення і стандартне відхилення кількості порожніх вагонів у групі.

Як показали дослідження, час між надходженням груп порожніх вагонів t на СС є також випадковою величиною, з достатнім ступенем надійності, підпорядкованою розподілу Ерланга 2-го порядку із щільністю

$$X_t = \int_0^z x f(x) dx \cdot \int_0^y f(t) dt = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \int_0^z x \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx \cdot \int_0^y (2\pi)^2 \cdot t \cdot e^{-2\lambda t} dt,$$

де z – максимально можлива кількість вагонів у групі (можна прийняти $z = 18-20$).

Враховуючи пріоритетність переміщення порожніх вагонів у порт, кожна їх група, що надійшла на СС, повинна бути причеплена у хвіст состава, який формується в напрямку BC_n . Це потребує додаткових маневрових операцій і відповідних витрат.

Вагоно-години знаходження групи порожніх вагонів на СС можна вважати наслідком одночасної появи двох незалежних подій: кількості порожніх вагонів X_i і часу їх знаходження на СС – $t_{зн}$. Тоді частина експлуатаційних витрат при формуванні состава з порожніми вагонами у хвості, що припадає на групу порожніх вагонів, складе

$$C'_1 = \frac{C'_{en} (2\lambda)^2}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_0^z x \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx \cdot \int_0^{t_{форм}} t^2 \cdot e^{-2\lambda t} dt$$

$$f(x) = (2\lambda)^2 \cdot t e^{-2\lambda t}$$

де λ – інтенсивність надходження груп порожніх вагонів на СС:

$$\lambda = \frac{1}{T},$$

де t – математичне очікування часу між надходженням двох послідовних груп порожніх вагонів.

Будемо вважати, що кількість порожніх вагонів у групі X та час між їх надходженням на СС – t є незалежними випадковими величинами. Тоді кількість порожніх вагонів, що надійдуть на СС за час $t=y$ можна розрахувати за формулою:

де $t_{форм}$ – середній час на формування состава на СС;

$\dot{C}_{вп}$ – вартість вагоно-години при формуванні состава з порожніми вагонами у хвості.

Витрати на початкові, кінцеві, інформаційні операції та переміщення групи порожніх вагонів з СС та BC_n у составі поїзда – \dot{C}_2 .

Враховуючи, що

$$\bar{X} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{60} x \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx,$$

витрати на подачу-прибирання вагонів у порту складуть

$$C'_3 = \frac{\bar{X} \cdot C_{лб} \cdot t_n}{l_\phi},$$

де l_ϕ – довжина вантажного фронту, ваг;

$C_{лб}$ – вартість локомотиво-години маневрової роботи;

t_n - час на подавання-прибирання однієї подачі.

Витрати при навантаженні групи порожніх вагонів у кількості X із судна

$$C'_4 = \frac{\bar{X} \cdot C_\phi}{N_\phi},$$

де N_ϕ - продуктивність вантажного фронту, ваг/год;

C_ϕ - вартість години роботи вантажного фронту у порту.

З імовірністю

$$P_1 = (2\lambda)^2 \int_0^{t_{\text{форм}}} t \cdot e^{-2\lambda t} dx \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_0^z e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx$$

$$P_2 = (2\lambda)^2 \int_0^{t_{\text{форм}}} t \cdot e^{-2\lambda t} dx \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma}\right)^{N_{\text{форм}}} \int_0^z e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Щоб запобігти виникненню ефекту спонтанного зростання кількості кинутих порожніх вагонів, процес треба зробити керованим, якщо величина P_2 достатньо велика ($P_2 \geq 0,7$). Зокрема, через повідомлення в інформаційно-керуючій системі треба забезпечити виконання умови

$$\bar{X} = \frac{Q_c}{q_{\text{ст}} \cdot t_{\text{форм}}},$$

де Q_c - водотоннажність суден з урахуванням дедвейту; $q_{\text{ст}}$ - статистичне навантаження на вагон).

За рахунок надходження груп порожніх вагонів з найближчих вагонів ВСі.

Якщо процес надходження груп порожніх вагонів достатньо сталий, тобто \bar{X} близьке до величини $z = N_\phi \cdot \bar{t}_{\text{нор.}}$, а

У кожному поїзді, що формується на СС в напрямку ВСП, на вантажний фронт надійдуть не більш ніж z порожніх вагонів. При цьому час надходження груп порожніх вагонів на вантажний фронт у порт буде дорівнювати $t_{\text{форм}}$. Для безперебійного процесу вивантаження судна потрібно, щоб кількість порожніх вагонів у групі

$$\bar{X} \geq N_\phi \cdot \bar{t}_{\text{форм}}.$$

У цьому випадку штучно створювати резерв порожніх вагонів у порту не потрібно. Надлишок порожніх вагонів може накопичуватись на ВСП, а імовірність такої події буде дорівнювати

коефіцієнт варіації $U = \frac{\sigma}{\bar{X}} \in (0,2-0,3)$, то система буде практично самокерованою.

Величина потрібного резерву або надлишок порожніх вагонів при цьому складе

$$R_1 = \frac{3\sigma \cdot Q_c}{q_{\text{ст}} \cdot \bar{X}}.$$

У більш загальному випадку, коли $\bar{X} < N_\phi \cdot K \cdot t_{\text{форм}}$ (де k - ціле число), що еквівалентно тому, що групи порожніх вагонів надходять з СС на ВСП тільки у кожному k -му поїзді, необхідно створювати їх резерв на ВСП. Величина такого однократного резерву повинна становити

$$R'_2 = (2\lambda)^2 \int_0^{kt} t \cdot e^{-2\lambda t} dt \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_0^{N \cdot R \cdot t} x e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Після інтегрування у заданих межах отримуємо

$$R'_2 = \left(1 - (1 + 2\lambda\bar{t}) \cdot a^{-2\lambda\bar{t}}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_{\bar{\sigma}}^{N \cdot R \cdot t} \bar{\sigma} \cdot a^{-\frac{(\bar{\sigma} - \bar{\sigma})^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Загальна величина резерву порожніх вагонів у порту, що забезпечує безперебійне вивантаження судна з водотоннажністю Q_c , складе

$$R_2 = \frac{Q_c}{\bar{X} \cdot q_{CT}} \cdot R'_2.$$

Відповідно витрати за простій порожніх вагонів у резерві при їх рівномірному надходженні складуть

$$C'_5 = R_2 \cdot \frac{t_{прог} \cdot \bar{t}_{пер}}{2} \cdot C_p,$$

де C_p – вартість вагоно-години простою;

$t_{прог}$ – прогнозний час надходження судна;

$t_{пер}$ – середній час на переміщення вагона в порт.

Витрати на переміщення вагонів в резерв

$$C'_6 = R_2 \cdot \bar{C}_{пер},$$

де $C_{пер}$ – середня вартість переміщення вагона з ВСі на ВСп.

Сформовані складові експлуатаційних витрат дозволяють створити модель процесу надходження

порожніх вагонів групами у складі поїздів, які прямують у порт; визначити тенденції зміни експлуатаційних витрат і основні чинники, що впливають на їх зменшення і формування резерву.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Порівнюючи питомі експлуатаційні витрати, що припадають на один порожній вагон по кожному варіанту технологічного процесу, оперативному персоналу залізниці надається можливість визначити і вибрати найбільш раціональний серед них в конкретних умовах транспортного ринку. З цією метою доцільно створити систему підтримки прийняття рішень на автоматизованих робочих місцях оперативного персоналу. Це дозволить вирішити актуальну проблему розвитку залізничних підходів до припортових станцій. Для підвищення їх пропускної та переробної спроможності в ПАТ Укрзалізниці розроблені заходи щодо покращення взаємодії залізниць з портами та збільшення обсягів навантаження.

Серед основних напрямків роботи – підвищення ефективності використання інвентарного рухомого складу, застосування нових методів управління перевізним процесом на базі автоматизації та інформаційних технологій.

Список використаних джерел

1. Бутько, Т. В. Модель надходження порожніх вагонів на передпортову станцію [Текст] / Т.В. Бутько, В.М. Чеклова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 4/5(28). – С. 8-11.
2. Чеклова, В. М. Модель вибору стратегії надходження порожніх вагонів у припортовому залізничному вузлі [Текст] / В. М. Чеклова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – №4. – С.58-63.
3. Костоглодов, Д.Д. Распределительная логистика [Текст] / Д.Д. Костоглодов, Л.М. Нарисова. – М., 1997. – 128 с.
4. Кальченко, А. Г. Логістика [Текст]: навч. посібник / А.Г. Кальченко. – К.: КНЕУ, 2000. – 148 с.

5. Чеклов, В. Ф. Автоматизація процесу забезпечення вантажної роботи на залізниці [Текст] / В. Ф. Чеклов, В. М. Чеклова // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2006. – №5. – С. 67-73.
 6. Wicheihaus A. Telematiks in cargo transportation [Text] / A. Wichelhaus // Railway Technical Review. – 2005/ - №3 – P. 35-40.
 7. Deb K. Genetic algorithms for function optimization. In: Genetic Algorithms and Soft Computing / K. Deb.; Edited by F. Herrera and J. L. Verdegay. – Heidelberg: Physica-Verlag, 1996. – P. 3-29.
 8. Yen, J.Y. Finding the K shortest loopless paths in a network [Текст] / J.Y.Yen // Management Science. - 1971. - №17. - P. 712-716.
 9. Кормен, Томас Х. Алгоритмы: построение и анализ=Introduction to Algorithms [Текст] / Томас Х. Кармен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1296 с.
 10. The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2016) / Affiliated Workshops, Volume 83, pages 18--25 - may 2016.
 11. Journal of Rail Transport Planning & Management Volume 5, Issue 4, December 2015, Pages 294-308.
 12. Expert Systems with Applications Volume 62, Issue 15, November 2016. – P. 302-316.
-

Бутько Тетяна Василівна, д-р техн. наук, професор кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (097)4424525.
Вергелес Вікторія Олександрівна, студентка гр. 22-IV-ОПУТм Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (098)8453865. E-mail. vika.vergeles.89@mail.ru.

Butko T.V., Dr. tehn. science, Operation Work Management Department of Ukrainian State Universiti of Railway Transport.
Vergeles.V.O., student(master) gr. 22-IV-OPUTm of Ukrainian State Universiti of Railway Transport.
Tel. (098)8453865. E-mail. vika.vergeles.89@mail.ru.

Стаття прийнята 12.07.2016 р.

УДК 656.21:656.027

УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ВОКЗАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ В УМОВАХ ШВИДКІСНОГО РУХУ

Д-р техн. наук Т. В. Бутько, П. І. Тітаренко, М. М. Кисіль

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ ВОКЗАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Д-р техн. наук Т. В. Бутько, П. И. Титаренко, М. М. Кисель

IMPROVING THE PASSENGER RAILWAY STATION COMPLEX OPERATION UNDER IMPLEMENTATION OF SPEED TRAINS

Dr. of Tech. Sc. Professor T. V. Butko, P. I. Titarenko, M. M. Kusil

У даній статті надано теоретичне обґрунтування процесу організації перевезень пасажирів з урахуванням можливих варіантів пересадки в умовах інтегрованих залізничних пересадочних комплексів.

***Ключові слова:** швидкісний рух, вокзальний комплекс, технологія, динаміка пасажиропотоків, перевезення.*

В данной статье даны теоретические обоснования процесса организации перевозок пассажиров с учетом возможных вариантов пересадки в условиях интегрированных железнодорожных пересадочных комплексов.

***Ключевые слова:** скоростное движение, вокзальный комплекс, технология, динамика пассажиропотоков, перевозки.*

This article provided a theoretical justification of the process of passenger considering taking into account the possible transplant options in terms of integrated rail transit systems. Under condition of speed traffic the number of trips with transfers rises, which causes additional load on the passenger terminals.

For the effective solution of scientific and applied tasks of organization of passenger transport in an integrated interchange complexes is necessary linkages between their work at the network level with the possibility of research infrastructure download interchange systems for the improvement of passenger traffic management and coordination of various types of urban transport in the zone of attraction of the station. In accordance with this article topic is relevant.

The aim of this work is the improvement of process of organization of passenger railway transportation in the conditions of high-speed traffic by improving technology of work of railway stations based on the adaptation of the volume of passenger traffic.

***Keywords:** speed trains, station complex, technology, passenger flows dynamics, transportation.*

Вступ. Зростання обсягів перевезення пасажирів із прогнозним середньорічним темпом приросту на 2,8 % до 2020 року та відповідно до впровадження програми швидкісного руху пасажирських поїздів між основними містами-мегаполісами актуальним робить питання перегляду зони покриття і системи організації маршрутів прямування пасажирських поїздів з необхідністю створення на базі існуючих залізничних вокзалів системи інтегрованих пересадочних комплексів. Обмежена дальність прямування швидкісних поїздів передбачає організацію швидкісних сполучень між вузлами, так званими хабами, у всіх регіонах країни та перевезення на коротких плечах в зоні тяжіння хабів. Така система організації перевезення призведе до збільшення навантаження на інфраструктуру залізничних вокзалів та потребує ефективного вирішення задачі реалізації подорожі пасажирів з пересадками « за єдиним квитком» з урахуванням мінімізації загального часу прямування.

Для ефективного вирішення науково-прикладного завдання організації пасажирських перевезень в умовах

інтегрованих пересадочних комплексів необхідною є ув'язка їх роботи на мережному рівні з можливістю проведення досліджень завантаження інфраструктури пересадочних комплексів для удосконалення роботи управління пасажиропотоками та координації різних видів міського транспорту в зоні тяжіння вокзалу. Відповідно до цього тема статті є актуальною.

Аналіз останніх досліджень. Цим питанням присвячено ряд наукових робіт [2,4,6,7,8]. Але в них не достатньо уваги приділено технології взаємодії вокзального комплексу з іншими видами транспорту в умовах швидкісного руху, конкретним умовам вокзалу Харків-Пасажирський.

Мета дослідження. Метою роботи є удосконалення процесу організації залізничних пасажирських перевезень в умовах швидкісного руху шляхом удосконалення технології роботи пасажирських залізничних вокзалів на основі адаптації обсягів пасажиропотоків.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження загальної тенденції перевезення пасажирів сформовано динаміку їх розподілу по місяцях за 2015-2016 р. в умовах станції Харків-

Пасажирський регіональної філії «Південна залізниця», яку наведено на рис. 1.

Поряд з динамікою кількості проданих квитків по місяцях (рис. 1) наведено основні характеристики, а саме: N – середнє значення, σ – середнє квадратичне відхилення, K_H – коефіцієнт нерівномірності.

Коефіцієнт нерівномірності K_H , що дорівнює 1,14, свідчить про наявність незначних сезонних коливань в обсягах перевезень.

Для більш детального аналізу сформовано динаміку продажу квитків по днях, яку наведено на рис. 2.

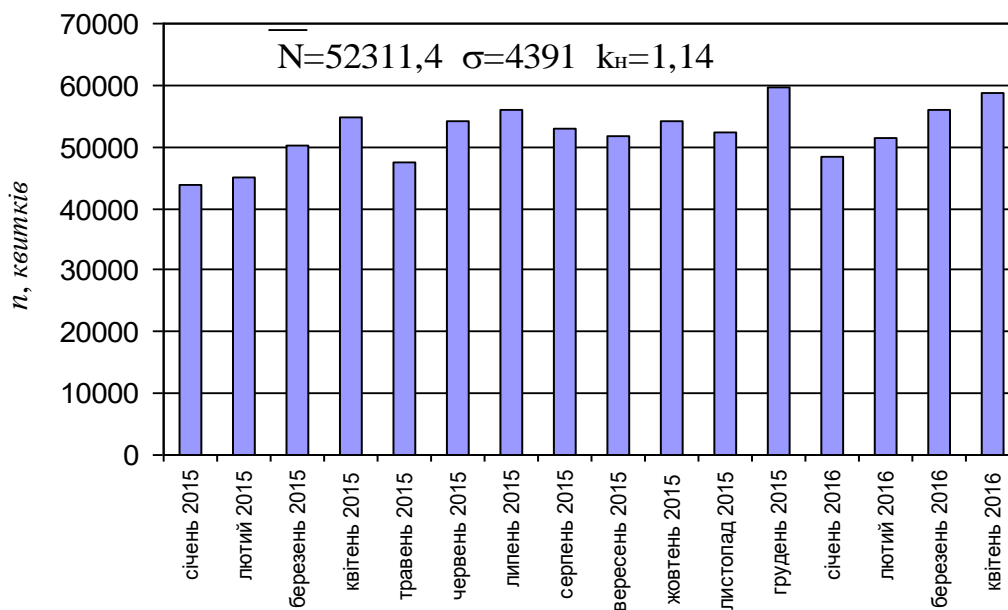


Рис. 1. Динаміка продажу квитків на швидкісні потяги по місяцях на Південній залізниці

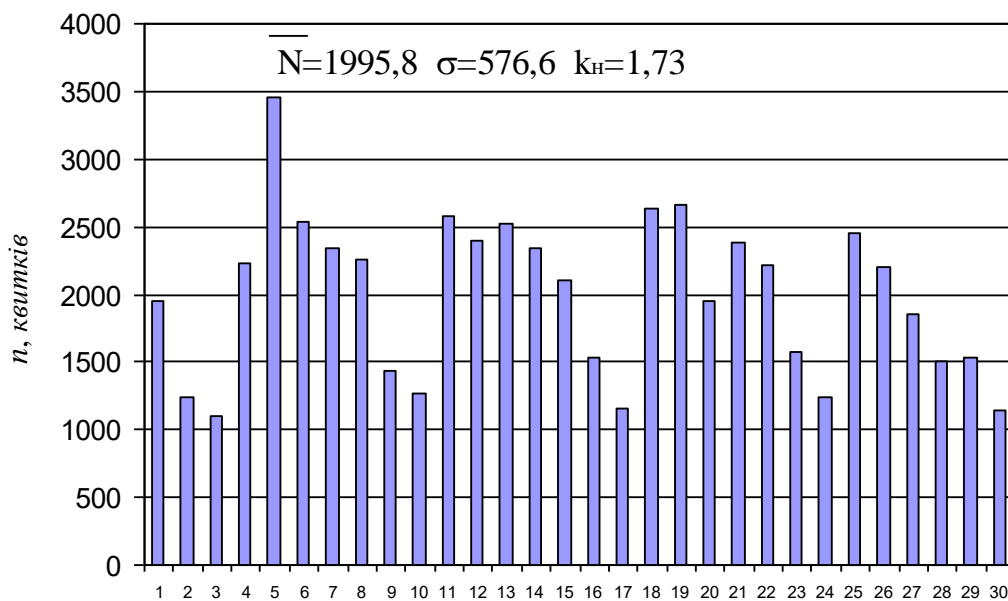


Рис. 2. Динаміка продажу квитків на швидкісні потяги по днях за квітень 2016 року на Південній залізниці

Аналіз динаміки (рис. 2) свідчить про вплив ефекту вихідного дня, який має періодичну тенденцію, тобто спостерігається, що більш навантаженими днями є період з понеділка по п'ятницю. Це свідчить про нерівномірні умови роботи вокзалу. В цих умовах необхідним є формування інформаційної системи, яка відстежує всі коливання і надає умови для більш комфортного переміщення пасажирів в межах вокзального комплексу з урахуванням взаємодії з іншими видами транспорту. З цією метою була проведена формалізація процесу взаємодії вокзального комплексу.

Задача організації логістики пересадок на залізничному пересадочному комплексі тісно пов'язана з реалізацією технології узгодження підводу рухомого складу різних видів транспорту для обслуговування попиту пасажирів. Вирішення поставленої задачі є актуальним в умовах здійснення пересадок пасажирів з пасажирських в приміські поїзди, трамваї, автомобільний міський транспорт, в електропоїзди метрополітену у вечірній період часу, коли частота руху значно зменшується, або навпаки. Це у свою чергу дозволить за рахунок зменшення очікування прибуття бажаного виду транспорту розвантажити привокзальну площу та підвищити комфорт пасажирів під час здійснення пересадки. В межах реалізації інтермодальних перевезень пасажирів основною перевагою залізничного транспорту є чіткість графіка руху, тоді як міського транспорту – гнучкість руху.

Для формалізації поставленої задачі було використано апарат теорії розгляду [1,3]. Слід розглянути систему, що складається з m одиниць рухомого складу

(електропоїзд приміського руху або метрополітену, трамвай, маршрутний автобус, таксі), який заплановано використовувати при перевезенні пасажирів $m = 1, M$; Послідовно занумеруємо також i -ту нитку графіка прибуття та відправлення пасажирських поїздів до залізничного вокзалу, як вимоги з числами від 1 до n . До кожної i -ї нитки прибуття або відправлення поїзда відносяться a_i^m кількість пасажирів, що обрали для подорожі m -й вид міського транспорту. Якщо прийняти за φ^m - місткість m -го виду транспорту, то можна наближено визначити планову кількість операцій з відправлення або прибуття міського рухомого складу для здійснення пересадки прогнозованої a_i^m групи пасажиропотоку

$$g_i^m = a_i^m / \varphi^m$$

де g_i^m - кількість операцій з відправлення або прибуття m виду транспорту для обслуговування пасажиропотоку a_i^m . Під операцією розуміється поїздка m -го виду транспорту для збирання пасажирів із вокзалу або їх підвезення до вокзалу. Кожна з операцій потребує виконання у межах директивного терміну.

Для оптимізації процесу взаємодії різних видів транспорту з точки зору забезпечення вимог та комфорту пасажирів введено величину r_i , що визначає момент готовності групи пасажирів до посадки у міський транспорт або до посадки в поїзд. Виходячи з цього r_i визначається за виразом

$$r_i = \begin{cases} t_i^{\text{приб}} + t_{i,m}^{\text{пер}} - \text{посадка на міський транспорт} \\ t_i^{\text{відпр}} + t_{i,m}^{\text{пер}(\text{max})} - I_m^{\text{max}} \cdot g_i^m - \text{посадка в поїзд} \end{cases}$$

де $t_i^{приб}$ - час прибуття пасажирського поїзда за розкладом; $t_{i,m}^{пер(max)}$ - максимальний час, що витрачає пасажир при здійсненні пересадки m -го виду транспорту, який визначений на основі запропонованої моделі індивідуального руху пасажирів в потоці; $t_i^{приб}$ - час відправлення пасажирського поїзда за розкладом; I_m^{max} - максимальний інтервал між прибуттям або відправленням m -го виду транспорту.

Величина r_i являє собою момент надходження k -ї кількості пасажирів з поїзда на міський транспорт або навпаки, є мінімально можливим часом початку першого відправлення або прибуття m -го рухомого складу на вимогу $i=1, \dots, n$.

Отже, кожна i -та вимога складається з g_i операцій з відправлення або прибуття міського рухомого складу. Для кожної такої операції здається три індекси:

i - номер нитки прибуття або відправлення поїзда, що містить операцію відправлення або прибуття;

j - номер операції, що задана вимогою прибуття або відправлення поїзда (номер

нитки графіка руху міського транспорту), $j=1, \dots, g_i$;

m -й вид міського рухомого складу, на який операція з відправлення або прибуття повинна виконуватись, $1 \leq m_{ij} \leq m$.

Тоді кожену операцію з виконання перевезення можна охарактеризувати як кортеж $\langle m_{ij}, t_{ij}^m \rangle$, де t_{ij}^m - тривалість виконання операції, тобто довжина інтервалу часу, необхідного рухомому складу m_{ij} для виконання обігу на маршруті та наступного відправлення або прибуття i .

Для забезпечення умови одночасного виконання не більше ніж однієї операції необхідно дотримання умови

$$t_{ij,m} - t_{ij} + 1, m \geq \theta_m,$$

де θ_m - встановлений за розрахунками обіг відповідного типу рухомого складу. Дана умова дозволяє обмежити інтервал між прибуттям та наступним прибуттям міського рухомого складу лише у бік зменшення, тоді як для пристосування до вимог розкладу поїздів – збільшення інтервалу можливе.

Для отримання обмежень на порядок виконання операцій слід прийняти, що

$\sum_k \delta_{ijm} t_{im}$ - тривалість бюджету часу на виконання операції j для вимоги i , де

$$\delta_{ijm} = \begin{cases} 1, & \text{якщо операція } j \text{ вимоги } i \text{ виконується рухомих складом} \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}$$

Тоді для всіх операцій кожної вимоги повинна виконуватись нерівність

$$\sum_m \delta_{ijm} t_{im} \leq \sum_m \delta_{i(j+1)m} t_{im}.$$

Як критерій оцінки розгляду ув'язки часу відправлення та прибуття різних видів транспорту запропоновано використати мінімізацію сумарного часу завершення робіт, що рівнозначно мінімізації суми

початку виконання останніх операцій по відправленні або прибутті всіх вимог, тобто

$$F = \sum_i \sum_j \sum_m \delta_{ijm} \cdot t_{im} \rightarrow \min.$$

Для вирішення запропонованої моделі визначення розкладу ув'язки прибуття та відправлення пасажирських поїздів з різними видами міського транспорту у вузлі доцільним є підвищення швидкості та

точності генерування розкладу руху за рахунок використання генетичного алгоритму з дійсним кодуванням.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Розроблено модель узгодження графіка підведення рухомого складу різних видів транспорту до залізничного пересадочного комплексу на основі комплексного використання методів теорії розкладу та генетичних алгоритмів,

що на відміну від існуючих дозволяє визначити більш точний графік прибуття та відправлення міського пасажирського транспорту у взаємодії із залізничним за умови гарантійного забезпечення варіанта пересадки в межах директивних строків. Це у свою чергу надасть можливість створити єдину транспортно – логістичну систему обслуговування пасажирів з властивостями адаптації до зміни умов формування попиту на перевезення.

Список використаних джерел

1. Бутько, Т. В. Формування моделі організації пасажиропотоків при здійсненні пересадок на залізничному вокзалі з використанням колективного інтелекту [Текст] / Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко, О.О. Журба // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – №2. – С. 57-61.
2. Бутько, Т. В. Моделювання розподілу пасажиропотоків по поїздах на основі колективного інтелекту [Текст] / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко, О. О. Журба // Восточно-Европейский журнал передових технологій. – 2010. – №2/4(44). – С. 44-47.
3. Журба, О. О. Моделювання процесу пересадки пасажирів на залізничному вокзалі Харків-Пасажирський за варіантом «пасажирський поїзд – міський транспорт» [Текст] / О.О. Журба // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 60-66.
4. Бутько, Т. В. Формування мережі логістичних центрів пересадочних комплексів на основі використання розподіленої системи підтримки прийняття рішень з реалізацією колективної самоорганізації [Текст] / Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко, О.О. Журба, Н.І. Хведорець // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 26. – С. 34-39.
5. Moshe Givoni/Journal of Transport Geography/ Do cities deserve more railway station? The choice of a departure railway station in a multiple – station region/ April 2014, P. 89-97.
6. Dominic E. Reysse/ Journal of Transport Geography/ Classifying railway station for sustainable transition – balance node and place functions. May 2008. P. 191-202.
7. Логистика [Текст]: учебник / под ред. Б.А. Аникина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 368 с.
8. Moshe Givoni /Journal of Transport Geography/ The access journey to the railway station and its role in passengers' satisfaction with rail travel. September 2007. - P. 357-365.

Бутько Тетяна Василівна, д-р техн. наук, професор кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (097)4424525.

Тітаренко Поліна Ігорівна, студентка гр. 22-VI-ОПУТм Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (095)3336405. E-mail. Polinatitarenko93@gmail.com.

Кисіль Марія Михайлівна, студентка гр. 18-VI-ОПУТм Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (066)-325-99-48.

Butko Tatiana Vasylevna, dr. sc. sciences, professor of the department management експлуатацийноу роботоу academy Ukrainian State Universiti of Railway Transport. Tel. (097) 4424525.

Titarenko Polina Igorevna, student Ukrainian State Universiti of Railway Transport. Tel. (095) 3336405. E-mail. Polinatitarenko93@gmail.com.

Kisel Mary Myhaylovna, student Ukrainian State Universiti of Railway Transport. Tel. (066)-325-99-48.

Стаття прийнята 13.07.2016 р.

УДК 656.052.432

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ
ВИСОКОШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ВОКЗАЛАХ УКРАЇНИ**

Канд. техн. наук Д. І. Мкртичян, В. С. Мороз

**ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ
ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОКЗАЛАХ
УКРАИНЫ**

Канд. техн. наук Д. И. Мкртычян, В. С. Мороз

**INCREASE OF SERVICING THE PASSENGERS HIGH – SPEED TRAIN AT THE
RAILWAY STATION UKRAINE**

Ph. D D. I. Mkrtychyan, V. Moroz

Розглянуто питання щодо удосконалення пасажирських перевезень на залізничних магістралях України за рахунок підвищення рівня сервісного обслуговування пасажирів у мережі високошвидкісних магістралей (ВШМ). Проаналізовано проблеми обслуговування пасажирів на вокзалах ліній ВШМ. Запропоновано варіанти підвищення сервісного обслуговування пасажирів на вокзалах.

Ключові слова: вокзали, вокзальні комплекси, сервісне обслуговування, залізничний транспорт, високошвидкісні магістралі.

Рассмотрены вопросы по усовершенствованию пассажирских перевозок на железнодорожных магистралях Украины за счет повышения уровня сервисного обслуживания пассажиров в сети высокоскоростных магистралей (ВШМ). Проанализированы проблемы обслуживания пассажиров на вокзалах линий ВШМ. Предложены варианты повышения сервисного обслуживания пассажиров на вокзалах.

Ключевые слова: вокзалы, вокзальные комплексы, сервисное обслуживание, железнодорожный транспорт, высокоскоростные магистрали.

This article discusses questions on the improving railways of Ukraine through improvement of passenger service in high speed rail. Competition in the market of passenger transportation by railways requires new forms and methods of cooperation with passengers, by increasing the level of service. Discusses same problems passenger service at station complexes Ukraine. Invited options integrated passenger service at station complexes of high speed rail. You must create for passengers maximum comfort not only when purchasing their tickets, awaiting the departure and arrival of trains, but also determine the optimal route of movement, as well as additional services to work with clients to potential passengers have a constant desire to use rail and not preferred to others types of passenger transport.

Key words: stations, station complexes, service, railways, high-speed rail.

Вступ. Природним процесом розвитку залізниць України є поступове підвищення швидкості руху поїздів. Майбутнє залізничного транспорту України

безумовно пов'язано з реалізацією стратегічних завдань, серед яких необхідно зазначити інтеграцію в Європейську транспортну систему та впровадження

великомасштабних інвестиційно-інноваційних проектів [1, 11]. Одним із завдань на сьогодні є організація високошвидкісного пасажирського руху та відповідного рівня сервісного обслуговування пасажирів, що допоможе підвищити конкурентоспроможність залізничного транспорту.

Перевезення пасажирів здійснюються різними видами транспорту — повітряним, наземним, водним. Рівень і тип транспортного засобу, протяжність переміщення зумовлюють специфіку транспортного сервісу. У кожного виду транспорту є свої переваги і недоліки, але всі види транспортних систем переслідують одну головну мету — найбільш повне задоволення потреб, через надання відповідного сервісу, при реалізації послуг з перевезення. Конкуренція на ринку пасажирських перевезень вимагає від залізниці пошуку нових форм і методів співпраці з пасажиром за рахунок підвищення рівня сервісного обслуговування. При цьому високий рівень якості сервісних послуг є не тільки важливою складовою конкурентоспроможності залізничного транспорту, а й запорукою покращення іміджу Укрзалізниці і підвищення прибутковості залізничних пасажирських перевезень, в межах ліній ВШМ [2, 12]. На основі вищенаведеного можна зробити висновок про необхідність більш повного та детального дослідження питання щодо сервісного обслуговування пасажирів.

Аналіз останніх досліджень. Питання щодо всіх аспектів сервісу на залізничному транспорті, якості пасажирських перевезень, оцінки конкурентоспроможності залізничного транспорту на ринку пасажирських перевезень розглянуті у наукових працях таких вчених, як Аксьонов І.М., Іванков О.М., Іванкова Л.М., Гловайський Н.Д., Кисельов Н.С., Комаров О.В., Бараш Ю.С., Галабурда В.М., Калініченко О.І., Лапідус Б.М., Терьошина Н.П., Чаркіна Т.Ю. та ін. [2-9].

Проте в умовах сучасної інформатизації та впровадження ВШМ в Україні підвищення якості сервісного обслуговування пасажирів потребує подальших досліджень.

Мета статті. Аналіз основних принципів сервісного обслуговування на залізничних вокзалах та варіанти для підвищення якості обслуговування пасажирів в умовах високошвидкісного руху.

Основна частина. В сучасних умовах роботи залізничних вокзалів ліній ВШМ якість та ефективність послуг, вдосконалення технологічного процесу виходить із забезпечення вимог пасажирів до якості обслуговування, формування системи оцінки рівня сервісного обслуговування на залізничних вокзалах, підвищення рівня сервісного обслуговування [5].

Залізничний вокзал, залишаючись елементом структури залізничного транспорту, все більше стає компонентом міської, регіональної інфраструктури, який об'єднує як транспортні системи, так і соціальні обслуговуючі системи [3,4].

Умови господарювання та економічні вимоги до розвитку пасажирського комплексу при обслуговуванні пасажирів високошвидкісних магістралей вимагають використовувати вокзали як транспортні термінали і багатофункціональні комплекси. До вокзальних комплексів входять пасажирські, адміністративні та господарські будівлі, колії, системи сигналізації та зв'язку, електрифікації та електропостачання, готелі, офіси, торгові центри, заклади культури та харчування. У сфері обслуговування клієнтів головне – зручність і комфорт. Організація роботи пасажирського вокзального комплексу дає можливість перейти на новий рівень в роботі. Перш за все, це впровадження сучасних технологій і розширення спектра послуг для пасажирів [9].

Можна виділити ряд принципів сервісного обслуговування, які повинні враховуватися підприємствами залізнич-

ного транспорту для підвищення рівня сервісного обслуговування пасажирів високошвидкісних поїздів на вокзалах України:

- широкий спектр пропозицій сервісних послуг, додатково до основних послуг пасажирських перевезень, на лініях ВШМ виконання комплексних послуг. Пасажири повинні бути інформовані про сервісні послуги, які надаються на вокзалах (на станціях відправлення та призначення) та у вагонах на шляху прямування. Пасажирське господарство, його сервісні структури повинні приймати тільки ті зобов'язання, виконання яких можуть гарантувати, у протилежному випадку вони приречені на поразку в конкурентній боротьбі [5];

- необов'язковість використання клієнтом сервісних послуг. Працівники пасажирського господарства і структур не повинні їх нав'язувати пасажирю;

- еластичність сервісу. Сервісні послуги повинні пропонуватися пасажирам від одиничних або мінімально необхідних до максимально доцільних, набір яких визначає сам пасажир;

- зручність сервісу. Сервіс повинен надаватися у тому місці, у такий час, у такій формі, які влаштовують пасажиря;

- технічна адекватність сервісу. Технічний рівень пасажирського рухомого складу і його оснащення повинен бути адекватний технології сервісу, у противному випадку не буде досягнуто відповідної якості сервісу. Пасажира цікавлять його проблеми, а не проблеми виробника сервісних послуг, тобто пасажирської компанії і її структур. Якість сервісу не повинна страждати від технічної недосконалості обладнання в поїздах і на вокзалах;

- інформаційна віддача сервісу. Підрозділи залізничного транспорту, що займаються пасажирськими перевезеннями, повинні прислухатися до інформації, яку можуть надати відповідні підрозділи щодо сегментів пасажиропотоку, реалізації товарів і послуг, оцінок і думок пасажирів, аналізу сервісу конкурентів;

- розумна цінова політика в сфері сервісу. Цінова політика в сервісі світових пасажирських перевезень може впливати на споживання пасажирами товарів і послуг не тільки залізничного транспорту, але і його партнерів при продажі пакетів послуг. Ціни повинні відповідати можливості придбання пасажирами сервісних послуг як на вокзалах, так і на шляху прямування. У цьому випадку сервіс повинен розглядатися не тільки як джерело додаткового прибутку, але і як інструмент зміцнення довіри між пасажирами й працівниками залізничного транспорту, а також партнерами по сервісному обслуговуванню;

- універсальний дизайн — це стратегія, спрямована на те, щоб проектування та наповнення різних типів середовищ, виробів, комунікацій, інформаційних технологій і послуг були доступні та зрозумілі всім і слугували для загального використання у якомога незалежний і природний спосіб [10]. Якщо послуги на залізничних вокзалах доступні для людей з інвалідністю та маломобільних груп населення (особи з тимчасовими порушеннями здоров'я, з дитячими колясками, вагітні жінки, люди похилого віку тощо), то отримуємо: визнання «заклад для всіх», тобто такий, що дотримується міжнародних стандартів щодо рівних «прав людини», забезпечується доступність послуг для всіх груп відвідувачів.

Сервіс на залізничному транспорті в сучасних умовах варто розглядати як систему забезпечення, що дозволяє поліпшити умови переміщення пасажирів на залізничному транспорті, підвищити його конкурентоспроможність на транспортному ринку (рисунок).

Таким чином, збільшується кількість пасажирів (клієнтів), підвищується конкурентоспроможність та імідж залізничного транспорту.

Здатність розуміти і задовольняти індивідуальні потреби пасажирів у поєднанні з можливістю отримати прибуток – запорука успішних компаній завтрашнього дня.



Рис. Схема основних принципів підвищення сервісного обслуговування пасажирів

Слід відмітити, що 2016 рік на залізницях України оголошено роком створення належних умов для доступу маломобільних пасажирів до об'єктів залізничної інфраструктури. У галузі вже розпочали втілювати відповідну програму з усунення бар'єрів, що перешкоджають людям з інвалідністю на рівні з іншими отримувати послуги на вокзалах та станціях. Зокрема на вокзалах деяких міст для зручності пасажирів з інвалідністю обладнані каси із заниженим підвіконням, а також обладнані спеціальні місця для паркування транспортних засобів, встановлені покажчики напрямку руху до пандусів у приміському павільйоні, оновлені носії інформації (пиктограми). Для пасажирів з вадами зору нанесені рельєфно – тактильні попередження по краях платформ. Загалом упродовж 2016 року технічними роботами зі створення кращих умов для людей з інвалідністю охоплено близько 100 вокзалів та станцій [1,10].

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному

напрямку. Одним з перспективних напрямків підвищення якості обслуговування пасажирів високошвидкісних магістралей на залізницях, безумовно, слід вважати оптимізацію асортименту послуг та удосконалення процесу транспортного обслуговування. За останній час Укрзалізницею ініційовано кілька перспективних заходів у цьому напрямку, які перш за все спрямовані на підвищення якості транспортних послуг.

Якість обслуговування пасажирів на вокзальних комплексах оцінити дуже складно, тому що наявний елемент очікування надання транспортної послуги у поїзді. Оскільки пасажирів, віддаючи при здійсненні поїздки перевагу залізниці та купуючи квиток, а потім і супутні послуги, формують доходи галузі, тому, розглядаючи вокзали як «візитну картку», недостатньо проводити тільки заходи, спрямовані на реконструкцію і відновлення як самих вокзалів, так і прилеглих до них територій. Необхідно створити для пасажирів максимальні зручності не тільки

при придбанні ними квитків, чеканні відправлення і прибуття потягів, а і визначенні оптимального маршруту переміщення, а також додаткові послуги,

щоб потенційні пасажирів мали постійне бажання користуватися залізницею та не віддавали перевагу іншим видам пасажирського транспорту.

Список використаних джерел

1. Офіційний сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.uz.gov.ua.
2. Аксенов, И. М. Концепция сервиса в сфере пассажирских перевозок [Текст] // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 1. – С. 11-15.
3. Иловайский, Н. Д. Сервис на транспорте (железнодорожном) [Текст] / Н.Д. Иловайский, Н.С. Киселев. – М.: Изд-во «Маршрут», 2003. – 585 с.
4. Бараш, Ю. С. Методика проведення досліджень стосовно підвищення ефективності управлінських рішень організації пасажирських перевезень [Текст] / Ю.С. Бараш // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2009. – С. 9-13.
5. Калініченко, О. І. Фактори, які формують конкурентоспроможність послуг залізничного транспорту [Текст] / О.І. Калініченко // Вісник економіки транспорту і промисловості. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 36. – С. 289 – 296.
6. Гудкова, В. П. Закономірності економічного розвитку сфери додаткового обслуговування пасажирів [Текст] / В.П. Гудкова // Зб. наук. праць КУЕТТ. Сер. Економіка і управління. – 2004. – Вип. 6. – С. 158–169.
7. Иванкова, Л. Н. Сервис на транспорте [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / Л. Н. Иванкова, А.Н. Иванов, А.В. Комаров. – М.: Изд-во «Маршрут», 2003. – С. 585.
8. Терёшина, Н. П. Экономика железнодорожного транспорта [Текст] : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / Н. П. Терёшина, В. Г. Галабурда, М.Ф. Трихунков и др. – М.: УМЦ ЖДТ, 2006. – С. 801.
9. Наумова, О. Е. Сервіс як фактор підвищення конкурентоспроможності залізничних пасажирських перевезень [Текст] / О. Е. Наумова, О.І. Антонова // Зб. наук. праць ДНУЗТ. Сер. Проблеми економіки транспорту. – 2012. – Вип. 3. – С. 62 –69.
10. 2016 рік оголошено Укрзалізницею роком створення належних умов для доступу мало мобільних пасажирів до об'єктів залізничної інфраструктури [Текст] // Українська залізниця. – 2016. – № 2. – С. 4.
11. High speed rail: Fast track to sustainable mobility. – 2012. – 36 p.
12. Ginés de Rus Economic Analysis of High Speed Rail in Europe/ Ginés de Rus, Ignacio Barrón, Javier Campos, Philippe Gagnepain, Chris Nash, Andreu Ulled, Roger Vickerman [Текст] // Fundación BBVA, 2009 Plaza de San Nicolás, 4. 48005 Bilbao.
13. W. Zhang, Peihao Nian, Guowei Lyu A multimodal approach to assessing accessibility of a high-speed railway station [Text] // Journal of Transport Geography. – 2016. - № 54. – С. 91-101.

Рецензент д-р техн. наук, професор О. М. Огар

Мкртичян Дмитро Ігорович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-11.

E-mail: katran0018@gmail.com.

Мороз Вікторія Сергіївна, магістр ІППК. Тел (050) 051-09-58. E-mail: vitysya333@mail.ru.

Mkrtychyan Dmitry Igorovich Ph. D, associate professor of the chair “Management of freight and commercial operation”. Tel.: 057-730-10-11.

Moroz Viktoriia Sergiivna, master IPPK. Tel. (050) 051-09-58. E-mail: vitysya333@mail.ru.

Стаття прийнята 22.08.2016 р.

УДК 656.224

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИМІСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ СТВОРЕННЯ ПАТ

Канд. техн. наук Д. В. Константинов, А. Ю. Кафанова, В. Ю. Зайцева, О. С. Миронюк

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ПЕРЕВОЗОК В УСЛОВИЯХ СОЗДАНИЯ ОАО

Канд. техн. наук Д. В. Константинов, А. Ю. Кафанова, В. Ю. Зайцева, О. С. Миронюк

ANALYSIS OF THE FUNCTIONING COMMUTER TRAFFIC IN TERMS OF CREATING JSC

Cand. of techn. sciences D.V. Konstantinoy, A. J. Kafanova, V. J. Zayceva, O. S. Mironyuk

У статті проведено аналіз функціонування приміських перевезень залізничного транспорту України в умовах створення ПАТ «Укрзалізниця». Розглянуто проблеми приміських пасажирських перевезень та актуальні шляхи їх вирішення. Запропоновано організаційно технологічні заходи з удосконалення планування і регулювання перевізного процесу в приміському сполученні. Поставлено основні задачі математичного моделювання систем прогнозування та оперативного регулювання приміських перевезень.

Ключові слова: приміські перевезення, реформа, пасажиропотік, ПАТ «Укрзалізниця», прогнозування, оперативне регулювання.

В статье проведен анализ функционирования пригородных перевозок железнодорожного транспорта Украины в условиях создания ОАО «Укрзалізниця». Рассмотрены проблемы пригородных пассажирских перевозок и актуальные пути их решения. Предложены организационно технологические мероприятия по усовершенствованию планирования и регулирования перевозочного процесса в пригородном сообщении. Поставлены основные задачи математического моделирования систем прогнозирования и оперативного регулирования пригородных перевозок.

Ключевые слова: пригородные перевозки, реформа, пассажиропоток, ОАО «Укрзалізниця», прогнозирование, оперативное регулирование.

The article gives an analysis of the functioning of suburban railway transportation in Ukraine. Besides, it examines the problems of suburban passenger traffic. The subjects of crisis, unprofitableness and some incompetence of the railways are touched upon in this article. Moreover, it proposes the reforms to improve and stabilize the financial situation of JSC «Ukrzaliznytsia». We consider the problem of the railway industry today. The condition and operation of the commuter traffic in terms of reform and the creation of an open joint stock company (JSC). Also, an analysis of the financial situation, which is unstable and unprofitable at the moment, in the past and this year. A reform plan for improving the condition and operation of the railway. The plan includes proposals for the consideration of transport costs, upgrading staff, motivating employees, employee training, improve the image of the railway and competitiveness. Delivered major problem of mathematical modeling and forecasting of operational management of commuter traffic.

Keywords: suburban transportation, reform, passenger traffic, JSC «Ukrzaliznytsia», prediction, operational control.

Вступ. Залізнична галузь України за останні декілька років демонструє негативну динаміку розвитку. Показники обсягів перевезень вантажів і пасажирів так і не вийшли на докризовий рівень і продовжують стрімко падати. Причинами падіння обсягів залізничних перевезень є загальний кризовий стан економіки, високий рівень фізичного зносу рухомого складу залізничного транспорту, технічна й технологічна відсталість залізничної інфраструктури, низький рівень організації перевізного процесу та неефективна робота галузі загалом, а також відсутність своєчасно проведених структурних та інституційних реформ. У поточному році скорочення залізничних перевезень значною мірою зумовлено бойовими діями на сході країни, які призвели до руйнування значної кількості об'єктів залізничної інфраструктури Донбасу.

Сьогоднішні проблеми залізничної галузі не лише унеможливають динамічний розвиток залізничного транспорту в перспективі, а й створюють загрози для економіки країни. Подальше погіршення фінансово-економічного стану залізничної галузі, втрата нею технічної й технологічної стійкості можуть призвести до неспроможності залізниць забезпечити в майбутньому потреби економічного зростання країни й негативно вплинути на функціонування інших галузей економіки, з якими залізничний транспорт України пов'язаний єдиним логістичним і технологічним ланцюгами.

Прийняття постанови "Про утворення публічного акціонерного товариства "Українська залізниця" є доленосним рішенням для розвитку залізничної галузі в Україні, початком розділення регуляторної та господарської функцій на залізничному транспорті загального користування, створення нової організаційної структури ПАТ «Укрзалізниця» та формування на залізничному транспорті вертикально інтегрованої виробничо-технологічної системи управління, структурованої за

видами діяльності, здатної ефективно функціонувати в умовах загострення міжнародної технологічної конкуренції.

Враховуючи сучасні норми європейського законодавства, у процесі реформування залізничної галузі необхідно здійснити організаційну, технічну й технологічну модернізацію залізничного транспорту, поступову демонополізацію галузі та запровадити ефективні ринкові механізми її функціонування й розвитку з метою динамічного нарощування обсягів перевезень вантажів і пасажирів відповідно до потреб соціально-економічного розвитку країни.

Дане дослідження виконано відповідно до «Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки», діючої за постановою КМУ №1106-2011-п від 26.10.2011 р., і Закону України «Про особливості утворення публічного акціонерного товариства залізничного транспорту загального користування».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині рівень зношеності інфраструктури та рухомого складу залізничного транспорту України сягнув критичної позначки і разом із катастрофічною нестачею інвестиційних ресурсів для їх відновлення та модернізації створюють масштабну державну проблему, унеможливають динамічний розвиток галузі та формують низку загроз для економіки країни. Зазначене вимагає зосередження уваги дослідників на практичних питаннях реформування галузі, формування нової організаційної структури ПАТ «Укрзалізниця», розвитку конкурентного середовища на ринку залізничних послуг.

Дослідженням проблемних питань розвитку та реформування залізничного транспорту в Україні, зокрема щодо удосконалення системи державного і господарського управління галуззю, формування вертикально-інтегрованої організаційної структури ПАТ «Укрзалізниця»,

стабілізації її фінансового стану та оновлення основних фондів, присвячено велику кількість наукових робіт українських учених.

Інвестиції в розвиток пасажирського рухомого складу значно нижче за необхідний рівень. Оновлення рухомого складу та інфраструктури проводиться дуже повільно, що негативно впливає на безпеку руху, призводить до скорочення міжремонтних термінів і, як результат, до зниження швидкості і можливості безпечної доставки вантажів і пасажирів. Головною причиною такої ситуації є недостатній рівень фінансування, що призводить до дефіциту капіталовкладень в оновлення основних фондів залізниці і закупівлю нового рухомого складу, як вагонів, так і локомотивів. Тому сьогодні ПАТ "Укрзалізниця" потребує інвестицій. При цьому присутній брак коштів через збитковість пасажирських і приміських перевезень, недостатнє відшкодування державою коштів, недоотриманих від перевезення пільгових категорій пасажирів [3].

У результаті систематичного зниження виділення коштів з держбюджету на оновлення пасажирського рухомого складу можливості залізниці в перевезенні пасажирів (без оновлення пасажирського парку) впродовж найближчих п'яти років можуть скоротитися з 60 мільйонів до 40 мільйонів пасажирів на рік. Оновлення тягового рухомого складу через відсутність фінансування також є катастрофічним [3].

У статті [3] зазначається, що для підвищення ефективності пасажирських перевезень необхідно провести низку заходів на конкретних об'єктах господарства: впровадити комплексну автоматизацію галузевих підприємств, вдосконалити їхні організаційні структури і технологічні процеси, чітко розмежувати функції управління залежно від виду сполучення. Перевезення пасажирів у приміському та прямому сполученні суттєво розрізняються за типом рухомого складу, особливостями організації графіка

руху, тарифами і системами реалізації проїзних документів, рівнем сервісу. Відрізняється і структура управління цих сполучень.

Згідно з роботою [3] оптимальним напрямком підвищення ефективності приміських перевезень пасажирів на залізничному транспорті є оптимізація графіка руху приміських поїздів. При організації приміських перевезень у тому вигляді, у якому вони існують на сьогоднішній день, вважалося, що приміські поїзди будуть курсувати на відстань не далі 150 км, а приміський рухомий склад розраховувався на більш високі швидкості порівняно з існуючими. На практиці ж деякі приміські поїзди курсують на відстань до 350 км (Київ-Хутір Михайлівський, Київ-Здолбунів). Тому перенаселеність – це не проблема нестачі рухомого складу, а проблема недосконалості організації перевезень. Перевезення пасажирів на відстань більш ніж 150 км мають здійснюватися за внутрішньодержавним тарифом і належати до місцевого сполучення без застосування пільг, що діють у приміському сполученні [5]. Але все ж таки цього недостатньо для вирішення проблем і покращення роботи приміських перевезень і цю галузь потрібно досліджувати і далі.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даного дослідження є проведення аналізу сучасного стану та функціонування приміських перевезень на залізницях України в умовах реформування та створення публічних акціонерних товариств (ПАТ). Завдання дослідження є визначення існуючих проблем приміського сектора та пошук ефективних напрямів їх вирішення з визначенням подальших перспектив розвитку приміського сполучення.

Основна частина дослідження. Приміські пасажирські перевезення, що виконуються залізницями, – наймасовіші й найдоступніші для населення, але й найзбитковіші. Це зумовлює подальші напрямки їх розвитку: скорочення часу, що

витрачається на поїздки, зменшення витрат і поліпшення інших показників якості обслуговування пасажирів. Завдання розвитку таких перевезень багатопланове і складне, оскільки насправді вимагає особливого підходу як до визначення обсягу змінного пасажиропотоку на станціях, ділянках, напрямках, так і до розвитку інфраструктури й компенсації збитків. Соціальна значущість таких перевезень полягає в тому, що залізниця краще за інші види транспорту пристосовані до освоєння значних приміських пасажиропотоків, забезпечуючи при цьому високу надійність і регулярність сполучення у всі пори року, що і визначає в загальному обсязі приміських пасажирів значну частку осіб, що здійснюють поїздки на роботу і з роботи залізничним транспортом. Ринок пасажирських транспортних послуг представлений внутрішньоміськими, приміськими, регіональними й міжнародними видами пасажирських перевезень. Кожен з них характеризується різною місткістю ринку, видом і рівнем конкуренції, мотивацією поїздки й еластичністю попиту [1].

Для населення, що здійснює щоденні поїздки в приміському сполученні на

роботу й навчання, основним видом транспорту залишається залізничний через його високу провізну здатність, надійність і регулярність руху. Велику соціальну роль приміський залізничний транспорт відіграє і в перевезеннях міського населення на дачні ділянки, до місць масового відпочинку. Крім того, приміським поїздам належить значна частка у внутрішньоміських перевезеннях. На окремих напрямках приміські поїзди працюють і на довших маршрутах, об'єднуючи приміські зони великих міст. Розподіл пасажирських перевезень за видами сполучення має важливе практичне значення для організації перевезень пасажирів, їх планування й економічного аналізу роботи залізниць, вдосконалення тарифів. Від структури пасажирських перевезень за видами сполучення залежать економічні показники роботи залізниць. Пояснюється це відмінністю собівартості дальніх і приміських перевезень, їх оплатою за різними тарифами. З цією метою на залізничному транспорті на рівні дирекцій, залізниць і по мережі в цілому ведеться роздільний облік витрат і доходів за видами сполучення. Приміські перевезення стійко займають перше місце за кількістю перевезених пасажирів [1] (таблиця).

Таблиця

Обсяги пасажирських перевезень за видами сполучень у 2015-2016 роках (млн пас.км)

	План 2015 рік	Очікуваний звіт 2015 рік	Прогноз 2016 рік	Відхилення, % 2016 / план 2015	Відхилення, % 2016 / очікування 2015
Пасажирообіг, у т. ч.	33 683,0	35525,2	35 596,3	5,7	0,2
- міжнародне сполучення	1 261,8	1371,1	1 372,3	8,8	0,1
- внутрішнє сполучення	16 062,2	17591,6	17 719,0	10,3	0,7
- приміське сполучення	16 359,0	16562,5	16 505,0	0,9	-0,3
У т. ч. філія УЗШК	1707,0	1675,0	2058,0	20,6	22,9

У 2016 році залізниця прогнозує незначне збільшення обсягів пасажирських

перевезень. Послугами залізниць планується надати 437,8 млн пасажирів, що

більше за план 2015 року на 16,5 млн пасажирів (3,9 %), до очікуваного звіту – на 132 тис. пасажирів. Пасажирообіг на 2016 рік заплановано в обсязі 35596,3 млн пас.км, що більше за план 2015 року на 5,7 % та очікуваного звіту 2015 року на 0,2 %. У приміському сполученні пасажирообіг прогнозується на рівні 16505 млн пас.км, що більше за план 2015 року на 0,9 % (146 млн пас.км), до очікуваного звіту обсяг зменшиться на 0,3 %. Планується 16 поїздів приміського сполучення після модернізації перевести до категорії міжрегіональних поїздів прямого сполучення [1].

Загальні пасажиропотоки на приміському сполученні по всіх видах транспорту велетенські. Навіть у кризу 2014 року вони не впали. Цей обсяг дозволяє заробляти здебільшого сегменту автобусних перевезень і регіональні залізничні компанії цілком могли б перетягнути в нього значний обсяг пасажиропотоку, потрібний для виживання залізниці.

Однак при всій своїй значущості сучасні приміські перевезення мають значні проблеми:

1. Загальна збитковість, що є причиною низьких доходів від перевезень і відсутності повноцінної дотаційної підтримки з боку держави. Приміські тарифи є занадто низькими порівняно з високим рівнем експлуатаційних витрат на перевезення, а також з урахуванням великої кількості пільгових пасажирів і «зайців». До того ж компенсації з боку держави за перевезення пільговиків є занадто малими, щоб покривати витрати.

2. Високий рівень зносу приміського рухомого складу і загальний його дефіцит, що є причиною занадто повільних темпів оновлення парку приміських поїздів. Загальний знос вже перевищив значення 80 % загального парку приміського рухомого складу, і поступово зростає. Безумовно, оновлення засобів перевезення відбувається поступово, але його темпи не

є достатніми для забезпечення зростаючих вимог щодо якості і сервісу. До того ж нових зразків приміського рухомого складу, що відрізняються більшим рівнем комфорту, ще занадто мало, а експлуатація діючих здійснюється з підвищеною інтенсивністю, що пришвидшує їх знос.

3. Недосконалість діючої організації приміських перевезень і технологій регулювання рухомого складу і розмірів руху, що є причиною відсутності якісних систем планування та оперативного управління приміськими перевезеннями на основі точного прогнозування перевезень та автоматизованого регулювання руху.

У сучасних умовах створення ПАТ «Укрзалізниця» питання удосконалення роботи сектора приміських перевезень з перспективою можливої майбутньої їх приватизації є одним з найбільш важливих. Проблеми приміського сполучення дійшли вже такого рівня, що їх погіршення вже створює загальні застійні процеси в розвитку всієї залізничної галузі в цілому. Отже актуальним є пошук всіх можливих способів вирішення проблем приміських перевезень.

У статті [4] запропоновано свіжі ідеї організаційного реформування приміського комплексу, які заслуговують на детальніший аналіз. Отже, за роботою [4], було б доцільно утворити декілька (за територіальним принципом нині існуючих залізниць) регіональних приміських пасажирських залізничних компаній. Найбільш оптимально було б створити Галицьку регіональну залізничну компанію (Львівська, Тернопільська, Івано-Франківська, Чернівецька, Закарпатська область), Волинську (Волинська і Рівненська області), Київську (Київська та Житомирська області), Сіверську (Чернігівська та Сумська області), Південну (Одеська, Миколаївська, Херсонська області), Подільсько-Черкаську (Хмельницька, Вінницька, Черкаська, Кіровоградська області), Слобожанську (Полтавська, Харківська області, північ

Луганської і Донецької областей), Дніпровську (Дніпропетровська, Запорізька області, Маріуполь).

Отже, вісім (чи п'ять) регіональних залізничних компаній створено. На їх баланс передано наявний рухомий пасажирський склад (у більшості випадків – просто руїни на колесах). У бюджетах областей нема коштів, щоб його утримувати, ремонтувати, покривати збитки. Приміські перевезення приречені бути ліквідованими повністю? Якщо здійснити низку кроків, то шанс вижити у приміських перевезеннях в Україні з'являється [4].

По-перше, підібрати в кожному регіоні компанію молоді амбіційні кадри, провести для них профільне стажування в Польщі та інших країнах ЄС і поставити умову – велика зарплата за умови досягнення певних цілей. Цілі мають бути прописані чітко. Терміни вказані реалістичні. Оскільки компанії створюватимуться з нуля – з'являється можливість значно зменшити затрати на штат і лишити на роботі лише необхідних фахівців, оптимальну кількість працівників-залізничників [4].

По-друге, перш ніж передати наявний рухомий склад на баланс регіональних залізничних компаній, потрібно зобов'язати УЗ провести модернізацію локомотивів, щоб зменшити споживання палива як мінімум на 30 %, споживання мастила – на 90 %. Під такі програми модернізації західні фінансові установи кошти надають доволі охоче. Після того як УЗ перестане покривати збитки регіональних компаній, вона за 5 перших років зекономить не менше 15 млрд грн. Зважаючи на це, УЗ в перші три роки реформи повинна інвестувати в модернізацію приміського рухомого складу не менше 5 млрд грн за три роки (з власних прибутків). Новий, або глибоко модернізований, рухомий склад регіональні залізничні компанії поставлять на найбільш затребувані маршрути і він стане головним генератором прибутків.

Фактор швидкості і комфорту дозволить скласти конкуренцію маршруткам [4].

По-третє, держава повинна надати на 15 років право РЗК не платити за доступ до інфраструктури [4].

По-четверте, здійснити низку важливих кроків з покращення іміджу приміських перевезень, продемонструвати унікальні переваги над маршрутками чи автобусами і зберегти їх. Наприклад, приміські електрички дозволяють перевозити великогабаритний багаж, тут зручно перевозити велосипед, вони курсують пунктуально. Якість шляхів у регіонах додає приміським потягам також фактор більшої комфортності, а за фактором ціни, навіть якщо вартість квитка раптово підняти в рази – все одно вона буде нижчою [4].

Відтак, надалі необхідно підняти тарифи – у два-три рази, але так, щоб вони не були вищими за тарифи маршруток. Одночасно зробити максимально жорстким контроль – встановити турнікети, або ж придумати, як змусити провідників не брати "відкупні" в "зайців". Скасувати пільги на безкоштовний проїзд взагалі, але лишити пенсіонерам і студентам знижку в районі 50 % вартості квитка. При цьому необхідно ввести гнучку систему знижок у випадку придбання проїзного або завчасного придбання квитка.

Зрештою підходимо до найголовнішого – оптимізації маршрутної сітки. Ключова ідея створення регіональних залізничних компаній полягає в тому, що місцеві ради краще можуть проаналізувати потреби пасажирів і краще відслідковувати ефективність маршрутів. Існує проблема тиску популістів на владу громад, втім, якщо "бенкет оплачуватиме" громада самостійно, а не аморфний і далекий Київ, то в популізмі буде менше можливостей розвернутися [4].

Якщо впродовж року-півтора підняти вартість проїзду в приміському сполученні у два рази, через вливання коштів у модернізацію зменшити реальну витрату

пального та паливно-мастильних матеріалів на 30 і 90 % відповідно, привести розмір штатних працівників відповідно до економічних потреб, тобто орієнтовно зменшити на третину, скасувати безкоштовний проїзд, ввести гнучку систему тарифної сітки, за необхідності зменшити кількість рейсів, але покращити їх стикування та швидкість, ввести жорсткий контроль і знищувати будь-які можливості маніпулювання матеріальними засобами чи штрафами, побороти корупцію як серед провідників, так і адміністрації, відмовитися від утримання надлишкової інфраструктури і нерухомості, то роботу майбутніх регіональних приміських залізничних компаній можна вивести, принаймні, у нуль за три-чотири роки [4].

Багато що з цього вже зробила Польща, але там експеримент поки що не вийшов у прибуток з однієї простої причини – у поляків є власні автомобілі і вони віддають перевагу цьому виду транспорту [4]. Польським приміським компаніям тепер доводиться інвестувати шалені суми у придбання люксового рухомого складу, аби пасажир почувався в ньому краще і зручніше, ніж у своєму авто. Тому відсутність автомобілів і, що не менш важливо, доріг в Україні дозволяє сподіватися на кращий результат у нас. Ще як приклад, експлуатація ПАТ «РЖД» поїзда Москва-Ніцца свідчить, що навіть при вартості квитків понад 1000 євро (вдвічі дорожче за авіаквитки) всі квитки розкуповуються. Отже, завжди є сегмент пасажирів з потребою в більш високому

рівні співвідношення "ціна-якість". І цей сегмент перевезень можуть зайняти перевізники за участю приватного капіталу, здатного інвестувати в оновлення і розвиток рухомого складу [4].

Однак всі перераховані заходи не будуть мати достатньо високої ефективності, якщо будуть впроваджуватись без урахування необхідності удосконалення технологій перевізного процесу, а саме прогнозування та оперативного регулювання перевезень [9,10].

Завдання прогнозування в загальному вигляді зводиться до оцінки майбутніх значень впорядкованих у часі даних на основі аналізу та виявлення складних залежностей у вже існуючих даних. Враховуючи значні коливання пасажиропотоків протягом доби та нерівномірність графіка відправлення приміських поїздів на напрямку, що розглядається (як і по всіх інших напрямках), з метою оптимізації процесу прогнозування та адаптації до коливань і нечіткості вхідної інформації вирішено розділити вихідну вибірку (дані відправлення за добу) на періоди (8 періодів по 3 години) (рисунок). Це дасть змогу наблизитись до більш чітких значень і на основі спрогнозованих даних отримати достатній період часу на проведення оперативних регулювальних заходів [6].

Вихідною інформацією для проведення прогнозування є часовий ряд, що складається зі значень у послідовні моменти часу. Тому загальний вигляд задачі прогнозування буде

$$\mathbf{X} = (X_t, X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-d-1}, X_{t-d}) \rightarrow y_{t+1} = f(\mathbf{X}), \quad (1)$$

де $\mathbf{X} = (X_t, X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-d-1}, X_{t-d})$ – значення пасажиропотоку в певні періоди доби t , що подаються на вхід моделі, з глибиною занурення d ;

$y_{t+1} = f(\mathbf{X})$ – прогнозне значення пасажиропотоку на наступний період доби $t+1$, що залежить від значення входу.

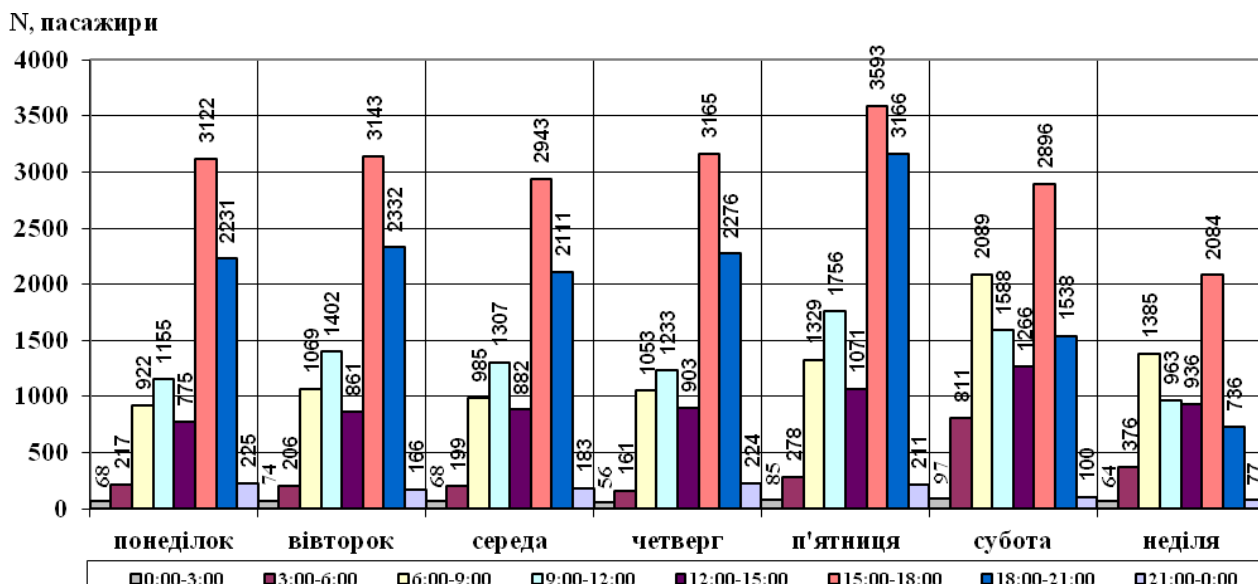


Рис. Динаміки відправлення пасажирів у приміському сполученні по годинах доби в Казачанському напрямку ст. Харків-Пасажирський

Впровадження оперативного регулювання приміськими перевезеннями з використанням нових зразків рухомого складу, таких як рейковий автобус, на основі передових досягнень у галузі інтелектуальних технологій є одним з найперспективніших шляхів розвитку галузі. Реалізація оперативної технології потребує надання системі управління адаптації та сприятливості до змін ситуації на ринку перевезень, що обумовлює необхідність розроблення та впровадження систем підтримки прийняття рішень (СППР), спрямованих на оптимізацію процесу прийняття оперативних рішень на всіх рівнях управління приміським пасажирським комплексом [7].

Можливі варіанти вирішення завдання оперативного регулювання приміського рухомого складу залежать від трьох основних параметрів технологічного процесу в приміському русі: очікуваних темпів зміни пасажиропотоку ΔA , отриманих за прогнозом надходження пасажирів на транспорт, коефіцієнта використання місткості приміських пасажирських поїздів α даного напрямку на момент розрахунку та достатнього часу на реалізацію оперативного регулювання $t_{об}$ в умовах обмеження за розкладом руху [7]. Таким чином, задача розроблення відповідних рішень для оперативного регулювання композиції состава полягає у виконанні відображення

$$X = (\Delta A, \alpha, t_{об}) \rightarrow D \in \{d_1, d_2, \dots, d_k\}, \tag{2}$$

де d_1 - збільшити кількість секцій;
 d_2 - зменшити кількість секцій;
 d_3 - не виконувати оперативне регулювання;

d_4 - призначити додатковий електропоїзд;
 d_5 - відмінити електропоїзд;
 d_6 - призначити рейковий автобус і відмінити електропоїзд;

d_7 - відмінити рейковий автобус і призначити електропоїзд [7].

Також можливим вирішенням питання оптимізації використання приміського рухомого складу в умовах впровадження оперативного регулювання композиції приміських поїздів може бути розроблення нових гнучких схем курсування, заснованих на принципах адаптації до рівня попиту та мінімізації витрат на перевезення [8]. Всі можливі варіанти організації прямування приміських поїздів у певному маршруті в мережі складаються з суми витрат на станції відправлення та на шляху прямування на організацію кожного X_{ij} -го приміського маршруту. Позначивши витрати на організації маршруту через C_{ij}^n (об'єм оперативно-регулювальної роботи, тобто фізична кількість секцій чи вагонів, що необхідно причепити або відчепити), і витрати на шляху прямування через недонаселеність $N = 100\% - H_{ij}^n$ (H_{ij}^n - населеність на вагон), можна сформулювати задачу оптимізації вибору приміських маршрутів

$$\sum_{n=1}^p x_{ij}^n (C_{ij}^n + N_{ij}^n) \Rightarrow \min, \quad (3)$$

де X_{ij} - певний приміський маршрут на певному напрямку в певний період часу.

Таким чином, задача розроблення відповідних рішень для оперативного регулювання композиції состава полягає у виконанні відображення [8]

$$X = (C_{ij}^n, H_{ij}^n) \rightarrow D \in \{d_1, d_2, \dots, d_k\}, \quad (4)$$

де d_1 - доцільність призначення 100 %;

d_2 - доцільність призначення 87,5 %;

d_3 - доцільність призначення 75 %;

d_4 - доцільність призначення 62,5 %;

d_5 - доцільність призначення 50 %.

d_6 - доцільність призначення 37,5 %;

d_7 - доцільність призначення 25 %;

d_8 - доцільність призначення 12,5 %;

d_9 - доцільність призначення 0 %.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Розроблення і впровадження на основі запропонованих завдань комплексу моделей системи оперативного регулювання приміськими перевезеннями у комплексі з системою прогнозування приміських пасажиропотоків і системою підтримки прийняття рішення стосовно оперативного регулювання композиції приміських поїздів дозволить комплексно удосконалити організацію приміських пасажирських перевезень з можливістю подальшої інтеграції та розвитку її в системі АСКПШУЗ. У результаті реалізації всіх вищезазначених заходів нова технологія організації дозволить раціонально забезпечити попит пасажирів при підвищенні рівня рентабельності приміського рухомого складу та продуктивності перевезень, що у свою чергу вплине на зниження експлуатаційних витрат.

Список використаних джерел

1. Михайличенко, К. М. Удосконалення механізмів реформування та розвитку залізничного транспорту в контексті реалізації структурних реформ в галузі (аналітична записка) [Електронний ресурс] / К.М. Михайличенко, О.В. Собкевич. – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/1662> (дата звернення 20.07.2016).

2. Михайличенко, К.М. Розвиток залізничного транспорту України в умовах здійснення структурних реформ у галузі та забезпечення економічної безпеки держави [Електронний

ресурс] / К.М. Михайличенко // Архів 2014 р. – Режим доступу: <http://www.ekuzt.gov.ua/node/109> (дата звернення 20.07.2016).

3. Елагин, Ю. В. Проблемы и подходы обновления пассажирского подвижного состава [Электронный ресурс] / Ю.В. Елагин // Архів 2014 р. – Режим доступа: <http://www.ekuzt.gov.ua/node/146> (дата обращения 20.07.2016).

4. Грошовський, І. Яка реформа потрібна приміському залізничному транспорту [Електронний ресурс] / І. Грошовський. – Режим доступу: http://cfts.org.ua/blogs/yaka_reforma_potribna_primiskomu_zaliznichnomu_spoluchennyu_39. (дата звернення 20.07.2016).

5. Транспортно-комунікаційний комплекс «Напрями вдосконалення пасажирських та вантажних перевезень в Україні» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://labook.com.ua/book_transportno-komunikacijnij-kompleks_784/4_3.-napryami-vdoskonalennya-pasazhirskih-ta-vantazhnih-perevezen-v-ukrani (дата звернення 20.07.2016).

6. Константинов, Д. В. Моделирование системы оперативного прогнозирования пассажиропотоков в приміському сполученні на основі використання інтелектуальних технологій [Текст] / Т.В. Бутько, Д.В. Константинов, Т.О. Деревянко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харків, 2009. – №1/3(37). – С. 43–47.

7. Константинов, Д. В. Розробка системи підтримки прийняття рішень з застосуванням нейро-нечіткого моделювання для реалізації оперативного регулювання композиції составів у приміському сполученні [Текст] / Д.В. Константинов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С. 68–81.

8. Константинов, Д. В. Моделирование оперативного регулирования маршрутами приміського руху на основі нечіткої логіки та нейронних мереж [Текст] / Т.В. Бутько, Д.В. Константинов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – №1(80)'. – С. 13–19.

9. Rahman S. Understanding the determinants of demand for public transport: Evidence from suburban rail operations in five divisions of Indian Railways / Syed Rahman, Chandra Balijepalli // Transport Policy. – May 2016. – Vol.48. – P. 13-22.

10. Li X. Applicative suburban line pattern of urban rail transit in China / Xiuping Li, Tao Yang, Quan Shi // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – November 2013. – Vol.96. – P. 2260-2266.

Рецензент д-р техн. наук, професор О. В. Лаврухін

Константинов Денис Володимирович, канд. техн. наук, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-88. E-mail: kdv1984@ukr.net.

Кафанова Альона Юріївна, студентка гр. МЗ-ОПУТ-Б-15 Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 0990575932. E-mail: alenska_92@gmail.com.

Зайцева Валерія Юріївна, студентка групи МЗ-ОПУТ-Б-14 Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 0938490310. E-mail: alenska_92@gmail.com.

Миронюк Ольга Сергіївна, студентка групи 21-VI-ОПУТм Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 0990575932. E-mail: olga.olga.021191@gmail.com.

Denis Konstantinov, cand. of techn. sciences, Department of operational work Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-88. E-mail: kdv1984@ukr.net.

Kafanova Alona Yuriiivna, student of group MZ-OPUT-B-15 Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 0990575932. E-mail: alenska_92@gmail.com.

Zayceva Valeriya Yuriiivna, student of group MZ-OPUT-B-14 Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 0938490310. E-mail: alenska_92@gmail.com.

Mironyuk Olga Sergeyevna, student of group 21-VI-OPUTm Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 0990575932. E-mail: olga.olga.021191@gmail.com.

Стаття прийнята 23.08.2016 р.

УДК 629.423.31

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Д-р техн. наук А. П. Фалендиш, О. Б. Коломієць, інж. І. Р. Вихопень,
канд. техн. наук С. М. Тихонравов

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Д-р техн. наук А. П. Фалендыш, О. Б. Коломиец, инж. И. Р. Выхопень,
канд. техн. наук С. Н. Тихонравов

MODEL OF TECHNICAL EVALUATION TRACTION ENGINES OF MOTOR-WAGON ROLLING STOCK

Ph.D. prof. A. P. Falendysh, O. B. Kolomiets, I. R. Vihopen,
cand. of techn. sciences S. M. Tykhonravov

У даній статті надано опис моделі діагностування технічного стану основних вузлів тягових електродвигунів моторвагонного рухомого складу на основі інформаційно-статистичного методу контролю складних систем. Приведено перелік основних параметрів контролю стану систем тягового двигуна, допустимі значення їх величин. Представлено алгоритм розрахунку на основі даних, отриманих під час діагностування, наведено формули та пояснення до них.

Ключові слова: діагностування, технічний стан, тяговий двигун, моторвагонний рухомий склад.

В данной статье представлено описание модели диагностирования технического состояния основных узлов тяговых электродвигателей мотор-вагонного подвижного состава на основе информационно-статистического метода контроля сложных систем. Приведен перечень основных параметров контроля состояния систем тягового двигателя, допустимые значения их величин. Представлен алгоритм расчета на основе данных, полученных во время диагностирования, приведены формулы и пояснения к ним.

Ключевые слова: диагностирование, техническое состояние, тяговый двигатель, моторвагонный подвижной состав.

This article presents the description of the proposed model of diagnosing the technical condition of the basic units of the traction motors on the example of multiple units. Traction motor is one of the nodes, which is subjected to the greatest effects of various factors occurring during operation. Dynamic loads of interaction with irregularities in the way environmental influences (weather conditions) - the factors, as a result of which, the traction motors are often the causes of the long downtime of the rolling stock for repairs. Timely detection, and most importantly the ability to predict the future technical condition, is a major diagnostic challenge.

Based on the structural features of the structure of the traction motors implemented grouping parameters undergoing diagnosis. Grouping is performed on the main engine system, such as the skeleton, and the magnetic system; anchor bearings, I brush collector node anchor. A list of the specific parameters of the diagnosis are presented in tabular form indicating the limit values of these parameters in accordance with the rules of repair of traction motors railcar rolling stock.

When checking the technical condition of the traction motor system as a whole as the main task solved in the course of work on the model is to determine the optimal deflection areas of diagnosed parameters according to one of the two states, which may be the traction motor.

Running diagnostics traction motor is based on information and statistical method of controlling complex systems. To do this, given the probabilistic - graphical model ties deviation parameters, states, and presented to the calculation of the conditional entropy.

Using the rules of algebra of events given in the text is built randomly oriented graph illustrating the way of occurrence of those or other variations depending on the received initial diagnosis parameters, which in turn are grouped on the main traction motor systems.

To assess the state of the traction motor is applied entropy evaluation method. The basic concepts and formulas for the calculation, detailed explanation of the calculation algorithm.

In order to test the present model of diagnosing the technical condition of the traction motors multiple units, calculations were carried out to assess the condition of the engines of the RT-51 electric railcar depot ER9 electric trainset Odessa-Zastav-1.

Implemented conclusions regarding the material presented above, and presented to them in the main text of the article.

Keywords: *diagnostics, technical condition, traction motor, multiple unit.*

Вступ. Тягові електродвигуни є одними з елементів тягового рухомого складу (ТРС), що найбільше піддається впливу шкідливих факторів, що виникають під час експлуатації. Фізичні та динамічні навантаження, вплив різноманітних факторів природного і технічного характеру – все це жорстко позначається на їх технічному стані. Незважаючи на інтенсивні пошуки методів удосконалення конструкції самих тягових двигунів, конструкції їх установки та реалізації передачі сили тяги з якоря на колісну пару, вони залишаються одними з елементів, що найчастіше виходять з ладу. Одним із шляхів вирішення даної проблеми може стати розроблення і впровадження новітніх методів технічного діагностування.

Технічна діагностика – сфера знань, що охоплює теорію, методи і засоби визначення технічного стану об'єктів. Сам же процес діагностування являє собою комплекс заходів (алгоритм розрахунку), спрямований на визначення технічного стану об'єкта діагностики. Завданнями технічного діагностування є контроль технічного стану; пошук місця і визначення причин відмови (несправності); прогнозування технічного стану [1].

Застосування різноманітних методів діагностики стану вузлів та агрегатів на залізничному транспорті є важливою складовою процесу вдосконалення галузі в цілому. Тому необхідно розробити нові, сучасні методи проведення технічного діагностування тягових електричних двигунів електропоїздів, які будуть враховувати як їх конструкцію, так і сучасні засоби діагностування. Це дозволить значною мірою зменшити витрати на експлуатацію та обслуговування тягових двигунів і тягового рухомого складу в цілому.

Мета статті. Метою статті є розроблення моделі оцінки технічного стану тягових двигунів моторвагонного рухомого складу, яка буде враховувати як конструкцію двигунів, так і сучасні засоби діагностування їх.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Висока актуальність теми розроблення нових, сучасних методів діагностики рухомого складу і його складових до і після проведення ремонту та випробувань яскраво підтверджується наявністю великої кількості статей і наукових праць, представлених у періодичних виданнях технічного

характеру [2-11]. Немаловажне значення діагностування тягових двигунів, як основних вузлів рухомого складу, має при проведенні приймальних, експлуатаційних і сертифікаційних випробувань ТРС та виборі системи його експлуатації [2-5].

Аналіз робіт з діагностування тягових двигунів показав, що одними з запропонованих варіантів методів діагностики є діагностування їх стану на основі спектрального аналізу. Так, за даною схемою пропонується виконання діагностування стану ізоляції тягових двигунів електровозів за допомогою наноінтерферометричних оптоволоконних датчиків. Увагу загострено на параметрі нагріву ізоляції обмоток магнітної системи основа тягового двигуна. Виходячи з представлених даних експлуатації, пошкодження обмоток є однією з основних причин виходу з ладу тягових двигунів [6].

Іншим із шляхів застосування спектрального аналізу є метод діагностування магнітної системи та колекторно-щіткового апарату тягових двигунів на основі двошарової розпізнавальної системи. Також даний метод пропонується до застосування при контролі стану колісномоторних блоків [7].

Для спрощення процесу діагностування за рахунок скорочення кількості параметрів, які потрібно відслідковувати, пропонуються універсальні параметри, які б відображували увесь технічний стан тягового двигуна в комплексі. Як варіант, запропоновано використання частоти обертів вала якоря тягового двигуна, а саме порівняння нерівномірності його обертання [8].

Не менш значними є результати з досліджень стану обмоток тягових двигунів під час проведення випробувань методом взаємного навантаження. На основі них висунуто пропозиції щодо вдосконалення методу проведення випробування [9-11,14]. З метою підвищення надійності роботи

тягових двигунів електропоїздів запропоновано виконання модернізації конструкції якорних обмоток. В основному це стосується модернізації ізоляції обмоток, застосування новітніх ізоляційних матеріалів [11]. Але питанням систематизації усіх запропонованих методів з діагностування тягових двигунів приділяється недостатньо уваги. Тому розроблення моделі оцінки технічного стану тягових двигунів електропоїздів в умовах моторвагонного депо з урахуванням сучасної вимірювальної техніки є завданням своєчасним та актуальним.

Виклад матеріалу. Тяговий електродвигун моторвагонного рухомого складу, як об'єкт контролю й діагностування, являє собою складну електромеханічну систему, яка не піддається опису формалізованими методами. У тяговому двигуні (тд) можна виділити такі основні вузли (рис. 1): остов і магнітна система (ос); якорні підшипники (яп); якор (я); щіткоколекторний вузол (щк) [12].

У свою чергу в тяговому двигуні експертним методом на основі нормативно-технічної документації по двигуну виділено основні параметри його контролю X_i (табл. 1). При цьому тяговий двигун і його вузли можуть знаходитись у двох станах: справному $s_{1\text{тд}i}$ або несправному $s_{2\text{тд}i}$.

Введемо коефіцієнт відхилення отриманого параметра від нормативного $d_{\text{тд}xi}$, який будемо розраховувати за формулою

$$d_{\text{тд}xi} = d_{\text{тд_замір_}xi} / d_{\text{тд_норм_}xi}, \quad (1)$$

де $d_{\text{тд_замір_}xi}$ – значення i -го параметра, яке визначено під час контролю тягового двигуна;

$d_{\text{тд_норм_}xi}$ – нормативне значення i -го параметра контролю.

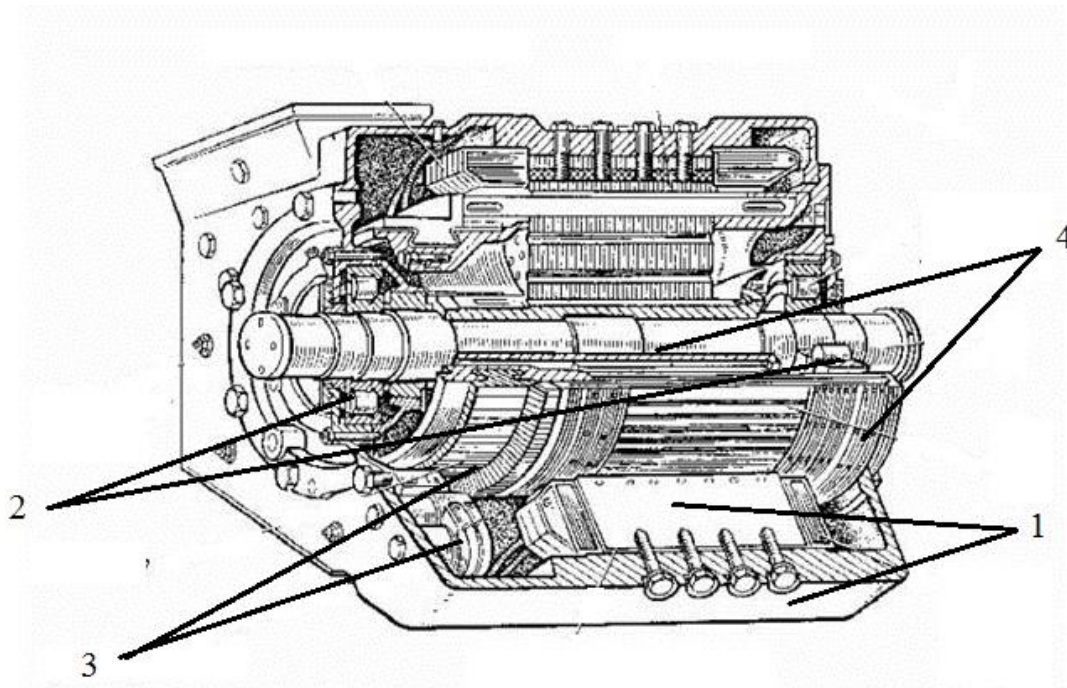


Рис. 1. Загальний вигляд тягового двигуна:
 1 – остов і магнітна система; 2- якірні підшипники;
 3 – щіткоколекторний вузол; 4 – якір

Таблиця 1

Основні параметри контролю тягового двигуна

Вузол тягового двигуна	Позначення параметра	Параметр контролю тягового двигуна	Позначення коефіцієнта відхилення параметра	Нормативне значення параметра
1	2	3	4	5
<i>Остов і магнітна система, d_{oc}</i>	X1	Знос носиків остова	$d_{тдх1}$	2-2,5
	X2	Знос моторно-осьової горловини	$d_{тдх2}$	210-213,5
	X3	Натяг МОП	$d_{тдх3}$	0,-0,25
	X4	Зазор між МОП і шийкою	$d_{тдх4}$	0,4
	X5	Осьовий розбіг ТЕД	$d_{тдх5}$	
	X6	Зазор під головними полюсами	$d_{тдх6}$	3,8-4,3
	X7	Зазор під додатковими полюсами	$d_{тдх7}$	3,5-4,2
	X8	Опір обмоток ТЕД	$d_{тдх8}$	1,1
<i>Якірні підшипники, $d_{яп}$</i>	X9	Радіальний зазор підшипника: з боку колектора	$d_{тдх9}$	0,14-0,25
	X10	з боку щіток	$d_{тдх10}$	0,11-0,25
	X11	Овальність гнізд посадки зовнішніх кілець	$d_{тдх11}$	0,1
	X12	Овальність горловини під підшипниковий щит	$d_{тдх12}$	0,1

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
Якір, $d_{я}$	X13	Овальність і биття шийки під якірним підшипником	$d_{тдх13}$	0,1
	X14	Осьовий розбіг якоря	$d_{тдх14}$	0,2-1,0
	X15	Опір ізоляції	$d_{тдх15}$	1,0
	X16	Міжвиткові замикання	$d_{тдх16}$	0
Щітково-колекторний вузол, $d_{щк}$	X17	Діаметр колектора	$d_{тдх17}$	465
	X18	Глибина продоріжки міканіту	$d_{тдх18}$	1-1,5
	X19	Натиск на щітку	$d_{тдх19}$	20-25
	X20	Висота щіток	$d_{тдх20}$	25-50
	X21	Зазор між щіткою та щіткотримачем по товщині	$d_{тдх21}$	0,072-0,4
	X22	Зазор між щіткою та щіткотримачем по ширині	$d_{тдх22}$	0,11-0,9
	X23	Глибина виробітки колектора	$d_{тдх23}$	Більше 0,5
	X24	Биття колектора	$d_{тдх24}$	Більше 2
	X25	Відхил щіток від нейтралі	$d_{тдх25}$	0,5

При контролі технічного стану тягового двигуна в цілому головне завдання полягає у визначенні оптимальних областей A_i ($i=0, n$) у просторі ознак x_i , відповідних одному з двох станів $S_{1тді}$ чи $S_{2тді}$, у яких може знаходитись тяговий двигун. При знаходженні вектора X в області A_0 робиться висновок про працездатність двигуна, а при виході вектора за межі A_0 ухвалюється гіпотеза про несправність окремих вузлів або його в цілому. Встановлення оптимальної границі припустимих областей A_0 і існування окремих гіпотез необхідно проводити за одним з прийнятих критеріїв якості: середньої втрати від неправильних рішень, середньої вартості і тривалості контролю та ін.

Виконувати діагностування тягового двигуна будемо на основі інформаційно-статистичного методу контролю складних систем, взявши за основу положення в роботі [13]. Для цього будемо імовірісно-графічну модель зв'язків відхилення параметрів, станів і розраховуємо їх умовну ентропію. Приймаючи за вершини події вихідного стану S_{im0} події відхилення

параметрів $d_{m\partial xi}$ і станів основних вузлів двигуна $d_{m\partial yj}$, а за спрямовані дуги - події цих змін $d_{m\partial dxi}$ і $d_{m\partial xiyj}$, одержимо орієнтований випадковий граф (рис. 2), де кожній незалежній події $d_{m\partial dxi}$ і $d_{m\partial xiyj}$ привласнюється ймовірність його здійснення p_{dxi} і p_{xiyj} . Кожна з цих імовірностей визначається на основі статистичного матеріалу, отриманого шляхом систематичного нагромадження результатів контролю параметрів тягових двигунів.

Користуючись правилами алгебри подій, можна виразити $d_{m\partial xi}$ і $d_{m\partial yj}$ через можливі шляхи до них з вихідного стану S_d . Як видно з графа, події $d_{m\partial dxi}$ можуть бути як простими, так і складними, а події $d_{m\partial yj}$, як правило, складними. Кожний з можливих шляхів з вершини S_d у вершину $d_{m\partial yj}$ представляється як логічний добуток елементарних шляхів між суміжними вершинами, тобто $L_{gyj} = d_{m\partial dxi} d_{m\partial xiyj}$, а вираження складної події – у вигляді суми

$$d_{m\partial yi} = \sum_{g=1}^k L_{gyj}.$$

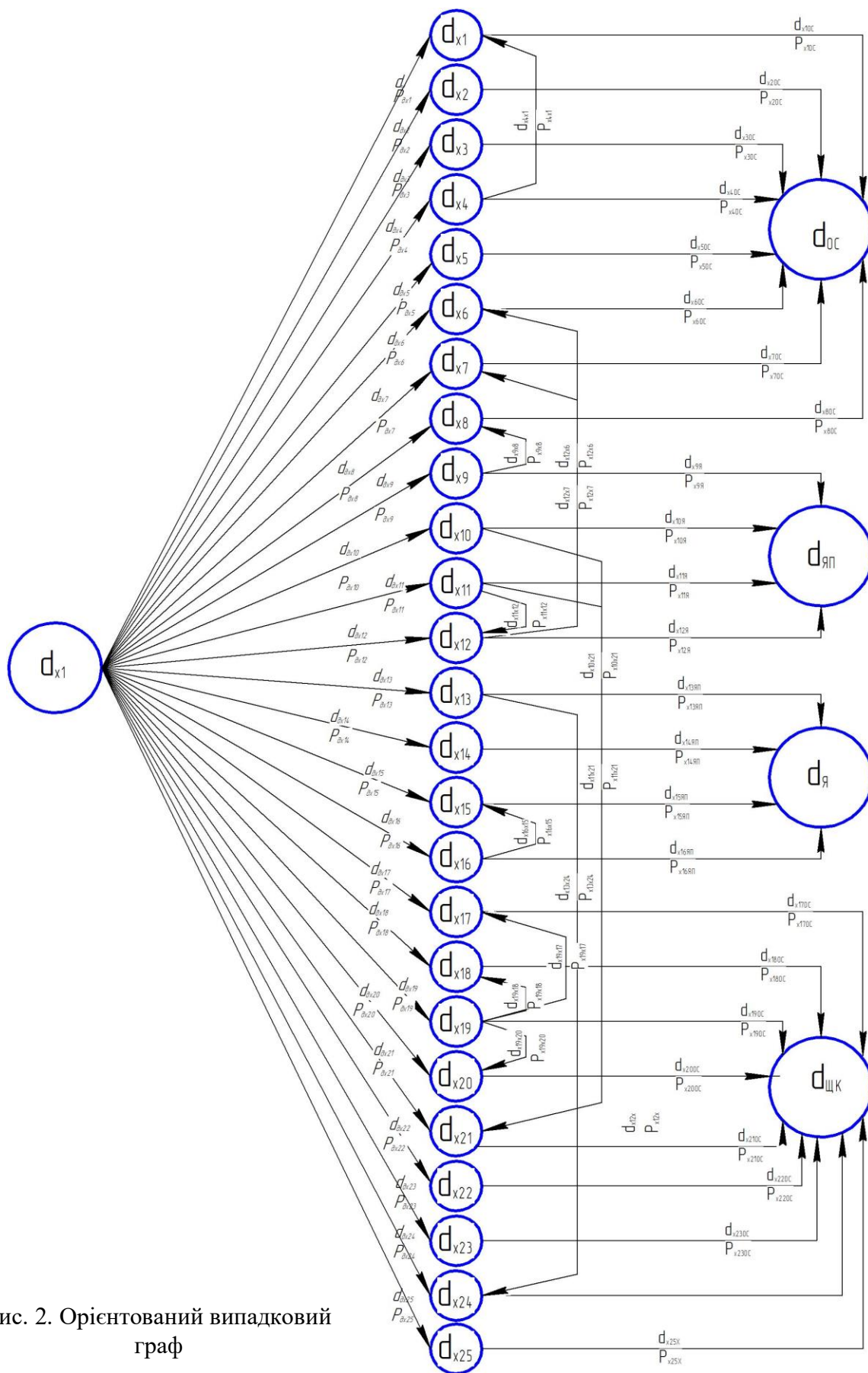


Рис. 2. Орієнтований випадковий граф

При комбінації відхилень параметрів $T_{xi\psi}^{yj}$ ($\psi \in \{1, 2^n\}$) складні події відхилення стану вузлів тягового двигуна також можуть спостерігатися в комбінаціях

$T_{xi\xi}^{yj}$ ($\xi \in \{1, 2^n\}$) станів двигуна, яких може бути будь-скільки. Для тягового двигуна кількість комбінацій по його основних вузлах подана в табл. 2.

Таблиця 2

Комбінації відхилень понад установлений допуск по вузлах двигуна

Вузол двигуна	Кількість параметрів діагностування	Кількість комбінацій відхилень понад установлений допуск
Остов і магнітна система	8	256
Якірні підшипники	4	16
Якір	4	16
Щіткоколекторний вузол	9	512

Для ентропійної оцінки стану тягового двигуна умовні ймовірності комбінацій відхилення параметрів $T_{xi\psi}^{yj}$ по отриманих при контролю комбінаціях відхилення стану вузлів $T_{yj\xi}$ визначаємо за формулою

$$P \cdot \left(\frac{T_{xi\psi}^{yj}}{T_{yj\xi}} \right) = \frac{P \cdot (T_{xi\psi}^{yj} \cdot T_{yj\xi})}{P \cdot (T_{yj\xi})}. \quad (2)$$

Ймовірності комбінацій подій $T_{xi\psi}^{yj}$ і $T_{yj\xi}$ визначаються через ймовірності окремих подій, зазначених на графі (рис. 2), за відомими формулами теорії ймовірностей.

$$E \cdot \left(\frac{T_{xi\psi}^{yj}}{T_{yj\xi}} \right) = - \sum_{\psi=1}^n \sum_{\xi=1}^m P \cdot \left(\frac{T_{xi\psi}^{yj}}{T_{yj\xi}} \right) \log_2 P \cdot \left(\frac{T_{xi\psi}^{yj}}{T_{yj\xi}} \right). \quad (3)$$

Ентропія служить кількісним заходом неупорядкованої деградації окремих вузлів або тягового двигуна в цілому і дає як кількісну оцінку технічного стану двигуна, так і якісну характеристику системи контролю й діагностування.

У складних системах, таких як ТЕД, вираження комбінацій подій $T_{xi\psi}^{yj}$, $T_{yj\xi}$ і $T_{yj\xi}$ для тягового двигуна отримуємо шляхом складання й перетворення матриці суміжності. Для цього процесу був розроблений відповідний алгоритм, написана програма в середовищі MatCad і зроблені відповідні розрахунки. Отримані значення умовної ймовірності комбінацій відхилення параметрів несуть інформацію про найбільш імовірні несправності й параметричні відмови у вузлах тягового двигуна.

Умовну ентропію, яка являє собою інтегральну оцінку рівня технічного стану тягового двигуна, розраховуємо за формулою

За даною моделлю були зроблені розрахунки з оцінки технічного стану тягових двигунів РТ-51 електропоїздів ЕР9 моторвагонного депо Одеса-Застава-1. Результати розрахунків в основному підтвердили задані міжремонтні пробіги

електропоїздів між ПР-3 по ремонту тягових двигунів.

Викладене дозволяє зробити такі висновки:

1. Класифікація методів контролю й діагностування тягових двигунів за основними ознаками дає можливість установити взаємозв'язок окремих методів і здійснити раціональний вибір їх для реалізації в системі контролю й діагностування.

2. Інформаційно-статистичний метод контролю технічного стану тягових двигунів електропоїздів, що визначається

на основі імовірнісної граф-моделі й використанні статистичних результатів контролю, дозволяють отримати інтегральну ентропійну оцінку стану двигуна. На її основі приймається рішення про підвищення надійності вузлів і вдосконалювання системи контролю й діагностування двигун.

3. У подальшому на базі значень ентропії необхідно розробити алгоритм інформаційної оцінки окремих параметрів контролю і їх комбінацій при контролі за інформаційним критерієм.

Список використаних джерел

1. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения [Текст]. – Введ. с 01.01.1991 г. – М.: ГК СССР по управлению качеством продукции и стандартами, 1989. – 132 с.
2. Особливості інформаційного обміну в процесі дистанційного моніторингу технічного стану і управління працездатністю енергоустановок залізничного транспорту з двигунами внутрішнього згорання [Текст] / І.В. Грицук, С.В. Панченко, А.О. Каграманян, А.П. Фалендиш // Залізничний транспорт України. – 2015. – №5. – С. 41-45.
3. Фалендиш, А. П. Визначення раціональної номенклатури контрольних параметрів експлуатаційних випробувань модернізованих тепловозів на працездатність [Текст] / А.П. Фалендиш, А.М. Зіньківський, М.І. Брагін, [та ін.] // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: Вид-во СХУ, 2013. – №18 (207). – Ч.2. – С. 89-95.
4. Тартаковський, Е. Д. Визначення режимів роботи під час експлуатаційних випробувань моторно-осьових підшипників [Текст] / Е.Д. Тартаковський, А.П. Фалендиш, Д.М. Коваленко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – Луганськ: СХУ ім. В.Даля, 2013. - №4 (193). – С. 247-253.
5. Фалендиш, А. П. Моделювання зміни коефіцієнта технічного використання маневрового тепловоза для різних систем утримання [Текст] / А.П. Фалендиш, А. Л. Сумцов, О. В. Артеменко, О. В. Клецька // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2016. – №1/3 (79). – С. 24-31.
6. Петров, М. Н. Диагностика изоляции тяговых электродвигателей электровозов на основе нано-интерферометрических оптоволоконных датчиков [Текст] / М.Н. Петров, А.И. Орленко, О.А. Терегулов, Э.В. Лукьянов //Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – №15. – С. 139-141.
7. Авилов, В. Д. Контроль технического состояния и оценка ресурса тяговых двигателей и колесно-моторных блоков подвижного состава [Текст] / В.Д. Авилов, В.В. Харламов, В.Н. Костюков // Сб. науч. раб. ОАО «РЖД». – 2006. – С. 28-32.
8. Бондар, Б. Є. Діагностування тягових електродвигунів за нерівномірністю обертання якоря [Текст] / Б.Є. Бондар, О.Б. Очкасов, Д.В. Черняєв, І.Я. Шевченко // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – Вип. 3(45). – С. 13-21.
9. Афанасов, А. М. Повышение энергетической эффективности испытаний тяговых электромашин постоянного и пульсирующего тока [Текст] / А.М. Афанасов // Електротехніка і електромеханіка. – 2015. – №1. – С. 12-15.

10. Афанасов, А. М. Развитие научных основ та вдосконалення енергоефективних методів випробування тягових електричних машин постійного та пульсуючого струму [Текст]: автореф. дис... д-ра техн. наук / А.М. Афанасов. – Дніпропетровськ, 2013. – 39 с.
11. Афанасов, А. М. Выбор рационального количества источников мощности системы взаимного нагружения тяговых электромашин [Текст] / А.М. Афанасов // Вісник НТУ „ХПІ“. – 2014. – №41(1084). – С. 37-43.
12. Руководство по устройству электропоездов ЭД9М, ЭД9Т, ЭР9П [Текст] / Д.М. Шеремет, С.А. Пономаренко. – М.: Центр Коммерческих разработок, 2005. – 128 с.
13. Шубников, П. Ф. Ремонт электрооборудования электроподвижного состава [Текст] / П.Ф. Шубников, С.Я. Мазо. – М.: Транспорт, 1986. – 317 с.
14. Deuzkiewicz P., Radkowski S. On-line condition monitoring of a power transmission of a rail vehicle [Текст] // Mechanical Systems and Signal Processing.-Volume 17, Issue 6. 2003.- P.1321-1334.

Фалендиш Анатолій Петрович, доктор техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-1999.
Коломієць Олександр Борисович, магістр, моторвагонне депо Одеса-Заставна-1.
Вихопень Іван Романович, інженер, ПАТ „Харківська ТЕЦ-5“.
Тихонравов Сергій Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: tihonravov@yahoo.com.

Falendysh Anatoliy, PhD, Professor of "Maintenance and repair of rolling stock". Tel. 057-730-1999.

Kolomiets Oleksandr, master, motorvagonne depot Odessa-Zastava-1.

Vihopen Ivan, ingeneer, PAT "TEC-5". Tel. 057-730-1999.

Tykhonravov S., cand. of tehn. Sciences, Associate Professor, chair of Electronics, Electrical Machines of krainian State University of railway transport. E-mail: tihonravov@yahoo.com.

Стаття прийнята 25.08.2016 р.

УДК 656.073

УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖОПОТОКАМИ В ІНТЕРМОДАЛЬНОМУ СПОЛУЧЕННІ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕРТ-МЕРЕЖ

Канд. техн. наук В. В. Петрушов, М. В. Осипов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОПОТОКАМИ В ИНТЕРМОДАЛЬНОМ СОПРЯЖЕНИИ С ПОМОЩЬЮ ГЕРТ-СЕТЕЙ

Канд. техн. наук В. В. Петрушов, М. В. Осипов

IMPROVE THE MANAGEMENT OF CARGO FLOWS IN OF INTERMODAL TRAFFIC WITH THE HELP OF GERT-NETWORKS

Cand. of techn. Sciences V.V. Petrushov, M.V. Osipov

У статті розглядаються варіанти управління вантажопотоками на основі індивідуальних характеристик кожного вагона, а також людський фактор при прийнятті управлінських рішень. Виявлено основні моменти, які дозволяють оптимізувати процес управління потоками на транспорті. Одним з методів вирішення поставлених завдань є математичний метод ГЕРТ-мереж. Він дозволяє більш адекватно ставити складні

процеси в тих випадках, коли важко або неможливо визначити, які саме роботи і в якій послідовності повинні бути виконані. Розглядається можливість створення системи підтримки прийняття рішень для оператора, керуючого вантажопотоками (чергового по станції, поїзного диспетчера).

Ключові слова: вантажопотоки, ГЕРТ-мережі, системи, аналіз, продуктивність, схеми.

В статье рассматриваются варианты управления вагонопотоками на основе индивидуальных характеристик каждого вагона, а также человеческого фактора при принятии управленческих решений. Выявлены основные моменты, которые позволяют оптимизировать процесс управления потоками на транспорте. Одним из методов решения поставленных задач является математический метод ГЕРТ-сетей. Он позволяет более адекватно ставить сложные процессы в тех случаях, когда трудно или невозможно определить, какие именно работы и в какой последовательности должны быть выполнены. Рассматривается возможность создания системы поддержки принятия решений для оператора, управляющего вагонопотоками (дежурного по станции, поездного диспетчера).

Ключевые слова: грузопотоки, ГЕРТ-сети, системы, анализ, производительность, схемы.

In this article discusses options for managing traffic volumes based on the individual characteristics of each carriage, and also a human factor in management decisions. The basic points which allow to optimize process of management of flows on transport are revealed. One of methods of the solution of objectives is the mathematical method of GERT-networks. It allows to put more adequately difficult processes when difficult or it is impossible to define what works and in what sequence have to be executed. The possibility of creation of system of support of decision-making for the operator managing traffic volumes is considered (assistant station, train dispatcher).

Keywords: cargo flows, GERT-network, systems, analysis, productivity, schemes.

Вступ. Управління вантажопотоками стосується узгодженого підведення вантажів до великих споживачів (йдеться не тільки про рівномірну доставку окремих вантажів, а й про ефективне транспортне обслуговування в цілому), портів (важливість цього завдання залежить від того, що виникають величезні витрати через накопичення в припортових складах вантажів, що очікують на підхід судна і навантаження) і прикордонних переходів. Сюди ж належить управління потоками порожняка, які в нових умовах стали багатоструменевими, причому керувати доводиться вагонами, які належать як Україні, так і країнам СНД.

Для правильної постановки завдань необхідно розібратися з тим, як відбуваються управлінські процеси та які

показники необхідно контролювати. Основними показниками при управлінні потоками є прості та обороти вагонів. При розгляді перерахованих завдань у динаміці виникають тисячі варіантів вирішення. Технічно жоден диспетчер не в змозі вибрати кращий варіант у короткі терміни. Тому на сьогодні все гостріше постають питання забезпечення відмовостійкості систем обробки інформації. Цьому є кілька причин. По-перше, системи з кожним роком ускладнюються, включають у себе все більшу кількість компонентів, а отже, імовірність того, що в одному з компонентів системи відбудеться збій, збільшується. Це може призвести до відмови всієї системи, якщо вона не спроектована з урахуванням такої можливості. Для великого класу завдань не

потрібна висока продуктивність обробки одного набору даних. Набагато важливішою є можливість використання надійної системи обробки інформації з прийнятною продуктивністю і можливістю одночасної обробки декількох наборів даних. На сьогодні системи обробки інформації все частіше використовуються для вирішення управлінських, дослідницьких і виробничих завдань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті [1] розглядається використання методів удосконалення вантажопотоків за допомогою адаптивної системи управління роботою вузла. У статті [2] запропоновано модель нечіткого потокового графа для прогнозування параметрів залізничних перевезень і застосування для виконання цих завдань апарата ГЕРТ-мереж. У статті [3] зазначено, що транспортний вузол являє собою складний комплекс технічно і технологічно пов'язаних між собою елементів. Всі ці елементи характеризуються власними вантажопотоками. Пропонуються методи удосконалення управління цими потоками за допомогою апарата нечітких нейронних мереж. У роботах [4, 6, 7, 8] було розглянуто концепції побудови ГЕРТ-мереж, принципи їх побудови та можливості використання для управління вантажопотоками на залізниці. У статті [5] було розглянуто дії персоналу залізниці при управлінні перевізним процесом під час прийняття рішень у нестандартних ситуаціях і запропоновано модель, яка дозволяє сформулювати систему підтримки прийняття рішень для оперативних працівників.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою дослідження є створення системи управління вантажопотоками, яка може враховувати фактори невизначеності, що виникають у процесі перевезення та дозволить оператору приймати рішення в різних умовах.

Основна частина дослідження.

Ситуація, у якій зараз доводиться працювати працівникам залізниці, досить складна: підвищення швидкості залізничних поїздів ускладнює виробничі ситуації через суттєве зростання інтенсивності руху, а тому значна частина напрацювання рішення перекладається на автоматизовані (комп'ютерні) системи управління, які не «приймають рішення», а «обчислюють» його, моделюють ситуацію і миттєво здійснюють «вибір» найкращої (оптимальної) альтернативи. У цьому випадку ОПР сприймає комп'ютерний варіант рішення відразу на двох рівнях:

- 1) дійсний рівень (у реальному масштабі часу);
- 2) віртуальний рівень (у вигляді імітованих фрагментів дійсності, які утворюють так звану віртуальну реальність).

Виникають досить складні відношення між «дійсністю» і «можливістю», що обумовлює принципово новий концептуальний напрямок ПОР, який досліджується в межах теорії «гібридного інтелекту». У термінах сучасних інформаційних технологій «сутнісна платформа» таких рішень має назву компаунда. І все це потребує актуальних філософських розвідок стосовно існуючих і нових концепцій ПОР, щоб своєчасно зорієнтувати освітню систему, фахівців у змінах, які відбуваються у сфері підготовки та прийняття рішень.

Можливі дві ситуації:

1. Задача оптимізації. Нехай $g: X \rightarrow V$ – деяка функція, що відображує довільну множину X у множину V , яка припускається лінійною або частково упорядкованою відношенням \leq . Загальна проблема оптимізації полягає в знаходженні такого $\hat{X} \in X^m$ (де X^m – задана підмножина X), що для всіх $x \in X^m$ має виконуватися умова $g(\hat{x}) \geq g(x)$. При цьому X – «множина

рішень», X^m – «множина припустимих рішень», V – «множина оцінок», g – цільова функція.

2. Задача задоволення. X, Ω – довільні множини, g – функція з $X \cdot \Omega$ у множину V , що лінійно упорядковане відношенням \leq, τ – деяка функція з Ω у V . Задача задоволення полягає в знаходженні такого $\hat{x} \in X^m$ (при заданій $X^m \subseteq X$), що для всіх $\omega \in \Omega$ має виконуватись умова $g(\hat{x}, \omega) \geq \tau(\omega)$. При цьому Ω називається множиною невизначеності (перешкод, впливів), τ – рівнем задовільнення, а умова $g(\hat{x}, \omega) \geq \tau(\omega)$ – критерієм задоволення.

Будемо розрізняти такі варіанти концепцій ПОР, використовуючи символіку Месаровича – Такахарі:

1. Вибір (оптимізація) рішення. Підмножина $X^m \subseteq X$ є заданою, V – лінійно-упорядкована множина, $g(x)$ – функція, яка є заданою (або ж алгоритм її знаходження). Потрібно знайти таке $\hat{x} \in X^m$, що $g(\hat{x}) \geq g(x)$.

2. Обчислення рішення. Виконуються умови Месаровича – Такахарі для задачі задовільнення. Існує (або може бути знайдений) алгоритм визначення \hat{x} (не обов'язково рекурсивний).

Прийняття рішення. Множина V в умовах Месаровича – Такахарі неупорядкована, але є заданий спосіб упорядкування, що залежить від x . Це означає: задана множина $H = \{h_i\}$ така, що декартовий добуток

$E = T \cdot V \cdot Y \cdot H, V = \{v_i\}$ виявляється упорядкованим, так що, якщо $E(v_i, y(x_j, H)) \gg E(v_k, y(x_l, H)), v_i \gg v_k$. H

– множина, яка задана як «множина упорядковуючих критеріїв», що залежить від ситуації (середовища), \gg – знак упорядкування (не обов'язково в кількісному відношенні, на відміну від попередніх випадків, де $>$ означає більше).

Одним з видів таких систем є гетерогенні обчислювальні системи високої надійності для високопродуктивних обчислень (системи обробки з високою пропускнуою здатністю). Найбільш відомі технології - Legion, Condor, Apples PST, Netsolve, Punch, XTRemweb і т. д. - використовують прості схеми розподілу, коли центральний комп'ютер, відповідальний за розподіл, вирішує, які завдання повинні бути виконані на якому ресурсі, використовуючи функції вартості, що задаються системними параметрами. Вони не розглядають ціну використання кожного ресурсу, а це означає, що значущість виконання всіх завдань у будь-який час однакова, що в реальності далеко не так. Значущість повинна зростати з наближенням терміну виконання прикладної задачі. Гетерогенність складу обчислювальних вузлів і непередбачувані зміни обчислювального середовища під час вирішення завдання призводять до проблеми раціонального використання обчислювальної потужності, зосередженої в мережі. Аналіз існуючих на сьогоднішній день технологій і програмних засобів обробки інформації показує, що процес розроблення додатків з використанням мережі в якості обчислювального ресурсу є складним, тому що містить безліч етапів, починаючи від розроблення паралельного алгоритму і закінчуючи моніторингом ресурсів і розподілу навантаження.

Проблема розподілу навантаження в паралельних обчисленнях є однією з найважливіших. І саме від вирішення цієї проблеми в основному залежить ефективність паралельного розв'язання задачі, тобто той вигреш у часі, який можна отримати порівняно з послідовним рішенням. При аналізі ефективності роботи, продуктивності і керованості системи обробки інформації виникає задача оцінки тимчасових характеристик роботи системи або її вузлів, а також оцінки часу виконання завдання в різних режимах запуску при різних умовах.

Для оптимізації завантаження (складання розкладу) системи обробки інформації, як правило, використовуються методи теорії оптимізації. Для моделювання поведінки системи і оцінки тимчасових характеристик системи застосовуються мережі ПЕТРІ і їх модифікації. При дослідженні системи з урахуванням можливої ненадійності елементів, як правило, застосовуються стохастичні мережі. При аналізі тимчасових характеристик роботи елементів розподіленої гетерогенної системи обробки дані методи стають непридатні. Такі системи нестатичні в часі. Для їх вузлів важливими характеристиками є «доступність» і «відмовостійкість». Тому для вирішення поставленого завдання використовуються модифіковані ГЕРТ-мережі, що дозволяють використовувати всі шість типів вузлів; проводити оцінку тимчасових характеристик стохастичної ГЕРТ-мережі з використанням довільного числа додаткових матеріальних і стохастичних параметрів вузла стохастичної ГЕРТ-мережі; використовувати в якості умовних імовірностей виконання вихідної дуги вузла довільні функції, що обчислені в момент активації вузла. Кожен вузол мережі має вхідну і вихідну функції активації, які впливають на параметри вузла, що активується.

Види вхідних функцій:

- AND-функція – вузол активується, якщо виконані всі дуги, що входять до нього;

- IOR-функція – вузол активується, якщо виконана будь-яка дуга, що входить у нього;

- EOR-функція – вузол активується, якщо виконана будь-яка дуга, що входить у нього, за умови, що в даний момент часу може виконуватися тільки одна дуга, що входить у відповідний вузол.

Види вихідних функцій:

- детермінована функція – все дуги, що виходять з вузла, виконуються, якщо вузол активований;

- стохастична функція – рівно одна дуга, що виходить з вузла, виконується з заданою вірогідністю, якщо вузол активований.

Комбінуючи всі вхідні і вихідні функції, отримуємо шість різних типів вузлів. Активація вузла означає, що система перейшла в якийсь стан і визначає безліч можливих подальших дій. Одна або декілька дій починають своє виконання відразу після активації вузла, що є їх початком. Активація вузла відбувається, якщо його вхідна функція виконана. ГЕРТ-моделі можуть представляти послідовно-паралельні структури графів, у той час коли в транспортних системах можливі структури типу «місткових» схем (рис. 1). Таким чином, для побудови ГЕРТ-еквівалентів транспортних потоків необхідно виконати їх перетворення в послідовно-паралельну форму, або ж в ORAND подання (рис. 2).

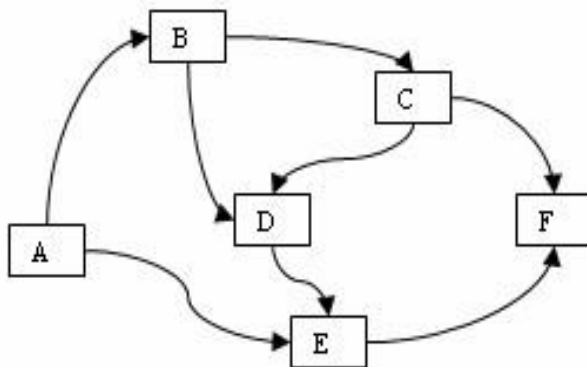


Рис. 1. Поточковий граф до перетворення

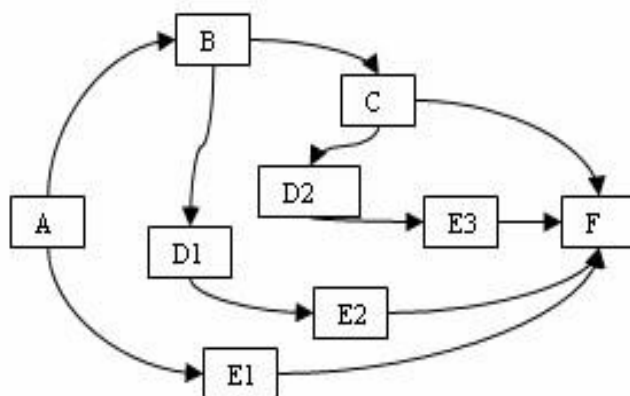


Рис. 2. Аналог потокового графа після перетворення до послідовно-паралельного вигляду

У ГЕРТ-системах використовуються імовірнісні описи процесів у системі. Для випадку оцінки характеристик вантажопотоків такий опис може відповідати нормативному випадку. При обліку реальної неоднорідності характеристик вантажопотоків, пов'язаних з поїздоутворенням на станціях, статистичний підхід стає недостатньо адекватним процесам вантажних перевезень. У цьому випадку можуть бути ефективно застосовані нечіткі модифікації ГЕРТ-систем. Для розрахунків параметрів нечітких моделей руху вантажопотоків використовуються дані автоматизованих систем залізниць України.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному

напрямку. Основою механізму виведення експертної системи є перетворення підграфів і розрахунок нечіткої інтегральної характеристики дуги, яка є еквівалентною заміною нечіткого потокового підграфа. Правила виведення відображують залежності між параметрами різних фрагментів мережі. Умовою застосування правила виведення є виконання попередньої дуги – відповідність фактичних характеристик вагонопотоків дуги значенням моделі. Посилкою правила є характеристика цієї дуги, а висновком правила – характеристика подальшої дуги. У більш загальному випадку вантажопотік розглядається розподілений по мережі. При цьому посилка правила бази знань являє собою виконання не дуги, а нечіткого потокового графа.

Список використаних джерел

1. Данько, М. І. До питання про створення адаптивної системи управління роботою вузла [Текст] / М.І. Данько, В.В. Петрушов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 62. – С. 136-143.

2. Андрущенко, В. А. Автоматизоване управління експлуатацією вагонів власників країн СНД і Балтії на полігоні дороги [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2558/1/3.pdf>.

3. Долгополов, П. В. Удосконалення управління потоками у транспортному вузлі за допомогою апарату нечітких нейронних мереж [Електронний ресурс] / П.В. Долгополов, В.В. Петрушов. — Режим доступу: <http://cyberleninka.ru/article/n/udoskonalennya-upravlinnya-potokami-u-transportnomu-vuzli-za-dopomogoyu-aparatu-nechitkih-neyronnih-merezh>.

4. Цепкова, М. И. Анализ работы узлов распределенных систем обработки информации с использованием GERT-сетей [Электронный ресурс] / М.И. Цепкова, А.А. Ступина,

Л.Н. Корпачева [и др.]. — Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21953>.

5. Петрушов, В. В. Аналіз існуючих концепцій прийняття оптимальних рішень персоналом структур та підрозділів залізниць [Електронний ресурс] / В.В. Петрушов. — Режим доступа: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/znpdzit/2012_31/index.htm.

6. Applying fuzzy GERT with approximate fuzzy arithmetic based on the weakest t-norm operations to evaluate repairable reliability / Kuo-Ping Lin, Wu Wen, Chang-Chien Chou, Chih-Hung Jen, Kuo-Chen Hung // Applied Mathematical Modelling. — 2011. — Vol. 35. Is. 11. — P. 5314-5325.

7. Forecasting return of used products for remanufacturing using Graphical Evaluation and Review Technique (GERT) / Li Zhou, Jiaping Xie, Xiaoyu Gu, Yong Lin, Petros Ieromonachou, Xiaole Zhang // International Journal of Production Economics. — 2016. — April 21. — In Press, Corrected Proof.

8. The use of a GERT based method to models concurrent product development processes / Richard Graham Nelson, Amir Azaron, Samin Aref // European Journal of Operational Research. — 2016 — Vol. 250. Is. 2. — P. 566-578

Рецензент д-р техн. наук, професор О. В. Лаврухін

Петрушов Василь Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-88.

Осипов Михайло Вікторович, студент гр. 18-V-УППм, факультет управління процесами перевезень, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту.

Petrushov Vasily Vladimirovich, Ph.D., Associate Professor. Tel. : +38 (057) 730-10-88.

Osipov Mikhail Viktorovich, 18 group-V-UPPm, department of transportation management processes, Department of Management of exploitation work.

Стаття прийнята 25.08.2016 р.

УДК 656.027(477)

ДОЦІЛЬНІСТЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ШВИДКІСНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

А. І. Дудчак

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

А. И. Дудчак

THE FEASIBILITY AND EFFICACY OF HIGH-SPEED RAIL PASSENGER TRANSPORTATION

A. Dudchak

У статті вказується на доцільність та ефективність швидкісних залізничних пасажирських перевезень, де для розрахунку кореспонденцій потоків в умовах залізничного швидкісного пасажирського сполучення запропоновано математичну модель прогнозування кореспонденцій на основі ентропії, яка, на відміну від існуючих, дозволяє отримати

інтервальні оцінки обсягів пасажиропотоків, що в подальшому надасть можливість проводити більш точні розрахунки щодо економічної доцільності реалізації інноваційних проектів підвищення швидкості руху на залізничному транспорті.

Ключові слова: високошвидкісні та швидкісні магістралі (ВШМ), швидкісний і високошвидкісний рух пасажирських поїздів, швидкісні залізничні пасажирські перевезення, самоорганізація, топологія мережі, ентропія, імовірність, спроможні та неспроможні верстви швидкісного пасажиропотоку, дохід верств швидкісного пасажиропотоку.

В статті указується на цілесобразність і ефективність скоростных железнодорожных пассажирских перевозок, где для расчета корреспонденций потоков в условиях скоростного железнодорожного пассажирского сообщения предложена математическая модель прогнозирования корреспонденций на основе энтропии, которая, в отличие от существующих, позволяет получить интервалу оценки объемов пассажиропотоков, что в дальнейшем даст возможность проводить более точные расчеты относительно экономической целесообразности реализации инновационных проектов повышения скорости движения на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: высокоскоростные и скоростные магистрали (ВСМ), скоростное и высокоскоростное движение пассажирских поездов, скоростные железнодорожные пассажирские перевозки, самоорганизация, топология сети, энтропия, вероятность, состоятельные и несостоятельные слои скоростного пассажиропотока, доход слоев скоростного пассажиропотока.

Transport speed is the basic index of transport politics, that successfully clinched by West Europe states. In the article to calculate the correspondence flows in conditions of high-speed passenger rail service proposed a mathematical model for predicting correspondences on the basis of entropy, which unlike existing enables to obtain interval estimates of the volume of passenger traffic that in the future will enable more accurate calculations on the economic feasibility of innovative projects to increase the speed of movement of railway transport. Nowadays the passenger torrent principally consists of the prosperous sections of population such as businessmen and tourists. In spite of that the population(quantity of passengers) of high-speed trains increased comparatively than last year. Passengers prefer high-speed rail transport, and therefore the profitability of the Railways will increase significantly. It indicates the feasibility and effectiveness of high-speed rail passenger traffic. The speed and high-speed traffic is a perspective direction of development of transport.

Keywords: high-speed line (VSHM), high-speed and high-speed movement of passenger trains, high-speed rail passenger transport, self-organization, network topology, entropy, probability, capable and incapable of high-speed passenger segments, income sections of high-speed passenger traffic.

Вступ. Світовий досвід впровадження швидкісного та високошвидкісного руху пасажирських поїздів базується на двох напрямках розвитку, так званих японському та французькому [4, 5]. У першому варіанті розвиток топології мережі орієнтовано на високий попит, при якому реалізуються перевезення близько 100 000 пасажирів на добу завдяки високій

густоті населення та концентрації економічної діяльності уздовж залізничних ліній (Японія, Китай, Південна Корея, Тайвань). Другий варіант розвитку ґрунтується на мінімізації вартості, тобто орієнтований на більш низькі капітальні та експлуатаційні витрати (Франція, Німеччина, Італія).

Актуальність. На концептуальному рівні розвиток мереж високошвидкісних магістралей (ВШМ, англ. High Speed Rail або HSR) можна виділити декілька підходів. До першого можна віднести відокремлений розвиток топології мережі, тобто лінії ВШМ повністю ізолюються від загальної залізничної мережі (Японія, Іспанія). Другий напрямок передбачає розвиток розгалуженої мережі спеціалізованих ліній, на яких поїзди здатні розвивати швидкість 250-300 км/год з можливістю часткової взаємодії зі звичайною мережею (Франція). Останній напрямок найбільш економічний – передбачає змішаний варіант розвитку мережі швидкісних сполучень на основі модернізації існуючих залізничних ліній для можливості руху пасажирських поїздів до 200 км/год (Німеччина, Італія) [4, 5]. Даний підхід передбачає застосування швидкісних пасажирських поїздів, що здатні рухатися коліями звичайної залізничної мережі України.

Комерційний успіх високошвидкісних мереж світу ґрунтується на зменшенні тривалості поїздки (до 3 год у дорозі), що дозволяє конкурувати з автомобільним і авіаційним транспортом, чим і підтверджувати вигідність швидкісного та високошвидкісного руху пасажирських поїздів.

Аналіз останніх наукових і практичних досліджень. Дослідження в галузі

проблем проектування мереж (англ., Network Design Problems) [6] підтверджують, що макрохарактеристики складної транспортної системи не формуються на основі централізованого планування згори вниз, а визначаються шляхом самоорганізації пасажирів у потоки на основі попиту на перевезення [6]. Підходи до пошуку раціональної топології залізничної пасажирської мережі проводились окремо для мережі високошвидкісних залізничних пасажирських перевезень без урахування існування і розвитку залізничної мережі звичайних пасажирських сполучень, що завжди впливає на ефективність існування HSR, що підтверджено науковими статтями [1, 2, 3]. Але в цих роботах недостатньо висвітлено проблеми визначення раціональної топології ВШМ.

Викладення основного матеріалу. З метою вирішення цієї проблеми доцільно провести статистичні дослідження параметрів пасажирських потоків на ВШМ. Взявши до уваги статистичні дані на поїзди «Інтерсіті+» [7], а саме населеність швидкісних поїздів №741/742, №743/744 у січні 2014 року та січні 2015 року, при порівнянні отримано такі результати. Населеність поїздів №741/742, №743/744 у січні порівняно з минулим роком зростає: поїзд №742 – на 31%, поїзд №741 – на 15%, поїзд №744 – на 17%. Цей результат наведено в таблиці та на рис. 1.

Таблиця

Населеність швидкісних поїздів № 741/742, № 743/744 у січні 2014 року та січні 2015 року

Номер поїзда	Сполучення	Вагони	Запропоновано	Продано	Запропоновано	Продано	Населеність, %	
			2014 рік	2014 рік	2015 рік	2015 рік	2014 рік	2015 рік
742	Трускавець – Київ	9	17370	6655	17949	12296	38	69
741	Київ – Трускавець	9	17370	5674	17949	8354	32	47
744	Львів – Київ	9	16735	4410	17949	7960	27	44
743	Київ – Львів	9	15771	8280	17949	9455	53	53

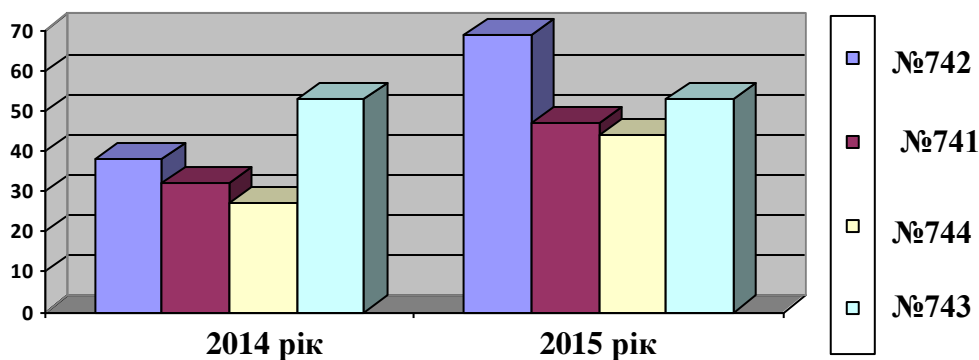


Рис. 1. Діаграма населеності у швидкісних поїздах № 741/742, № 743/744 у січні 2014 року та січні 2015 року

Дані дослідження підтверджують тенденції підвищення ефективності впровадження швидкісного руху на залізницях України. На даній діаграмі спостерігається значне збільшення населеності в поїздах №741\742, №743/744 у 2015 році порівняно з минулим роком і це не зважаючи на цінову політику, адже вартість проїзного документа становить у два рази більше, ніж у пасажирських поїздах, що підтверджує правильність застосування моделі процесу розвитку залізничної системи швидкісних перевезень, яка заснована на принципах колективної самоорганізації.

У швидкісних залізничних пасажирських перевезеннях спроможність чи неспроможність верств пасажиропотоку використання цих послуг пов'язано з власними доходами. Для оцінки спроможності населення в користуванні проїзду у швидкісних пасажирських поїздах запропоновано математичну модель прогнозування кореспонденцій пасажиропотоку на основі ентропії. Ентропійний коефіцієнт (індекс Г. Тейла, 1967 р.) вперше був застосований в ентропійному підході до оцінки нерівності розподілу доходів [8]

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\mu} \ln \frac{x_i}{\mu} \right), \quad (1)$$

де n – кількість суб'єктів; x_i – дохід i -го суб'єкта; μ – середній дохід.

Згодом був запропонований клас узагальнених ентропійних показників нерівності [9] (Generalized Entropy Class) з параметром α :

$$GE(\alpha) = \frac{1}{\alpha^2 - \alpha} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\mu} \right)^\alpha - 1 \right]. \quad (2)$$

Особистим випадком ентропійних коефіцієнтів індекс Тейла є при $\alpha = 1$. Розглянемо зв'язок індексу Тейла з ентропією Шеннона. Якщо дана дискретна випадкова величина, яка набуває n значень з імовірностями p_1, p_2, \dots, p_n , то ентропія Шеннона буде мати вигляд

$$H = \sum_{i=1}^n \left(p_i \ln \frac{1}{p_i} \right). \quad (3)$$

Використовується ентропія розподілу доходу для вирахування індексу Тейла, позначимо її H_T :

$$H_T = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\mu n} \ln \frac{\mu n}{x_i} \right). \quad (4)$$

Невизначеність потрапляння одиниці доходу суб'єктам вибірки характеризує

ентропія H_T : $q_i = \frac{x_i}{\mu n}$ — це ймовірність отримання одиниці доходу i -м суб'єктом або ймовірність того, що i -й суб'єкт отримає q_i частку сукупного доходу. Максимального значення досягає ентропія $H_T^* = \ln n$ при рівномірному розподілі $q_i = \frac{1}{n}$, тобто за умови рівності доходів суб'єктів. Рівність доходів, приймаючи за ідеальний стан індекс Тейла, визначається як показник, який характеризує різницю між ентропією ідеального і аналізованого розподілів:

$$T = \ln n - \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\mu n} \ln \frac{\mu n}{x_i} \right). \quad (5)$$

Цей вираз після перетворень зводиться до формули (1). Система повністю детермінована у тому випадку, коли весь дохід зосереджений в одного суб'єкта і з ймовірністю 100 % відомо, кому припаде додаткова одиниця доходу, $H_T = 0$. При цьому індекс Тейла досягає максимального значення $T = \ln n$. Найбільшою невизначеністю при рівності доходів характеризується розподіл доходу по суб'єктах, коли для всіх суб'єктів

ймовірність отримання одиниці доходу однакова: $T = 0$.

Виділимо моменти в інтерпретації індексу Тейла: по-перше, стан, що характеризується максимальною ентропією, приймається за ідеальний стан; по-друге, показник нерівності, індекс Тейла, і показник невизначеності H_T , що характеризується монотонною різноспрямованою зміною, при зменшенні нерівності H_T збільшиться і навпаки. Невизначеність у розподілі доходу, розглядаючи економічну систему по суті, що складається з одиниць доходу, характеризує ентропія, яка використовується для визначення індексу Тейла.

Економічними агентами (суб'єктами) подано мікроекономічну систему, поведінка якої характеризується ймовірністю отримання того чи другого доходу. Невизначеність системи залежить від розподілу її елементів (агентів) за доходом. Якщо дохід агента є дискретною випадковою величиною, яка набуває значення x_1, x_2, \dots, x_m з ймовірністю p_1, p_2, \dots, p_m , то для характеристики невизначеності можемо безпосередньо використати формулу Шеннона

$$H = \sum_{k=1}^m \left(p_k \ln \frac{1}{p_k} \right) = - \sum_{k=1}^m (p_k \ln p_k). \quad (6)$$

На відміну від H_T , ентропія H при рівності доходів дорівнює 0: стан системи є найбільш упорядкованим і в цьому сенсі його можна вважати ідеальним. Якщо

виразити ентропію H_T і індекс Тейла з використанням частот p_1, p_2, \dots, p_m , отримаємо

$$H_T = \sum_{k=1}^m \left(\frac{n_k x_k}{\mu n} \ln \frac{\mu n}{x_k} \right) = \ln n - \sum_{k=1}^m p_k \frac{x_k}{\mu} \ln \frac{x_k}{\mu}, \quad (7)$$

$$T = \sum_{k=1}^m p_k \frac{x_k}{\mu} \ln \frac{x_k}{\mu}. \quad (8)$$

Максимального значення $\ln m$ при рівномірному розподілі суб'єктів за доходом $p_k = \text{const} = \frac{1}{m}$ набуває ентропія H . У цьому випадку всі значення доходу є рівномірними для суб'єкта і в цьому сенсі система характеризується найбільшою невизначеністю, що зі змістовної точки зору цілком зрозуміло. У цьому випадку ентропія H_T буде мати вигляд

$$H_T = \ln n - \ln m - \sum_{k=1}^m \frac{x_k}{X} \ln \frac{x_k}{X}, \quad (9)$$

де $X = \sum_{k=1}^m x_k$.

Значення доходу x_k при цьому можуть бути достатньо близькими, а можуть дуже відрізнятись. Залежно від цього ентропія розподілу доходу H_T буде більше або менше близькою до свого максимального значення $H_T^* = \ln n$, а індекс Тейла – до 0. Якщо розподіл суб'єктів за доходом задано функцією щільності розподілу $p(x)$, $0 \leq x \leq x_{\max}$, то цікаві нам показники будуть мати вигляд

$$H = - \int_0^{x_{\max}} p(x) \ln p(x) dx, \quad (10)$$

$$H_T = - \int_0^{x_{\max}} p(x) \frac{x}{\mu} \ln \frac{x}{\mu} dx,$$

$$T = \int_0^{x_{\max}} p(x) \frac{x}{\mu} \ln \frac{x}{\mu} dx. \quad (11)$$

У випадку рівномірного розподілу суб'єктів за доходом вони набувають значення

$$H^* = \ln(x_{\max}), \quad (12)$$

$$H_T = \ln n - \ln 2 + \frac{1}{2}, \quad T = \ln 2 - \frac{1}{2}.$$

У відповідності з ентропією H найбільшого безпорядку система досягає не при граничних значеннях індексу Тейла, тобто ні при максимальній або мінімальній нерівності, а при $T \approx 0,193$. У більш загальному випадку, коли розподіл суб'єктів за доходом задано степеневою функцією розподілу $F(x) = \left(\frac{x}{x_{\max}}\right)^\alpha$, при $\alpha = 1$ отримаємо рівномірний розподіл, індекс Тейла набуває значення, залежне від параметра α : $T = \ln \frac{\alpha+1}{\alpha} - \frac{1}{\alpha+1}$.

Демонструють розглянуті приклади особливості інтерпретації ентропії розподілу суб'єктів за доходом, ентропії розподілу доходу по суб'єктах і показників нерівності – індекс Тейла. Ентропія розподілу доходу H_T є показником невизначеності, одночасно характеризує і нерівність доходів, тобто чим менша нерівність, тим більше ентропія і навпаки. Ентропія розподілу суб'єктів H характеризує тільки невизначеність потрапляння суб'єктів у групи доходу, тобто чим рівномірніше розподілено населення по значеннях, інтервалах доходу, тим більш невизначеним стає положення суб'єктів у цьому сенсі, що вирівнюються ймовірності потрапляння в неможливі і можливі верстви населення.

Коефіцієнт Джині і ентропія. Розглянемо зв'язок між ентропією розподілу суб'єктів за доходом (H) та іншими популярними показниками нерівності – коефіцієнтом Джині, який належить до групи ентропійних, тому аналіз даного випадку має більш загальний характер. Для зручності використовуємо безперервну постановку.

Коефіцієнт Джині можна знайти за формулою

$$d = 1 - 2 \int_0^1 L(t) dt, \quad (13)$$

де $L(t)$ - функція Лоренца, яка виражає залежність між часткою населення t , $0 \leq t \leq 1$, і часткою, яку складає сумарний дохід цієї групи в загальному доході всього населення, $0 \leq L(t) \leq 1$.

Якщо відома функція щільності розподілу доходу $p(x)$, $0 \leq x \leq x_{max}$, то функцію Лоренца можна задати як функцію від доходу індивіда:

$$L(x) = \frac{\int_0^x tp(t) dt}{\int_0^{x_{max}} tp(t) dt} = \frac{1}{x} \int_0^x tp(t) dt, \quad (14)$$

де \bar{x} – середній дохід.

Через функцію розподілу доходу $F(x)$ вона виражається як

$$L(F) = \frac{\int_0^F x(F_1) dF_1}{\int_0^1 x(F_1) dF_1}, \quad (15)$$

де $x(F)$ – функція, зворотна до функції розподілу.

Продемонструємо зв'язок між коефіцієнтом Джині і функцією розподілу доходу на прикладі степеневого закону $F(x) = \left(\frac{x}{x_{max}}\right)^\alpha$. Параметр $\alpha > 0$

дозволяє врахувати зрушення розподілу в бік заможних, спроможних, або незаможних, неспроможних, верств швидкісного пасажиропотоку. При $\alpha > 1$ графіки функцій знаходяться нижче прямої, їх умовно назвемо як розподіл заможних, спроможних, верств швидкісного пасажиропотоку, для яких низький дохід є менш імовірним. При $\alpha < 1$ – це розподіл незаможних, неспроможних, верств швидкісного пасажиропотоку, високий дохід для них є більш рідким явищем. Рівномірний розподіл, коли всі значення доходу є рівноймовірними, відбувається при $\alpha = 1$ (пряма на рис. 2).

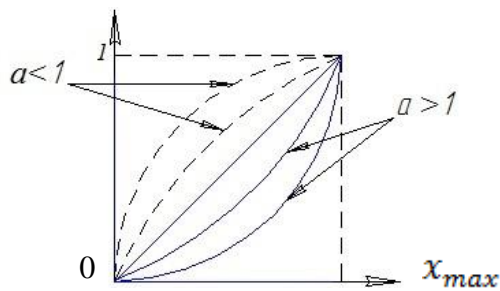


Рис. 2. Розподіл заможних, спроможних, і незаможних, неспроможних, верств швидкісного пасажиропотоку

Криві Лоренца $L(t) = t^{\frac{\alpha+1}{\alpha}}$ при різних значеннях параметра α , де t – частка населення, $0 \leq t \leq 1$, будуть розташовуватися під прямою, яка відповідає рівності доходів, – сторона заможних, спроможних, і незаможних, неспроможних, верств швидкісного пасажиропотоку (рис. 3). Коефіцієнт Джині залежить від параметра α $d = \frac{1}{2\alpha+1}$: при $\alpha \rightarrow \infty$ крива Лоренца наближається до бісектриси і коефіцієнт Джині прагне до 0; при $\alpha \rightarrow 0$ показник нерівності прагне до свого максимуму – 1 (рис. 3).

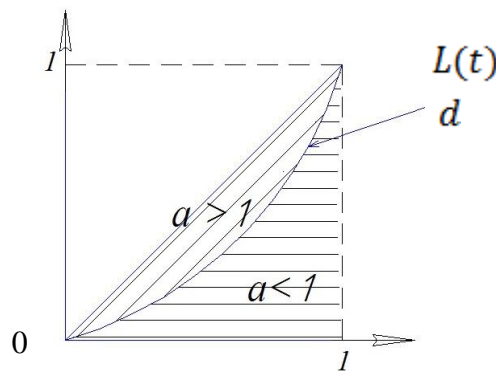


Рис. 3. Криві Лоренца, що характеризують ступінь нерівності в спільнотах спроможних і неспроможних верств швидкісного пасажиропотоку

При рівномірному розподілі доходу крива Лоренца має параболічний вигляд $L(t) = t^2$. Коефіцієнт Джині в цьому випадку дорівнює $1/3$. Вище цієї кривої розміщується розподіл заможних $\alpha > 1$, нижче – розподіл незаможних $\alpha < 1$. Таким чином, значення коефіцієнта від 0 до $1/3$ характеризують ступінь нерівності в спільнотах, де високе значення доходу є частішим явищем, тобто суспільство заможних, спроможних, верств пасажиропотоку, а значення від $1/3$ до 1 відповідає рівням нерівності в суспільстві незаможних, неспроможних верств пасажиропотоку, коли більш поширеними є низькі доходи (рис. 3). Показник ентропії для степеневі функції розподілу і відповідної їй функції щільності $p(x)$ буде мати вигляд

$$H(\alpha) = \ln(x_{max}) + 1 - \ln \alpha - \frac{1}{\alpha}.$$

При рівномірному розподілі доходу максимального значення $H^* = \ln(x_{max})$ ентропія набуває при $\alpha = 1$. При $\alpha < 1$ ентропія збільшується: кривим Лоренца, які знаходяться вище $L(t) = t^2$, відповідає значення ентропії, які виростають при наближенні до цієї кривої (рис. 4). Таким чином, зміна показників нерівності і ентропії в області розподілу заможних, спроможних, верств швидкісного пасажиропотоку має однонаправлений характер, тобто вони виростають з наближенням до рівномірного розподілу. При $\alpha > 1$ коефіцієнт Джині продовжує зростати, а ентропія, навпаки, зменшується. Інтерпретуючи ентропію як міру упорядкованості системи, отримуємо, що зрушення розподілу заможних в бік рівномірності розподілу, що означає підсилення нерівності, супроводжується і підсиленням невизначеності, неупорядкованості системи. Характеризується зменшенням невизначеності і підсиленням упорядкованості системи, хоча і

супроводжується зростанням нерівності подальше зрушення в бік незаможних, тобто деформація рівномірного розподілу в напрямку підвищення ймовірності більш низьких значень доходу (рис. 4).

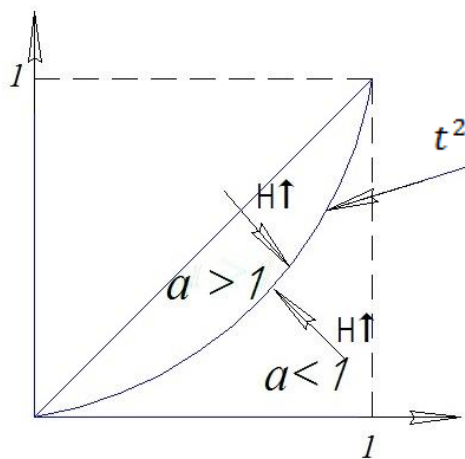


Рис. 4. Характеристики збільшення ентропії і зростання нерівності

Отже, будь-яке відхилення від рівномірного розподілу населення за доходом у відповідності з критерієм ентропії, що характеризується найбільшим безпорядком, є позитивним з точки зору підвищення підпорядкованості системи. Також ці зрушення нерівноцінні з точки зору нерівності, вимірюваної коефіцієнтом Джині.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Для розрахунку кореспонденцій потоків в умовах залізничного швидкісного пасажирського сполучення запропоновано математичну модель прогнозування кореспонденцій на основі ентропії, яка, на відміну від існуючих, дозволяє отримати інтервальні оцінки обсягів пасажиропотоків, що в подальшому надасть можливість проводити більш точні розрахунки щодо економічної доцільності реалізації інноваційних проектів підвищення швидкості руху на залізничному транспорті. Не зважаючи на те, що пасажиропотік складають в основному заможні верстви населення,

тобто бізнесмени і туристи, у 2015 році населеність швидкісних поїздів порівняно з минулим роком зросла, що вказує на

доцільність та ефективність швидкісних залізничних пасажирських перевезень.

Список використаних джерел

1. Прохорченко, А. В. Розроблення раціональної топології мережі швидкісних залізничних пасажирських перевезень на основі методів колективного інтелекту [Текст] / А.В. Прохорченко, Л.О. Пархоменко, А.І. Дудчак, Є.О. Сільченко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 133. – С. 39-45.
2. Бутько, Т. В. Формування моделі розвитку транспортної системи швидкісних залізничних пасажирських перевезень на основі інтелектуальних технологій [Текст] / Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко, Л.О. Пархоменко // Тези доповідей Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті» (Дніпропетровськ, 17-18 листопада 2012 р.). – Дніпропетровськ: ДНУЖТ, 2012. – С. 16-17.
3. Helbing, D., Keltsch, J., Molnár, P., Modeling the evolution of human trail systems. Nature, 1997. – 388. – 47 p.
4. Блохин, Е. П. Высокоскоростной наземный транспорт мира [Текст] / Е.П. Блохин, О.М. Пшинько; Днепропетровский нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепропетровск: Изд-во ДУЖТ, 2009. – 74 с.
5. Блохин, Е. П. Высокоскоростные железнодорожные системы Европы [Текст] / Е.П. Блохин // Железные дороги мира. - 2007. - № 7. - С. 17-21.
6. Вильсон, А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем [Текст] / А.Дж. Вильсон. – М.: Наука, 1978. – С. 10.
7. Статистичні дані на поїзди «інтерсіті+» ОДБ ВП «Вокзал ст.Львів» ДТГО «Львівська залізниця».
8. Theil H/ Economics and information theory / H. Theil – Amsterdam: North-Holland, 1967. – 488 p.
9. Cowell F. Measuring Inequality / Cowell F., Philip A. – Oxford, UK, 1977.

Рецензент д-р техн. наук, професор Т. В. Бутько

Дудчак Андрій Ількович, магістр Українського державного університету залізничного транспорту.
Тел.: 730-10-85.

Dudchak Andriy, master of a Ukrainian State University of Railway Transport. Ph.: 730-10-85.

Стаття прийнята 26.08.2016 р.

УДК 656.212:656.225

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СТАНЦІЇ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ
ПАРКОМ ВАГОНІВ РІЗНИХ ВЛАСНИКІВ В УМОВАХ РОЗВИТКУ
ІНФОРМАТИЗАЦІЇ**

Канд. техн. наук В. В. Кулешов, Є. П. Робота

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТАНЦИИ ПРИ ПЕРЕВОЗКАХ
ПАРКОМ ВАГОНОВ РАЗНЫХ СОБСТВЕННИКОВ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ
ИНФОРМАТИЗАЦИИ**

Канд. техн. наук В. В. Кулешов, Е. П. Робота

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE STATION TRANSPORT WAGONS FLEET
OF DIFFERENT OWNERS IN THE CONDITIONS OF INFORMATIZATION
DEVELOPMENT**

Ph.D. (Candidate of Technical Sciences) V. Kuleshov, E. Robota

Розглянуто технічний розвиток вантажної станції і виконано аналіз роботи за 2013-2015 роки. Показано умови оперативного планування роботи вантажної станції. Наведено схему одержання інформації і планування роботи на прикладі вантажної станції Кривий Ріг-Головний.

Запропонована модель технології вантажних перевезень ґрунтується на використанні технічних засобів вантажних станцій у вузлі з оптимізацією їх основних параметрів. Показано схему інформаційного забезпечення логістичного ланцюга в умовах АСК ВП УЗ-Є.

Ключові слова: вагон, модель технології вантажних перевезень, парк вагонів, перевезення.

Рассмотрено техническое развитие грузовой станции и выполнен анализ работы за 2013-2015 годы. Показаны условия оперативного планирования работы грузовой станции. Приведена схема получения информации и планирования работы на примере грузовой станции Кривой Рог-Главный.

Предложенная модель технологии грузовых перевозок основывается на использовании технических средств грузовых станций в узле с оптимизацией их основных параметров. Показана схема информационного обеспечения логистической цепи в условиях АСК ВП УЗ-Е.

Ключевые слова: вагон, модель технологии грузовых перевозок, парк вагонов, перевозки.

Considered the technical development of the freight station and the analysis of work for 2013-2015. The conditions of the operational planning of the cargo station. The scheme of information and planning (for example: freight station Krivoy Rog-Main).

The proposed model of the technology of cargo transportation are based on the use of technical facilities of freight stations in the node with the optimization of their key parameters. Shows a diagram of information support of the logistics chain in terms of ASK VP UZ-E.

Keywords: the car, the model of technology of cargo transportation, wagons, transportation.

Вступ. Залізничний транспорт України є складною системою технологічних підрозділів і технічних засобів, які повинні забезпечити перевезення вантажів із максимально можливою продуктивністю, мінімальною собівартістю, гарантованою безпекою руху.

Одним із основних напрямків забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту в умовах транспортного ринку та інтеграції до Європейської співдружності є впровадження ресурсозберігаючих технологій в усі ланки перевізного процесу.

При структурних змінах і зростанні економіки виникає необхідність адекватно розвивати транспортну систему, щоб вона забезпечувала всі потреби держави і одночасно мала необхідні резерви. Тому слід удосконалювати технології роботи вантажних станцій, а саме станції Кривий Ріг-Головний, в умовах приведення потужності існуючих пристроїв відповідно до розрахункових обсягів перевезень. Питання удосконалення системи управління парком вантажних вагонів є важливим для подальшого реформування залізничної галузі України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У нормативних документах [1 - 2] при організації перевезень не враховано застосування методів моделювання для транспортного моніторингу перевезень власним парком операторських компаній. Тому в дослідженнях [3 - 11] було розглянуто сучасні підходи до удосконалення технології перевезень парком вагонів операторських компаній. Але потребують вирішення питання підвищення ефективності технології роботи вантажних станцій в умовах розвитку інформатизації при застосуванні методів моделювання технології вантажних перевезень, яка ґрунтується на використанні технічних засобів вантажних станцій у вузлах з оптимізацією їх основних параметрів. Адже основні кількісні та якісні показники

погіршилися внаслідок неефективних технологій перевезень.

Визначення мети та задачі дослідження. Мета та завдання дослідження – підвищення ефективності роботи станції, на прикладі вантажної станції Кривий Ріг-Головний, при перевезеннях парком різних власників в умовах розвитку інформатизації.

Основна частина дослідження. Основним призначенням вантажної станції Кривий Ріг-Головний є приймання до перевезення, зважування, зберігання, навантаження, вивантаження і видача вантажів; переадресування вантажів; переробка контейнерів, оформлення перевізних документів; приймання, розформування, формування, комерційний огляд, технічне обслуговування і відправлення вантажних поїздів; інформування вантажовідправників і вантажоодержувачів про підхід, прибуття вантажів і подачу вагонів; виконання маневрової роботи з формування подач вагонів на місця навантаження-вивантаження; обслуговування під'їзних колій підприємств; відправлення транзитних вантажних поїздів, продаж проїзних документів та оформлення перевезення багажу, вантажобагажу, приймання, розформування, формування і відправлення пасажирських поїздів, технічне обслуговування і усунення виявлених несправностей пасажирських вагонів, зміна локомотивів і локомотивних бригад.

Станція Кривий Ріг-Головний формує поїзди підвищеної довжини шляхом об'єднання двох составів транзитних поїздів. На станції виконується зміна локомотивів і локомотивних бригад. Із загального вагонопотоку, що поступає на станцію, транзитний вагонопотік з переробкою складає 27811 вагонів, без переробки 580266 вагонів. Станція Кривий Ріг - Головний виконує місцеву роботу. Добове навантаження складає 70 вагонів, вивантаження – 55 вагонів. Кількість вагонів у подачі на під'їзні колії: ПАТ

«Арселор Міттал Кривий Ріг» - 56 порожніх вагонів; ФОП «Василенко Т.І. «Модерн»» – 1 вагон металообрухту; ТОВ «Виробничо-технічна фірма «Полюс»» – 7 вагонів металокопункцій; ФОП Кучеренко А.Д. – 1 вагон будматеріалів, цементу.

Станція працює на чотири напрямки: станція Кривий Ріг-Головний – станція Кривий Ріг – двоколіїний; станція Кривий Ріг-Головний – станція Мудрьона – двоколіїний; станція Кривий Ріг-Головний – станція Кривий Ріг-Сортувальний – двоколіїний; станція Кривий Ріг-Головний – станція Новоблочна – двоколіїний.

Для забезпечення виконання операцій з приймання-відправлення, навантаження-вивантаження вантажів, формування-розформування поїздів, сортування вагонів колійний розвиток станції складається з 58 колій.

У Західному напрямку станція переробляє вагонопотік з боку Кривого Рогу та Мудрьони. У Східному напрямку - з боку Новоблочної та Кривого Рогу-Сортувального.

Станція має одну сортувальну систему з комбінованим розташуванням парків приймання, сортувального і відправлення: Коломойцевський, Основний і Сортувальний.

Для розформування-формування поїздів на станції в наявності є гірка малої потужності з колією насуву № 9 і сортувальний парк, який має 8 сортувальних колій.

Гірка малої потужності станції Кривий Ріг-Головний формує наскрізні, вивізні (з двох груп), дільничні (з двох груп), збірно-дільничні (з трьох груп), збірні (з двох і чотирьох груп) призначення.

Основний парк має 16 колій. I, II, III головні колії для приймання, відправлення і пропускання пасажирських, приміських і вантажних поїздів обох напрямків; 5 – приймально-відправна для пасажирських, приміських і вантажних поїздів обох напрямків; 6, 7, 8 – приймально-відправні для вантажних поїздів обох напрямків; 31 –

запобіжна; 50 – навантажувально-вивантажувальна для поштових вагонів; 51 – для відстою пасажирських вагонів; 52, 53 – приймально-відправні для приймання приміських і пасажирських поїздів непарного напрямку і відправлення парного напрямку; 4А – відправна для відправлення приміських поїздів парного напрямку та відстою пасажирських вагонів; 4Б – відправна для відправлення господарчих поїздів і відстою локомотивів, вагонів; 65 – для відстою вагонів; М55-М41 – обгінна.

Сортувальний парк має 18 колій. 9, 11, 64 – витяжні; 10 – для відстою вагонних майстерень, вагонів до з'ясування, локомотивів у недіючому стані, вагонів з комерційними несправностями; 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 – сортувальні; 20, 24, 27, 122а, 123а – для відстою вантажних вагонів.

Коломойцевський парк має 8 колій. Іа, Іа, ХХХХ – головні для приймання, відправлення і пропускання пасажирських, приміських і вантажних поїздів обох напрямків; 39, 36, 115, 116, 117 – приймально-відправні для вантажних поїздів обох напрямків.

Вантажний район має 17 колій. 1, 2 – для накопичення і підформування груп вагонів; 3 – для накопичення вагонів; 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 15, 16 – навантажувально-вивантажувальні; 9 – вагова; 13 – підвищена для вивантаження вагонів з навалочними та сипкими вантажами; 17 – навантажувально-вивантажувальна для відстою вагонних майстерень; 33а – витяжна.

До Коломойцевського парку з боку вхідної горловини примикає вантажний район, на якому здійснюється приймання та видача вантажів підприємствам міста.

За 2015 рік простій вагонів транзитних без переробки на станції Кривий Ріг-Головний зменшений на 5,4 % і складає 2,12 год. Простій вагонів транзитних з переробкою збільшився на 17,5 % і становить 27,4 год. Простій вагонів під однією вантажною операцією збільшився на 5,5 % і становить 88 год. Навантаження збільшилось на 3,2 %

становить 45504 ваг. Середньодобове навантаження більше на 4,1%, складає 126 ваг. Статичне навантаження 66,92 т/ваг не змінилось. Вивантаження – 147782 ваг, менше на 3%. Середньодобове вивантаження – 405 ваг, менше на 3,1%. Відправлення вагонів транзитних з переробкою і місцевих – 313868 ваг, більше на 1,2%. Відправлення вантажних вагонів – 894636 ваг, менше на 2,3%. Аналіз роботи вантажної станції Кривий Ріг - Головний за 2013-2015 роки наведено на рис. 1.

Оперативне планування роботи станції здійснюється з метою організації

виконання завдань щодо приймання, відправлення поїздів, розформування й формування составів, навантаження, вивантаження, а також для виконання плану формування, графіка руху поїздів.

Оперативне планування роботи станції виконується на добу, зміну та по 4-6 годинних періодах упродовж зміни.

Підставою для змінного і поточного планування є інформація про підхід поїздів, вагонів, локомотивів, розрахунок їх прогнозованої наявності на станції до початку періоду, що планується.

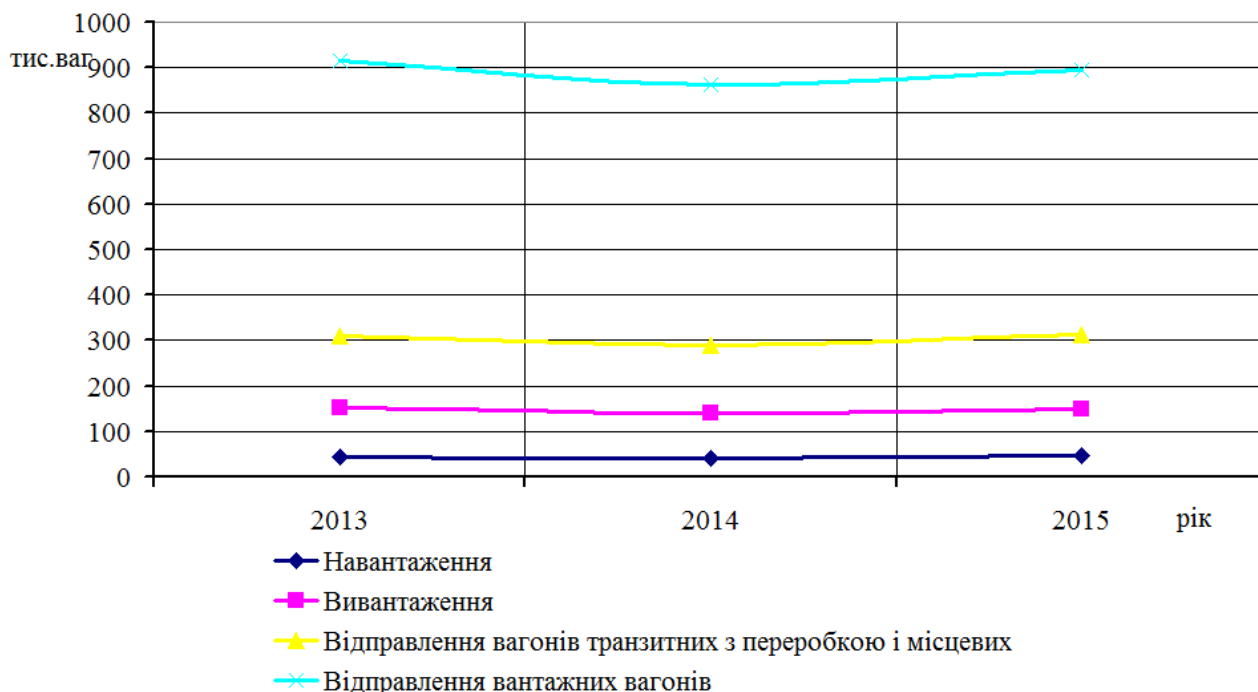


Рис. 1. Аналіз роботи вантажної станції Кривий Ріг-Головний за 2013-2015 роки

Умови оперативного планування роботи сортувальної станції:

- оперативне планування поїзної і маневрової роботи станції (на добу і зміну);
- ефективне використання технічних засобів станції, дотримання заходів з забезпечення безпеки руху, маневрової роботи і охорони праці працівників зміни
- обробка документів в АСК ВП УЗ-Є;

- формування поїздів відповідно до встановленого плану формування поїздів і встановлених норм ваги і довжини;
- ефективне використання маневрових засобів і розподіл їх за районами роботи;
- контроль обліку і звітності роботи станції за основними показниками;

- впровадження нової техніки і технології, направлених на ефективне використання технічних засобів;
- оперативний контроль за використанням системи КСЭОД СС і вдосконалення технічних засобів;
- виконання завдань з навантаження і вивантаження вантажів;
- здійснення оперативного планування вантажної і комерційної роботи станції;
- виконання завдань з простою вагонів під вантажними операціями;
- оперативне керування обробкою поїздів і составів у парках станції;
- оперативне керування маневровою роботою з розформовування і формування поїздів, з прибирання і подачі вагонів до вантажно-вивантажувальних пунктів, пунктів ремонту вагонів;
- виконання змінного плану з приймання, відправлення, пропускання і технічної обробки поїздів, розформовування і формування составів;
- виконання технологічних норм з обробки поїздів і вагонів, максимальне поєднання технологічних операцій

розформовування, формування і технічної обробки составів у парках станції;

- раціональний розподіл роботи між гіркою і сортувальним парком;
- організація роботи станційного технологічного центру обробки інформації і перевізних документів.

Автоматизовані системи керування (АСК) призначені:

- для автоматизації технологічних процесів роботи станції;
- надання оперативної інформації з метою прийняття управлінських рішень персоналом станції;
- підвищення рівня достовірності вхідної інформації, станційних звітів, оперативної довідкової інформації, переданої в системи верхнього рівня, за рахунок комплексного логічного контролю.

АСК є системою організаційного управління. Вона функціонує (див. рис. 2.) на базі інформації, що вводиться користувачами - працівниками станції (операторами при ДСП, маневрових диспетчерах, СТЦ і товарної контори), а також на базі інформації з інших станцій, яку можна отримати з АСК.



Рис. 2. Схема одержання інформації і планування роботи станції Кривий Ріг - Головний

На станції Кривий Ріг-Головний ведеться два види обліку (звітності): оперативний і статистичний. Оперативний

облік ведуть працівники, пов'язані з рухом поїздів у процесі виконання змінних і добових планів перевезень з використанням

засобів оперативного зв'язку і персональних комп'ютерів. Статистичний облік на основі документів про виконану роботу вагонного парку, норм ваги і довжини поїздів здійснюють працівники відділу обліку станції.

Черговість подачі-забирання або розвезення вагонів на вантажній станції на сьогодні не визначається технічними засобами АСК ВП УЗ-Є за мінімумом експлуатаційних витрат. Тому на

перспективу рекомендуємо створити модель черговості розвезення локомотивом залізниці місцевих вагонів на під'їзні колії вантажної станції (подача-забирання місцевих вагонів маневровим локомотивом), що враховує парк (інвентарні, власні), тип вагонів (універсальні, спеціалізовані), собівартості вагоно-годин, локомотиво-годин, локомотиво-кілометрів і наблизити до мінімуму експлуатаційні витрати

$$F = f(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де Z_1 - витрати при знаходженні місцевих вагонів i типу j різних власників на вантажному комплексі (під'їзній колії, вантажному фронті), грн;

Z_2 - витрати дизельного палива (електроенергії) на поїзні та маневрові переміщення, грн;

Z_3 - витрати на пробіги вивізних і передаточних поїздів, грн;

Z_4 - витрати, пов'язані з тривалістю знаходження локомотивів, включаючи робочий час локомотивних бригад, грн;

Z_5 - витрати на інформаційне забезпечення станційних операцій, вантажної роботи, передаточного руху на вантажній станції, грн;

Z_6 - витрати на допоміжний пробіг маневрових і передаточних локомотивів, грн,

при обмеженнях

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{кількість вагонів } 1 \leq m_c \leq m \\ \text{тривалість роботи вантажних фронтів } 12 \leq t_c \leq 24 \\ \text{місткість вантажного фронту } 1 \leq m_c \leq m_{\text{фр}} \\ \text{тривалість роботи маневрових локомотивів } 12 \leq t_n \leq 24 \\ \text{маса передаточного поїзду } Q_{\min} \leq Q_n \leq Q \\ \text{імовірності появи вагонів різних власників } P_{\text{инвен}} + P_{\text{влас}} = 1 \\ \text{імовірності появи типів вагонів } P_{\text{кр}} + P_{\text{пл}} + P_{\text{нв}} + P_{\text{ис}} + P_{\text{рф}} + P_{\text{пр}} = 1 \end{array} \right.$$

У явному вигляді модель розвезення місцевих вагонів маневровими та передаточними локомотивами на вантажній станції залізничного вузла має вигляд

$$\begin{aligned} F(Z_i) = & [(t_{\text{сорт}} + t_{\text{вант}})(e_{3A}P_{3A} + e_{OK}P_{OK})m_c] + \\ & + \left[\int_{Q_{\min}}^{Q_{\max}} G(Q_n)dQL_{\text{нал}} \cdot 10^{-3} \right] + [Q_{\Pi}L \cdot c_k \cdot 10^{-4}] + [T_{\Pi} \cdot c_{\text{лн}} + T_m \cdot c_{\text{лм}} + T_{\delta} \cdot c_{\delta_2}] + \\ & + [24 \cdot V_i \cdot c_{m_2}] + [PL_{\text{дон}}c_{\text{кд}} \cdot 10^{-4}] \end{aligned} \quad (2)$$

Схема інформаційного забезпечення логістичного ланцюга вантажних перевезень в умовах АСК ВП УЗ-Є наведена на рис. 3.

Дана схема враховує комплекс технологічних операцій від приймання на кордоні (стику) до здавання на іншому кордоні (стику). На рівні залізниці, дирекції залізничних перевезень (регіонального центру управління перевезеннями) вся зазначена інформація систематизується,

щоб ув'язати в єдине ціле весь технологічний процес роботи всіх дільниць. Стосовно виконавців технічних і вантажних станцій залізничного вузла на рис. 4 наведено структурну схему комплексу технічних засобів «Автоматизованої системи керування станційними процесами на основі підвищення ефективності використання інфраструктури при вантажних перевезеннях».

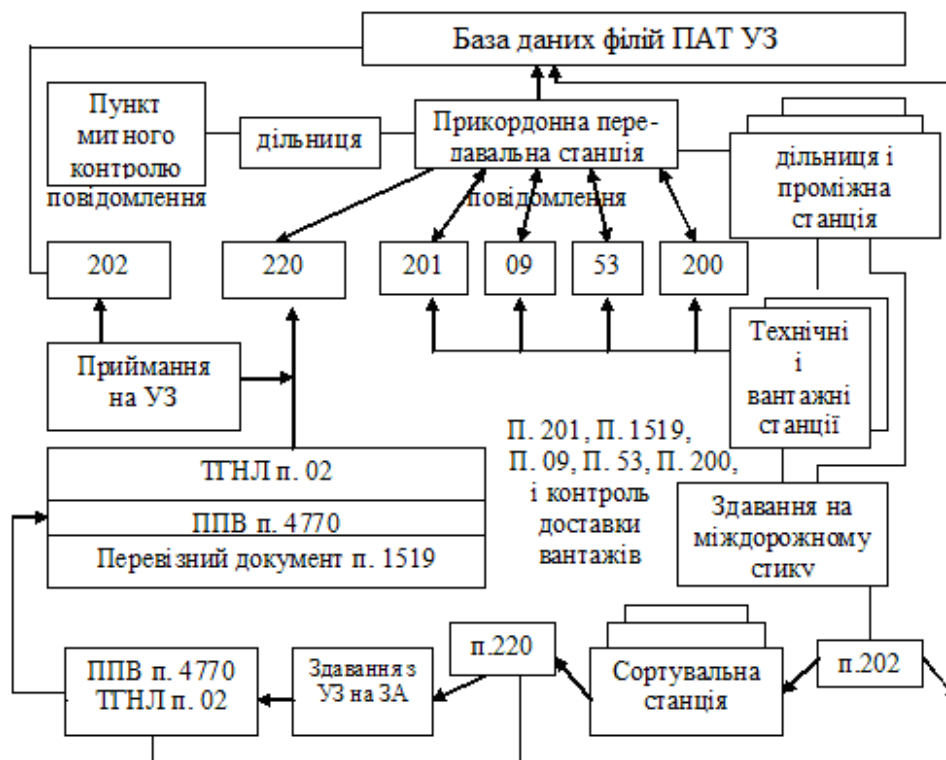


Рис. 3. Схема інформаційного забезпечення логістичного ланцюга вантажних перевезень в умовах АСК ВП УЗ-Є

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Резервом подальшого нарощування обсягів перевезень є впровадження нових інформаційних технологій на рівні філії ПАТ «Укрзалізниця», виробничого підрозділу дирекції залізничних перевезень, станцій з метою впровадження єдиного технологічного процесу роботи всіх дорожніх напрямків і дільниць.

Прискорення обігу вагонів за рахунок скорочення тривалості знаходження вагонів на вантажних станціях значно впливає на прискорення доставки вантажів і задоволення потреб користувачів та операторів перевезень.

Черговість подачі-забирання або розвезення вагонів на вантажній станції на сьогодні не визначається технічними засобами АСК ВП УЗ-Є за мінімумом експлуатаційних витрат.

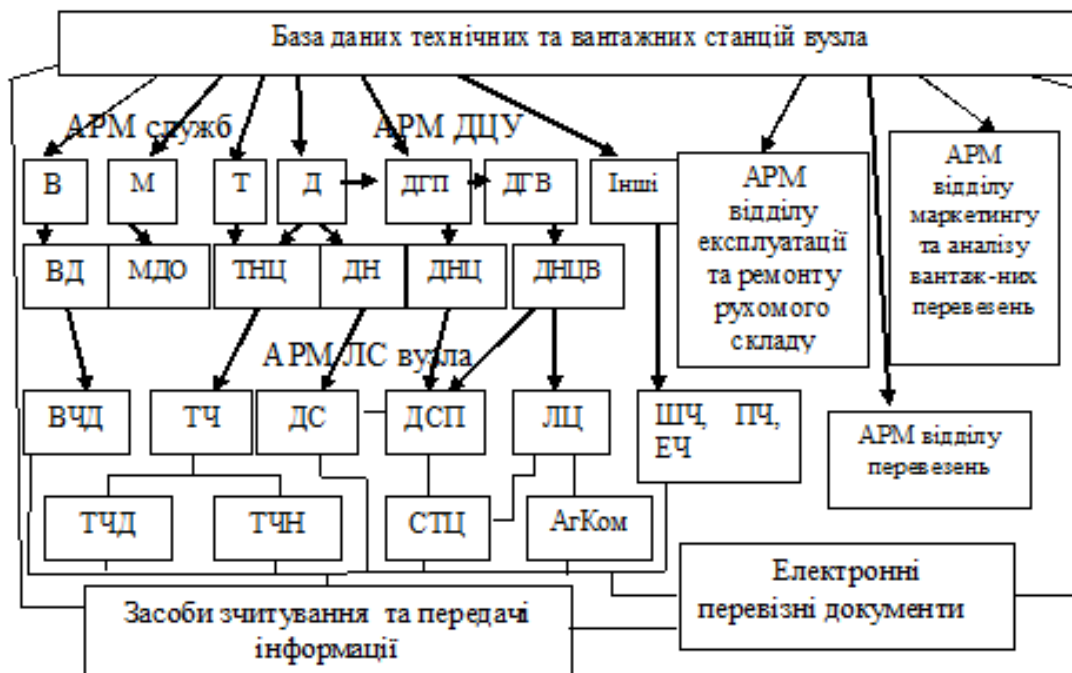


Рис. 4. Структурна схема комплексу технічних засобів «Автоматизованої системи керування станційними процесами на основі підвищення ефективності використання інфраструктури при вантажних перевезеннях»

Створення моделі черговості розвезення локомотивом залізниці місцевих вагонів на під'їзні колії вантажної станції (подача-забирання місцевих вагонів маневровим локомотивом), що враховує

парк (інвентарні, власні), тип вагонів (універсальні, спеціалізовані), собівартості вагоно-годин, локомотиво-годин, локомотиво-кілометрів, призведе до мінімуму експлуатаційних витрат.

Список використаних джерел

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року. Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1555-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html/> 10.12.2009. – Загол. з екрану.
2. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки. В редакції постанови Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2011 р. № 1106 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1106-2011-p>. – Загол. з екрану.
3. Бодюл, В. И. Система управления перевозками грузов для операторов железнодорожного подвижного состава [Текст] / В.И. Бодюл, А.Н. Феофилов // Наука и техника транспорта. – 2012. – Вып. 1. – С. 57-62.
4. Данько, М. І. Визначення парку вагонів операторських компаній для забезпечення перевезень вантажів залізничним транспортом [Текст] / М.І. Данько, В.В. Кулешов// Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вып. 57. – С. 121-128.

5. Данько, Н. И. Разработка организационно-технологической модели управления парком грузовых вагонов разной формы собственности [Текст] / Н.И. Данько, Д.В. Ломотько, В.В. Кулешов // Инновационный транспорт. Научно-публицистическое издание. – 2012. – №4(5). – С. 8-13.

6. Кулешов, В. В. Удосконалення технології перевезень парком вагонів операторських компаній на станціях вузла [Текст] / В. В. Кулешов, О. Ю. Толбатов, Т. Р. Чурилик // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 135. – С. 107-113.

7. Кулешов, В. В. Удосконалення інформаційної технології роботи з вагонами різних форм власності з метою оптимізації пропускної спроможності залізничних транспортних систем [Текст] / В. В. Кулешов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 124. – С. 83-90.

8. Прохорченко, А. В. Удосконалення технології корегування плану формування поїздів на основі погодженої організації групових поїздів оперативного призначення [Текст] / А.В. Прохорченко, Л.В. Корженівський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2008. – Т. 6, № 6 (36). – С. 36-39.

9. Шикин, Е. В. Математические методы и модели в управлении [Текст] / Е. В. Шикин, А. Г. Чхартишвили. – М.: Дело, 2004. – 437 с.

10. Yung-Cheng Lai, Dow-Chung Fan, Kwei-Long Huang Optimizing rolling stock assignment and maintenance plan for passenger railway operations // Computers & Industrial Engineering. Volume 85, July 2015. – P. 284-295.

11. Luis Cadarso, Ángel Marín Improving robustness of rolling stock circulations in rapid transit networks // Computers & Operations Research. Vol. 51, November 2014. – P. 146–159.

Рецензент д-р техн. наук, професор Є. С. Альошинський

Кулешов Валерій Вячеславович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: valerijkuleshov2015@gmail.com.

Робота Євгенія Павлівна, слухач Навчально-наукового інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

Kuleshov Valeriy Vyacheslavovich, PhD. Sc., assistant professor of railway stations and junctions Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: valerijkuleshov2015@gmail.com.

Robota Evhenia Pavlivna, Listener Training and Research Institute of retraining and advanced training of Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42.

Стаття прийнята 25.08.2016 р.

УДК 656.2

**ПЕРЕДУМОВИ НЕОБХІДНОСТІ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ
ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ ДЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**

Канд. техн. наук А. В. Прохорченко, Ю. С. Бугай,
Р. І. Семененко, В. М. Воловодик

**ПРЕДПОСЫЛКИ НЕОБХОДИМОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ УКРАИНЫ ДЛЯ
ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Канд. техн. наук А. В. Прохорченко, Ю. С. Бугай,
Р. И. Семененко, В. М. Воловодик

**NEED BACKGROUND CLASSIFICATION OF UKRAINE RAILWAY
INFRASTRUCTURE FOR OPERATIONAL ACTIVITIES**

Ph.D. A.Prokhorchenko, Y. Bugay, R. Semenenko, V. Volovodyk

Робота присвячена аналізу закордонного досвіду класифікації залізничних дільниць для формування принципів тарифікації маршрутних перевезень. Розглянуто досвід формування схем тарифікації вартості доступу до залізничної мережі та важливість поділу залізничних дільниць на категорії і класи на залізницях Німеччини, Італії та Франції. Обґрунтовано необхідність розроблення системи класифікації залізничних дільниць для залізниць України в умовах реформування залізничного транспорту України.

Ключові слова: залізнична інфраструктура, реформування, пропускна спроможність, класифікація, залізнична дільниця.

Работа посвящена анализу зарубежного опыта классификации железнодорожных участков для формирования принципов тарификации маршрутных перевозок. Рассмотрен опыт формирования схем тарификации стоимости доступа к железнодорожной сети и важность разделения железнодорожных участков на категории и классы на железных дорогах Германии, Италии и Франции. Обоснована необходимость разработки системы классификации железнодорожных участков для железных дорог Украины в условиях реформирования железнодорожного транспорта Украины.

Ключевые слова: железнодорожная инфраструктура, реформирование, пропускная способность, классификация, железнодорожный участок.

The work is devoted to analysis of foreign experience classifications railway stations for the formation charging principles route traffic. The experience of forming schemes charging the cost of access to the rail network and the importance of separation of railway stations into categories and classes on the railways of Germany, Italy and France. Analyzed the types of basic services, which are laid in the rate on the thread schedule of trains. Studied in detail the scheme of charging rail routes trains and their relationship with the classification of railway infrastructure. It was established that the existing railways in Ukraine classification system of rail lines in their design does not account for different operating conditions of railway lines within the period of the work schedule of trains, which determines the level of implementation schedule of trains (transport service) and the intensity of their use. The necessity of developing a system of classification of

railway stations for railways Ukraine in terms of reforming the railway transport of Ukraine. The necessity of developing their own method of classification, which should be adapted to the conditions of railways of Ukraine with the possibility of grading lines for each current year alone, which will in the future allocate a total transportation cost component for maintenance of infrastructure and traffic management, and further generate fees for sales opportunities railway infrastructure capacity.

Keywords: *railway infrastructure, reform, capacity, classification, railway station.*

Вступ. Однією з найефективніших і найприйнятніших форм реформування залізничного транспорту є відокремлення функцій з управління інфраструктурою залізниць від експлуатаційної діяльності. Це у свою чергу сприяє створенню на ринку транспортних послуг власників інфраструктури та незалежних компаній перевізників, які формують нові схеми комерційних відносин. Одним із аспектів є продаж пропускнув спроможності залізничних дільниць для можливості побудови маршрутів поїзних формувань, які належать незалежним компаніям-перевізникам. У таких умовах виникла нова система плати – за доступ до об'єктів інфраструктури, де плата за доступ до інфраструктури станцій відокремлена від плати за використання залізничних ліній. Така система взаємовідносин створила новий сектор ринку транспортних перевезень, у якому плата за використання інфраструктури залізничних ліній ґрунтується на вартості одного поїздо-кілометра. У таких умовах для формування системи тарифікації маршрутів важливим є диференційований підхід до обліку експлуатаційних витрат на рух поїзда за кожною дільницею залізничної мережі [1]. Диференційований підхід неможливий без системи класифікації залізничних дільниць. Для формування такого підходу необхідним є вивчення закордонного досвіду класифікації дільниць і застосування принципів тарифікації маршрутних перевезень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз проведених досліджень закордонного досвіду класифікації залізничної інфраструктури таких країн, як Німеччина, Франція, Італія [2-4], довів, що

класифікація залізничних ліній розвивалась у двох напрямках: за конструктивними елементами при проектуванні та за експлуатаційними витратами на період функціонування ліній протягом фрахтового року. Досвід класифікації залізничної мережі Туреччини [5] також доводить доцільність розподілу залізничних ліній на категорії з різної платою за доступ до них. Дані дослідження ґрунтуються на Методі класифікації залізничних ліній, розробленому під егідою Міжнародного співтовариства залізниць (англ., UIC) та реалізованому в межах стандарту UIC 714 Classification of lines for the purpose of track maintenance [6], у якому використано узагальнюючий критерій класифікації – теоретичне навантаження потоку (англ., Theoretical Traffic Load). Даний критерій комплексно дозволяє врахувати вплив на колію лінії таких параметрів: навантаження на вісь: статичне вертикальне навантаження на вісь; вантажонапруженість: навантаження на метр (kN/m); швидкість руху. Однак даний метод у своїй основі використовує коефіцієнти, що є специфічними для конкретних європейських залізниць, а отже, не може бути використаним для залізниць України. Крім того, багато залізниць ЄС застосовують власні методи класифікації, що відображують специфіку їхньої системи тарифікації залізничних перевезень.

В Україні, за ДБН В.2.3-19-2008 [7], у частині норм проектування всі нові залізничні лінії і під'їзні колії, додаткові головні колії та існуючі лінії, що підлягають реконструкції та технічному переоснащенню, залежно від їх призначення на загальній мережі залізниць, характеру,

розмірів і швидкостей руху поділяються на сім категорій. Однак у даному підході запропонований поділ не враховує різні умови експлуатації залізничних ліній у межах періоду дії робочого графіка руху поїздів, що визначає рівень виконання графіка руху поїздів (сервіс перевезень) та інтенсивність їх використання. Зазначені вище недоліки засвідчують актуальність створення власного методу класифікації залізничних ліній України для експлуатаційної діяльності.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даного дослідження є проведення аналізу існуючих підходів до класифікації залізничної інфраструктури на залізницях розвинених країн світу і можливості їх застосування для побудови методу класифікації залізничних дільниць України для експлуатаційної діяльності.

Основна частина дослідження. Для розуміння вимог до класифікації дільниць і напрямків у цілому необхідним є дослідити принципи визначення економіки обслуговування вантажопотоків, що дозволить усвідомити важливість розроблення нової концепції класифікації. Запропонована методологія класифікації повинна відповідати сучасним тенденціям розвитку експлуатаційної роботи залізничного транспорту загального користування України, зокрема в умовах реформування.

Наприклад, у Німеччині, де залізничний ринок перевезень є одним із найбільш розвинених, компанією, що управляє залізничною інфраструктурою DB Netz [2, 8], у тарифі за нитку графіка закладено пакет, що складається з таких базових послуг: розроблення розкладу; використання перегінних, станційних, обгінних і з'єднувальних колій, що запропоновані для руху поїздів; управління перевезеннями протягом робочого дня оперативних закладів; узгоджений в індивідуальному порядку час відстою до відправлення або після прибуття поїзда з пункту відправлення до кінцевого пункту

(плата за використання станційної інфраструктури стягується окремо); узгоджені зупинки за розкладом у ході руху состава.

До тарифу не включається плата за використання локомотивної тяги. Схема тарифікації маршрутів залізничних составів включає такі компоненти: базовий тариф, коефіцієнт продукту, в окремих випадках коефіцієнт завантаження, плюс додаткові спеціальні коефіцієнти (надбавки і знижки), що дозволяють враховувати різні виключні характеристики перевезень.

Виходячи з техніко-оперативних критеріїв вся залізнична мережа була поділена на дев'ять різних категорій залізничних ліній. У даній класифікації враховується і характеристика інфраструктури, і важливість окремих маршрутів у межах всієї мережі.

Міжміські залізничні лінії (*F*):

F1: Дана категорія включає всі залізничні лінії, на яких состави рухаються зі швидкістю більш ніж 200 км/год. Такі лінії в основному призначені для високошвидкісних перевезень.

F2: Ця категорія включає лінії, на яких состави можуть рухатися зі швидкістю 161-200 км/год. Такі лінії призначені для змішаних операцій, тобто для всіх типів перевезень.

F3: Лінії категорії *F3* призначені для змішаних перевезень в основному на швидкості 101-160 км/год.

F4: Категорія *F4* включає лінії, по яких в основному здійснюються міжрегіональні перевезення зі швидкістю 101-160 км/год.

F5: Лінії категорії *F5* в основному використовуються для нешвидких міжрегіональних перевезень зі швидкістю 101-120 км/год.

F6: Категорія *F6* включає лінії перевезення, по яких здійснюються на швидкості 101-160 км/год, вони в основному призначені для приміського пасажирського руху.

Залізничні гілки (*Z*):

Z1: Категорія *Z1* включає всі лінії, на яких состави можуть розвивати швидкість до

100 км/год. Ці лінії призначені для змішаних операцій, тобто для всіх типів перевезень.

Z2: Категорія Z2 включає всі лінії, обладнані найпростішими системами управління та контролю або ті, що не мають їх, состав на таких лініях не може розвивати швидкість більш ніж 50 км/год.

Міські залізничні лінії (S):

S1: Лінії категорії S1 в основному або виключно призначені для міського сполучення.

Для загального сприйняття розподіл ліній за категоріями подано в табл. 1.

Таблиця 1

Розподіл залізничних ліній за категоріями

Інфраструктура ліній за категоріями				
Категорія лінії		Категорія за програмою Netz 21	Призначення	Основні параметри інфраструктури
HSR	F1	P300	Високошвидкісний рух на нових лініях	Дві колії, електрифікація, $v_{max} > 200$ км/год
Rapid	F2	P230/M230	Високошвидкісний рух на реконструйованих коліях	Дві колії, електрифікація, $v_{max} = 161 - 200$ км/год
High-output	F3	M160	Змішаний рух	Дві колії, електрифікація, $v_{max} = 101 - 160$ км/год
Priority fast	F4	P160 I+II	Пріоритет перевезень з високою швидкістю	Дві колії, електрифікація, $v_{max} = 101 - 160$ км/год
Priority slow	F5	G120	Пріоритет перевезень зі звичайною швидкістю	Дві колії, електрифікація, $v_{max} = 101 - 120$ км/год
Local fast	F6	R120	Прискорені перевезення в місцевому сполученні	$v_{max} = 101 - 160$ км/год
Regional	Z1	R80	Фідерні лінії	$v_{max} = 51 - 100$ км/год
Periphery	Z2	G50	Вантажні перевезення (в основному)	$v_{max} < 51$ км/год, найпростіший режим експлуатації
URT	S1	P160I	Виділені лінії міських залізниць	Дві колії, $v_{max} < 120$ км/год

Концепція класифікації ліній заснована на прив'язці категорій ліній до стандарту проекту Netz 21 [2, 8]. Мета проекту Netz 21 полягає в поділі залізничних перевезень за видами та гармонізації швидкостей руху поїздів, для

поетапного створення наскрізних спеціалізованих мереж з виділеними коридорами, які краще враховують інтереси клієнтури, що вимагають підвищеної пропускнуєї спроможності та зменшення витрат (експлуатація та

обслуговування). Проект Netz 21 спрямований на виключення змішаного здійснення перевезень різних видів на одній і тій самій залізничній лінії. Для цього пропонуються два можливі рішення: розподіл перевезень і їх гармонізація.

Залізничні лінії, на відміну від залізниць України, поділяються за видами перевезень і передбачають створення наскрізних спеціалізованих мереж з виділеними коридорами, які краще враховують інтереси компаній перевізників, що вимагають підвищеної пропускної спроможності та зменшення витрат.

Плата за доступ до інфраструктури компанії управляючої інфраструктури Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. (RFI) [9,10] в Італії також заснована на характеристиках ліній, щільності руху та виду состава. У тарифі за доступ до інфраструктури закладено такий перелік послуг: розподіл потужностей і попереднє складання розкладу; доступ до

колій і допоміжного обладнання; надання достатнього часу простою поряд з обладнанням у відповідності з умовами контракту; користування коліями та системою, що забезпечує електричну тягу; управління вантажоперевезеннями в робочі години виробничого обладнання, установлені керуючим інфраструктурою; надання базової інформації; забезпечення електричною тягою.

Плата являє собою суму двох елементів – частка, що залежить від колійних дільниць/вузлів, які використовує состав (40 %), і частка, що залежить від пробігу состава.

У відповідності з критеріями, що зафіксовані указом Президента № 277/98 (статті 7.3.а та 7.3.б) [11], встановлено вісім категорій ціни одиниці продукції для колійних дільниць/вузлів. Мережа розбита на 8 вузлів і 39 дільниць комерційних колій, проте існує другорядна мережа (табл. 2).

Таблиця 2

Величина частки плати за користування інфраструктурою, що прив'язана до залізничних дільниць/вузлів, у відповідності з тарифною зоною

Типологія колійних дільниць/вузлів (типологія тарифних зон)	Ціна (євро)
Вузли	51,65
Базові – двоколіїні дільниці – 250 км/год	64,56
Базові – двоколіїні дільниці – 200 км/год	56,81
Базові – інші двоколіїні дільниці	54,23
Базові – одноколіїні лінії	49,48
ДРУГОРЯДНА МЕРЕЖА (район з єдиним тарифом)	46,48
Лінії з невеликим обсягом перевезень	0,00
Лінії прямих/зворотних перевезень	0,00

Досвід формування плати за доступ до інфраструктури у Франції також заснований на розподілі елементів інфраструктури за категоріями. Так, державний концерн «Мережа Французьких залізниць» (англ., Réseau Ferre de France, RFF)[12], відповідає за розвиток інфраструктури і керує нею, надає в тарифі за доступ такий перелік послуг: право на

використання пропускної спроможності; використання сіткових вузлів-з'єднань; послуги, необхідні для руху поїздів (сигналізація, регулювання, управління рухом, зв'язок і постачання інформації, що стосується поїзда); доступ до будь-якої іншої інформації, необхідної для організації руху поїздів.

Вся залізнична інфраструктура поділена на елементи (близько 1200 ділянок), які згруповані за категоріями швидкості залежно від типу лінії (високошвидкісні лінії, приміські лінії, міжміські лінії тощо) і часу доби. Відповідно до цієї системи, RFF

встановлює більш високі ціни в районах і в періоди з більш інтенсивним рухом. Основні напрямки національної залізничної мережі Франції згруповані в чотири категорії і у чотирнадцять підкатегорій відповідно до характеристики руху (табл. 3).

Таблиця 3

Класифікація залізничних ліній у Франції (RFF)

Основна категорія	Підкатегорія		Класифікація
Приміський рух	Інтенсивний рух		A
	Помірний рух		B
Основні напрямки міжміського руху	Інтенсивний рух		C
	Інтенсивний рух з можливістю руху 220 км/год		C-GV
	Помірний рух		D
	Помірний рух з можливістю руху 220 км/год		D-GV
	Помірний рух, що підпадає під пункт плану залізничних перевезень		D-pr
Високошвидкісні напрямки	Південь - схід	Інтенсивний рух	SE-1
		Помірний рух	SE-2
		Малодіяльний рух	SE-3
	Атлантика	Інтенсивний рух	ATL-1
		Помірний рух, Південна Європа	ATL-2
		Помірний рух Бретань- Pays de la Loire	ATL-3
		Малодіяльний рух	ATL-4
	Південь	Інтенсивний рух	NOR-1
		Помірний рух	NOR-2
		Малодіяльний рух - лінія Аррас	NOR-3
		Малодіяльний рух	NOR-4
	Взаємопов'язані лінії		ICO-1
	Східно-європейські HSL		EST-1
	Рейн Рона HSL		RH-1
Інші напрямки	За виключенням високошвидкісних напрямків		E
	За виключенням високошвидкісних напрямків, що підпадають під пункт плану залізничних перевезень		E-pr

На даний момент в Україні [7] у частині норм проектування всі нові залізничні лінії і під'їзні колії, додаткові головні колії та існуючі лінії, що підлягають реконструкції та технічному переоснащенню, залежно від їх призначення на загальній мережі залізниць, характеру, розмірів і швидкостей руху поділяються на категорії, що визначаються за одним із показників – розрахункова річна вантажонапруженість, розміри руху вантажних і пасажирських поїздів на 10-й рік експлуатації, максимальна швидкість руху пасажирських поїздів, і не дають змоги диференціювати експлуатаційні витрати залежно від обсягів перевезень.

Вартість перевезення вантажу залізничним транспортом визначається на основі вартості 1 ткм і не залежить від категорії залізничної колії, якою прямує вантаж. На даний момент пропускна спроможність окремих дільниць і напрямків залізниць знаходиться на критичній межі, і в умовах отримання функцій управління пропускною спроможністю власником інфраструктури може бути застосований диференційований підхід щодо вартості прямування вантажу залежно від категорії залізничної лінії для формування на залізничному транспорті ринкових відносин і конкурентного середовища.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Проаналізувавши досвід експлуатації закордонних залізниць і

залізниць України, можна зробити висновок про необхідність перегляду існуючого підходу до класифікації залізничної інфраструктури з метою побудови тарифу на використання пропускної спроможності для подальшого її продажу.

Закордонний досвід довів, що першим етапом у процесі класифікації є деталізація інфраструктури, яка передбачає такі елементи: залізничні станції та лінії. Проведений аналіз методик категоризації залізничних ліній таких країн, як Німеччина, Франція, Італія, довів, що критеріями класифікації інфраструктури є такі: за видами перевезень (пасажирський, змішаний, вантажний рух); за швидкостями руху; за технічним оснащенням ліній, за стратегічним значенням (МТК); за вантажонапруженістю; за рівнем використання пропускної спроможності. Крім того, аналіз довів, що необхідним є врахування особливостей умов експлуатаційної діяльності кожної окремої країни, отже, вони не можуть бути механічно перенесені до умов України, що, як наслідок, вимагає розроблення власного методу класифікації, адаптованої до умов залізниць України з можливістю класифікації ліній на кожний поточний рік окремо, що дозволить у перспективі виділити з загальної вартості перевезення складової на утримання інфраструктури та організацію руху, а в подальшому сформулювати гнучкі тарифи за доступ до залізничної інфраструктури.

Список використаних джерел

1. Panchenko, S.V. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises[Text] / S.V. Panchenko, T.V. Butko, A.V. Prokhorchenko, L.O. Parkhomenko // Natsional'nyi Hirnychyi Universytet Naukovyi Visnyk. – 2016. - №2. – P. 93-99.
2. Jaensch, E. Railway infrastructure and the development of high-speed rail in Germany [Text] / Eberhard Jaensch // Railway Technical Review. – 2005. – №2. – P. 2-11.
3. Про безпеку залізниць у Співтоваристві, яка вносить зміни до Директиви Ради 95/18/ЄС про ліцензування підприємств залізничного транспорту та до Директиви 2001/14/ЄС про розподіл потужностей залізничних інфраструктур та стягнення платежів за використання залізничної інфраструктури та про сертифікацію безпеки: Директива

2004/49/ЄС Європейського Парламенту та Ради про безпеку на залізницях) від 29 квітня 2004 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/994_953.html. - Назва з екрану.

4. Railway Group Standards .Track Standards Manual [Text] Section 1: Basic Track Category Matrix Railway Group Standard, GC/RT5023. – 1995. – P.7.

5. Kemal, S.O. Theoretical Trac Loads and Classication of Turkish Railway Network according to the Track Maintenance [Text] / Kemal Selcuk Ogut // ARI Bulletin of the Istanbul Technical University. – 2004. – №54. – P. 90-95.

6. UIC Code 714 R Classification of lines for the purpose of track maintenance, International Union of Railways. - 4rd edition. - 2009. – P. 1-9.

7. ДБН В.2.3-19-2008. Споруди транспорту залізничі колії 1520 мм. Норми проектування [Текст]. Введ. 26.01.2008. – К.: Мінрегіонбуд України. – 5 с. - (Державні будівельні норми України).

8. Fricke, E. Eisenbahntechnische Rundschau [Text] / E. Fricke, N. Janiak // Heidelberg. – 1996. – № 9. – P. 531-534.

9. Національний менеджер залізниць Італії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rfi.it/rfi>. - Назва з екрана.

10. Allan, J. Computers in Railways IX [Text] / J. Allan, C. A. Brebbia, R. J. Hill // WIT Press. 2004. - P. 303-311.

11. OECD Reviews of Regulatory Reform OECD Reviews of Regulatory Reform: Regulatory Reform in Italy 2001, OECD Publishing, 2001 p. – P.402.

12. Track Standards Manual - Section 1: Basic Track Category Matrix/ Railway Group Standard, GC/RT5023, 1995. - 7 p.

Рецензент д-р техн. наук, професор О. М. Огар

Проходченко Андрій Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: railwayhub@yahoo.com.

Бугай Юрій Сергійович, магістр групи 18-V-ОПУТ, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Семененко Роксоляна Іванівна, магістр групи 23-VI-ОПУТм, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Воловодик Вероніка Михайлівна, магістр групи 21-VI-ОПУТм, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Prohorchenko Andrei, Ph.D., Associate Professor, Department of operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-88. E-mail: railwayhub@yahoo.com.

Buhay Yuri, master of 18-V-OPUT, Department of operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Roksolyana I. Semenenko, master of 23-VI-OPUTm, Department of operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Volovodyk Veronica M., master of 21-VI-OPUTm, Department of operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Стаття прийнята 25.08.2016 р.

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ УКРАЇНСЬКОГО
ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ**

**COLLECTED SCIENTIFIC WORKS OF UKRAINIAN
STATE UNIVERSITY OF RAILWAY**

Випуск 163

«Збірник наукових праць УкрДУЗТ» включено до списку друкованих (електронних) періодичних видань, що включаються до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Наказ МОН України від 21.12.2015 р. № 1328 (додаток 8)).

Статті друкуються в авторській редакції мовою оригіналу

Відповідальний за випуск Янченко Л.В.

Редактори Буранова Н.В., Ібрагімова Н.В., Решетилова В.В.

КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Підписано до друку 05.09.2016 р.

Формат паперу А4. Папір писальний.

Умовн.друк. арк. 9,25. Тираж 105. Замовлення № .

Видавець Український державний університет залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха,7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.