



**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 173*

**Харків 2017**

## УДК 656.2(062)

До збірника потрапили результати науково-дослідних робіт магістрів Українського державного університету залізничного транспорту, які присвячені розв'язанню сучасних проблем з підвищення ефективності та удосконалення процесу перевезень вантажів, експлуатації та ремонту рухомого складу, інформаційної технології, зв'язку та телеуправління на залізничному транспорті, утримання споруд і колій залізниць України.

Статті написані в рамках Програми Європейського союзу TEMPUS Mie GVF «Магістр інфраструктури та експлуатації високошвидкісного руху».

З електронною версією збірника можна ознайомитися на сайті: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe](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). Реєстрація збірника на сайті <http://jml2012.indexcopernicus.com>.

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

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

### Реферативна база

"Наукова періодика України": <http://csw.kart.edu.ua>

**ISSN (p) 1994-7852**

**ISSN (online) 2413-3795**

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Друкується за рішенням вченої ради університету, протокол № 7 від 31 жовтня 2017 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  
Бутько 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  
Ворожбіян 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  
Мартинів 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  
Приходько С. І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ  
Плугін А. А., д.т.н., професор, УкрДУЗТ  
Пузир В. Г., д.т.н., професор, УкрДУЗТ  
Тимофєєва Л. А., д.т.н., професор, УкрДУЗТ  
Фалендиш А. П., д.т.н., професор, УкрДУЗТ

ISSN 1994-7852

Зареєстровано 2 червня 2007 р.  
у ISSN International Centre 20. Rue  
Vachautmont, 75002 PAPIIS, FRANCE

© Український державний університет  
залізничного транспорту, 2017

## ЗМІСТ

<i>Запара Я. В., Майоров І. В., Петрів О. В.</i> Оптимізація побудови графіка обігу швидкісних пасажирських поїздів у залізничних вузлах	5
<i>Запара В. М., Оленюк В. О., Тимошенко І. О.</i> Технічні специфікації з інтеперабельності та їх упровадження у швидкісному русі на залізницях України	12
<i>Равлюк В. Г., Ткаченко М. А., Уманець А. С., Соколова Р. О., Калініна І. В.</i> Особливості виділення діагностичних ознак технічного стану редуктора пасажирського вагона	20
<i>Куценко М. Ю., Шаповал Г. В., Івашкіна А. М., Шкарбуль Я. А., Лисенко Є. М.</i> Визначення структури будівельних робіт з реконструкції роздільних пунктів при введенні швидкісного руху	29
<i>Петухов В. М., Кладько Н. С., Регент І. В.</i> Огляд сучасних вбудованих засобів контролю буксових вузлів пасажирських вагонів для швидкісного руху	35
<i>Огар О. М., Кужавський М. С., Кузнецов Є. М., Наумов М. В.</i> Визначення раціонального місця розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у крупному залізничному вузлі	42
<i>Дацун Ю. М., Риндич С. М.</i> Визначення напрямків удосконалення системи утримання локомотивів	51
<i>Борзилов І. Д., Равлюк М. Г., Князьков М. С.</i> Методика визначення граничних значень параметрів технічного стану вузлів вагонів швидкісного руху	56
<i>Шульдінер Ю. В., Зінчук Р. О., Гейнріхсон Н. Ю.</i> Удосконалення організації приміських залізничних перевезень за рахунок зміни кількості пасажирських секцій	63
<i>Дацун Ю. М., Беженар Є. В.</i> Дослідження показника відповідності локомотиворемонтного виробництва	70
<i>Ковальов А. О., Гуляєв О. В.</i> Визначення раціональної кількості швидкісних пасажирських поїздів на залізничній лінії	75
<i>Крашенінін А. С., Сулежко Д. Е.</i> Забезпечення ремонтної потужності локомотивних депо в період коливань програми ремонту	80
<i>Лобяк О. В., Орел Є. Ф., Сандул В. А.</i> Моделювання роботи прогонових будов при реконструкції автодорожнього шляхопроводу	88
<i>Кулешов В. В., Шаповал Г. В., Кулешов А. В., Громов С. О., Лисенко Є. М.</i> Удосконалення систем супутникової навігації при розвитку пасажирського комплексу в умовах швидкісних перевезень	96
<i>Саркісян К. М., Устенко О. В.</i> Аналіз методів та експертна оцінка оперативного контролю технічного стану колісних пар рухомого складу	107

<i>Прохорченко А. В., Маловічко В. В., Декарчук О. М., Красноштан О. М.</i> Сучасні напрями автоматизації диспетчеризації руху поїздів на залізницях світу та перспективи їх упровадження в Україні	114
<i>Константинов Д. В., Невидюк І. Ю., Островерх Р. М.</i> Формування раціональних маршрутів прямування поїздів на залізницях України	124
<i>Устенко О. В., Письменний Д. Ю., Вовк Е. М., Ляшенко С. В.</i> Дослідження аеродинамічних властивостей струмоприймача при високошвидкісному русі	131
<i>Малахова О. А., Уманець А. М., Яблонський П. М.</i> Диспетчерське керування рухом при диференціації насиченості поїздів на дільниці	137
<i>Пархоменко Л. О., Серпокрилов В. Ю., Коваленко Д. М.</i> Аналіз динаміки пасажиропотоків по Україні в умовах швидкісних перевезень	143
<i>Сіконенко Г. М., Шарий О. Л.</i> Визначення часу відправлення пасажирських поїздів з використанням теорії розкладів	148
<i>Долгополов П. В., Черепков О. С., Карпов Р. М.</i> Оптимізація управління пропускнуою спроможністю залізничної мережі в умовах швидкісних пасажирських перевезень	155
<i>Калашнікова Т. Ю., Андрєєв В. В., Харченко О. В.</i> Підвищення якості функціонування УЗШК в умовах високошвидкісного руху	161
<i>Пасько О. В., Тананян Р. Є.</i> Розробка методів і засобів підвищення ефективності застосування рекуперативного гальмування на залізницях постійного струму	167
<i>Шандер О. Е., Леміш А. М.</i> Удосконалення процесу організації швидкісних пасажирських перевезень в умовах пересадок	176
<i>Головко Т. В., Шут С. А.</i> Удосконалення технології обробки пасажирських поїздів в умовах функціонування швидкісного руху	183
<i>Шумик Д. В., Романова М. В.</i> Збільшення швидкості руху поїздів Інтерсіті(+) за рахунок зменшення кількості обмежень	190
<i>Харламов П. О., Федоров А. В., Харламова О. М., Дзюба О. А.</i> Перспектива розроблення системи електричної тяги постійного струму підвищеної напруги	199
<i>Рибальченко Л. І., Нерівня О. В.</i> Обґрунтування вибору оптимального варіанта організації швидкісного руху	205
<i>Костєнніков О. М., Бауліна Г. С., Богомазова Г. Є., Нікішин Д. В., Панкратов М. В.</i> Перспективи підвищення ефективності функціонування залізничної пасажирської галузі швидкісних перевезень	209

УДК 656.022

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПОБУДОВИ ГРАФІКА ОБІГУ ШВИДКІСНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ У ЗАЛІЗНИЧНИХ ВУЗЛАХ**

Канд. техн. наук Я. В. Запара, магістранти І. В. Майоров, О. В. Петрів

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКОВ ОБРАЩЕНИЯ СКОРОСТНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛАХ**

Канд. техн. наук Я. В. Запара, магистранты И. В. Майоров, О. В. Петрив

**OPTIMIZATION OF CONSTRUCTION OF SCHEDULES OF HIGH-SPEED PASSENGER TRAINS IS IN RAILWAY UNITS**

Cand. of techn. sciences Y. Zapara, magistrands I. Maiorov, O. Petriv

*Визначено оптимальний графік побудови обігу швидкісних поїздів у залізничних вузлах, що дає можливість вивільнення составів швидкісних поїздів для подальшого їх раціонального використання на інших полігонах залізниць для задоволення потреб пасажирів. Застосування запропонованої методики дозволяє також ефективно використовувати стюардів поїздів та зменшити потребу у колійному розвитку станцій залізничного вузла для обслуговування швидкісних поїздів.*

**Ключові слова:** оптимізація, обіг, пасажирські перевезення, швидкісні поїзди, залізничний вузол.

*Определен оптимальный график построения обращения скоростных поездов в железнодорожных узлах, что дает возможность высвобождения составов скоростных поездов для дальнейшего их рационального использования на других полигонах железных дорог для удовлетворения потребностей пассажиров. Применение предложенной методики позволяет также эффективно использовать стюардов поездов и уменьшит потребность в путевом развитии станций железнодорожного узла для обслуживания скоростных поездов.*

**Ключевые слова:** оптимизация, оборот, пассажирские перевозки, скоростные поезда, железнодорожный узел.

*The optimal compilation of speed trains in railway junctions schedule is determined. The schedule allows release of compositions of high-speed trains to further their rational use at other railroad tracks to meet the passenger's needs. The application of the proposed methodology allows efficient use of train stewards, reducing the need for stations track development.*

*Today on Ukrainian railways there is a need to increase the frequency of rotation of high-speed trains in the existing directions and to introduce their rotation in other directions. Achieving this goal will be possible after replenishment of the fleet of high-speed trains or the release of compositions by constructing an optimal schedule of speed trains in railway junctions.*

*New approaches are required for the development of high-speed traffic in the conditions of high value both of the high-speed lines and the corresponding rolling stock, The further development of high-speed rail transport on the Ukrainian railways is possible by developing an optimal process for the operation of existing railways capacities. Taking into account the specifics*

*of the work of the railways, the needs of passengers in the transport of certain regions and nodes will allow the withdrawal of high-speed railway traffic to a new level.*

**Keywords:** *optimization, circulation, passenger transportation, high-speed trains, railway junction.*

**Вступ.** На кінець 2017 року перевезення денними швидкісними поїздами категорії Інтерсіті+ і Інтерсіті в Україні практично досягають 15 % від загальних. Слід сказати, що за п'ять років, які пройшли з моменту виходу на ринок цього нового «продукту», швидкісні поїзди завоювали свого пасажирів. Дуже багато людей вже не уявляють собі подорожей між найбільшими містами країни без цих поїздів, а середня населеність вагона давно перевищила 80 %. На сьогодні на залізницях України курсують 16 швидкісних поїздів. Вже відчувається необхідність збільшити частоту обертання на діючих напрямках – це передусім Харків, Дніпро, Львів. Перспективним є розвиток швидкісного сполучення з Луцьком і Рівним, а також з Миколаєвом і Херсоном. Так само перспективними є Кременчук, Черкаси, Кропивницький. Проте проблеми Черкас, Миколаєва і Херсона на сьогодні у відсутності електрифікації. Дуже потужний ринок для денних перевезень – це Вінниця, Хмельницький і Тернопіль – сумарне населення більше 1 мільйона людей, більше того, населення цих міст відрізняється високою мобільністю, що дозволяє ввести тактовий рух швидкісних поїздів (курсування поїздів через рівну кількість годин), але це буде можливо після поповнення парку швидкісних поїздів або вивільнення составів швидкісних поїздів шляхом побудови оптимального графіка обігу поїздів у залізничних вузлах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Високий рівень розвитку швидкісних та високошвидкісних залізниць країн Європи та інших континентів зумовив «зародження» швидкісного руху в Україні. Перевагами його є підвищення безпеки, зниження екологічного навантаження, соціально-економічна

ефективність тощо, серед основних недоліків – велика вартість будівництва та обслуговування швидкісних ліній [1]. Питанням перспектив розвитку, з урахуванням світового досвіду, та ефективності функціонування швидкісного залізничного руху на залізницях України приділено багато уваги [2-5]. Останніми роками вченими профільних університетів та фахівцями транспорту освітлено та запропоновано до вирішення низку актуальних задач з цього питання. Серед вчених Українського державного університету залізничного транспорту слід відзначити роботи Т. В. Бутько, В. Л. Диканя, П. В. Долгополова, Я. В. Запари, Т. Ю. Калашнікової, О. А. Малахової, А. В. Прохорченка, О. В. Розсохи, Г. М. Сіконенка та ін. [6-8]. Однак дослідженню питань ефективності функціонування швидкісних поїздів на регіональних філіях залізниць з точки зору знаходження раціональних варіантів ув'язки поїздів в загальний обіг з урахуванням зручного для пасажирів розкладу прибуття та відправлення по початково-кінцевим станціям приділена недостатня увага. Так, в роботі [6] визначено, що найбільш сприятливим та відповідним для умов залізниць України є застосування змішаної моделі використання швидкісних магістралей. Вона дає змогу використовувати швидкісну магістраль як для пропускання швидкісних поїздів, так і для пропускання нічних пасажирських та приміських поїздів, а також здатна ефективно використовувати пропускну спроможність ділянки для всіх цих категорій поїздів. Проте у даній моделі не враховано зручний час для пасажирів розкладу прибуття та відправлення по початково-кінцевим станціям швидкісних ліній та не зазначено, як модель впливає на

роботу обслуговуючих технічних станцій швидкісних поїздів. У статті [7] удосконалено математичну модель оптимального розподілу потоку пасажирських поїздів високошвидкісних магістралей на полігоні залізниці. Як критерій оптимальності обрано максимальний прибуток пасажирської компанії при організації руху високошвидкісних поїздів на даному полігоні, однак у моделі не враховані інтереси пасажирів за розкладом та можливістю ув'язки швидкісних пасажирських поїздів в загальний обіг. У роботі [8] зазначено, що одним із напрямків підвищення конкурентоспроможності залізниць та стійкого розвитку залізничних пасажирських перевезень є подальший розвиток швидкісного руху. Акцентовано увагу на те, що максимальний ефект при цьому досягається при відокремленні пасажирського й вантажного руху, однак конкретних економічних викладок стосовно залізниць України не наведено. При техніко-економічному обґрунтуванні доцільності функціонування швидкісних поїздів на залізницях України необхідно мати на увазі не тільки галузевий ефект (інтереси перевізника), а й кількісну оцінку закону економії часу, проте для залучення пасажирів на залізничний транспорт, зокрема швидкісні поїзди, необхідно враховувати інтереси пасажирів в частині зручного часу розкладу прибуття та відправлення по станціях швидкісних магістралей.

Із останніх іноземних робіт слід відзначити [9], де автором зроблена оцінка економічної ефективності способів організації швидкісного руху з урахуванням пропускної спроможності та інших інфраструктурних особливостей перегонів залізниць, але у роботі не зазначено як від кількості швидкісних поїздів, які обертаються на дільниці, залежить необхідний колійний розвиток станцій дільниці з урахуванням існуючого пасажиропотоку. Заслужує на увагу також робота [10], у якій описано розвиток

високошвидкісних магістралей як інструмент економічної інтеграції досягнень економік Китаю та Європи, і такі підходи можуть бути в певній мірі адаптовані до умов України для ефективного розвитку швидкісного руху. Автором роботи [11] показано, як впливає функціонування високошвидкісних магістралей на зміну європейського пасажиропотоку, однак у роботі не зазначено яким чином можливо врахувати особливості інших залізниць, зокрема українських, для застосування запропонованої методики.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою роботи є побудова оптимального графіка обігу швидкісних поїздів у залізничних вузлах, який би дозволив вивільнити состави швидкісних поїздів для подальшого їх раціонального використання на інших полігонах залізниць. Завданнями дослідження є знаходження раціональних варіантів ув'язки швидкісних пасажирських поїздів в загальний обіг з урахуванням зручного для пасажирів розкладу прибуття та відправлення по початково-кінцевих станціях; організація ритмічної та рівномірної роботи технічних станцій обслуговування швидкісних поїздів.

**Основна частина дослідження.** Постановку задачі оптимізації побудови графіків обігу швидкісних составів пасажирських поїздів у залізничних вузлах для забезпечення якісного обслуговування пасажирів найменшим числом составів і ефективного функціонування пасажирських технічних станцій можна сформулювати в такому вигляді: визначити розклад прибуття і відправлення швидкісних поїздів і обрати оптимальний варіант ув'язки составів швидкісних пасажирських поїздів в крупних вузлах при таких обмеженнях: за зручним для пасажирів часу прибуття-відправлення за початково-кінцевими пунктам і часом прослідування поїздами крупних попутних адміністративних центрів; часом

надходження составів на початково-кінцевій станції; кількістю составів, які одночасно знаходяться на станції; освоєнням запланованого пасажиропотоку на даному напрямі; часом неперервної роботи бригади стюардів; величиною вагонного парку, який існує. Критерієм задачі є мінімум сумарних поїздо-годин простою

$$F = \sum_{s=1}^S \sum_i^{N_s} \sum_j^{N_s} d_{ij}^s t_{ij}^s \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $d_{ij}^s$  – матриця ув'язки швидкісних составів, яка набуває двох значень 1 (якщо  $t_{-i}^s$  ув'язується з  $t_j^{-s}$ ) і 0 (в інакшому випадку). Визначається як

$$d_{ij}^s = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N d_{ij} = 1; \sum_{j=1}^N d_{ij} = 1, \quad (3)$$

де  $t_{ij}^s$  – простій состава  $ij$ -го поїзда на станції  $s$ , год; який обчислюється за формулою  $t_{ij}^s = t_j^{-s} - t_{-i}^s$ , де  $t_{-i}^s$  – розклад прибуття поїздів на станцію  $s$ , год;  $i = 1, \dots, N_s$ ;  $t_j^{-s}$  – розклад відправлення поїздів зі станції  $s$ , год;  $j = 1, \dots, N_s$ ;  $N_s$  – розміри руху по кожній  $s$ -ій станції ( $N_s \in N$ ), пар;

$N$  – розміри руху на полігоні мережі, яка складається з  $\delta$  станцій, пар.

Поставлена багатofакторна задача є нелінійною і може бути послідовно вирішена шляхом декомпозиції її на ряд окремих лінійних задач:

- визначення оптимальних розкладів прибуття і відправлення швидкісних пасажирських поїздів на початково-кінцеві станції, які забезпечують інтереси пасажирів і раціональне завантаження станцій шляхом вибору тимчасових меж для розкладу прибуття і відправлення поїздів в залежності від часу їх знаходження на шляху слідування і черговості обробки составів на пасажирських технічних станціях (ПТС);

- обґрунтування вибору раціональних схем ув'язки швидкісних поїздів в загальний обіг;

- розрахунок композицій составів швидкісних пасажирських поїздів, ув'язаних в загальний обіг, які максимально задовольняють потреби пасажирів у місцях за типами вагонів і ефективністю використання рухомого складу;

- оптимізація чисельності бригади стюардів, які обслуговують ув'язані в загальний обіг состави пасажирських швидкісних поїздів.

Наступні обмеження до (1):

- 1) облік вимог пасажирів щодо зручного часу прибуття і відправлення на початково-кінцеві станції і до прослідування крупних попутних адміністративних центрів в денний час

$$t_{-i} = \{[6^{00} \div 7^{00}], [9^{00} \div 11^{00}], \varphi = 1; [6^{00} \div 12^{00}], \varphi = 2; [6^{00} \div 22^{00}], \varphi = 3, \quad (4)$$

$$\bar{t}_j = \{[23^{00} \div 1^{00}], [17^{00} \div 20^{00}], \varphi = 1; [17^{00} \div 1^{00}], \varphi = 2; [8^{00} \div 24^{00}], \varphi = 3, \quad (5)$$

$$6^{00} \leq t_k^{np} \leq 24^{00}, \quad (6)$$

де  $\varphi$  – номер часової зони;



2) простій составів на початково-кінцевих станціях повинен бути не менше технологічного, який залежить від часу

$$\text{при } s=i \quad t_{ij} \geq \{6, \gamma = 0 \div 2; \lambda = 1 \div \Lambda; 8, \gamma \geq 2; \lambda = 2 \div \Lambda; 10, \gamma \geq 2; \lambda = 1, \quad (7)$$

$$\text{при } s=j \quad t_{ij} \geq \{3, \gamma = 0 \div 2; \lambda = 1 \div \Lambda; 4, \gamma \geq 2; \lambda = 2 \div \Lambda; 6, \gamma \geq 2; \lambda = 1, \quad (8)$$

де  $\lambda$  – категорія поїзда. Набуває такого значення: – 1, якщо поїзд швидкісний категорії Інтерсіті+ та Інтерсіті; – 2, якщо поїзд пасажирський дальній; – 3, якщо поїзд пасажирський місцевий (нічний); – 4, якщо поїзд пасажирський місцевий (денний); –  $\Lambda$ , якщо поїзд має іншу категорію;

3) кількість составів, які одночасно знаходяться на станції, не повинна перевищувати її ємність, тобто

$$M^s(t) = \sum_{\tau \in [t_1, t]} N_{np}^s(\tau) - \sum_{\tau \in [t_1, t]} N_{ompr}^s \leq P_s, \quad (9)$$

де  $N_{np}^s$ ,  $N_{ompr}^s$  – відповідно число швидкісних поїздів, які прибули і відправились по  $s$ -й станції і в момент часу  $\tau$ ;  $P_s$  – ємність  $s$ -ї станції, колій;  $t_1$  – початок інтервалу накопичення;

4) місткість составів, ув'язаних в єдиний обіг, повинна освоювати густоту пасажиропотоку на даному напрямі:

$$a_x x_{ij} + a_y y_{ij} + a_z z_{ij} + \dots + a_k k_{ij} \geq A_{ij}, \quad (10)$$

де  $A_{ij}$  – величина густоти пасажиропотоку на напрямі  $ij$ , люд;

5) чисельність бригад провідників, які обслуговують ув'язані в єдиний обіг состави, не повинна перевищувати їх розрахункової чисельності за планом формування;

6) час роботи бригади стюардів, які обслуговують ув'язані в єдиний обіг

знаходження швидкісного поїзда на шляху прямування

состави, не повинен перевищувати нормативного (1);

7) парк вагонів за типами рухомого складу не повинен перевищувати наявний робочий парк вагонів на полігоні мережі

$$B_1 + B_2 \leq \sum_{1,2} B_{HP}^{1,2}, \quad (11)$$

$$\frac{1}{24} \sum_{ij} \theta_{ij} x_{ij} = B_1; \quad \frac{1}{24} \sum_{ij} \theta_{ij} y_{ij} = B_2; \quad (12)$$

де  $B_1$ ,  $B_2$  – потрібний парк вагонів відповідно 1-го та 2-го класу, який залежить від обігу составів  $\theta_{ij}$  і наявності вагонів кожної категорії в составі поїзда;

8) обов'язкове дотримання умови повернення состава на станцію приписки або ПТС.

Рішенням комплексної задачі є матриця  $d_{ij}$  (2) при мінімальному значенні функції (1) при обмеженнях (4) – (12).

Запропонована процедура поетапного отримання підсумкової матриці можливих ув'язок (табл. 1) дозволяє на кожному етапі (кроці) значно зменшувати кількість варіантів, які розглядаються, шляхом порівняння і відбору можливих варіантів ув'язки за такими умовами: простоем, який повинен бути не менше технологічного; належністю составів, які ув'язуються, і періодом їхнього призначення; категоріями поїздів, які ув'язуються; композиціями составів, які ув'язуються (місткістю).

Підсумкова матриця можливих ув'язок

$\bar{t}_j$	$\bar{t}_1$	$\bar{t}_2$	...	$\bar{t}_j$	...	$\bar{t}_{N-1}$	$\bar{t}_N$
$t_{-i}$							
$\bar{t}_1$	1 0	1 1		1 1		1 1	1 1
	1 0	1 1		1 1		1 0	1 1
$\bar{t}_2$	1 0	1 1		1 0		1 1	1 1
	1 1	1 0		0 0		1 1	1 0
...							
$\bar{t}_1$	1 1	1 1		1 1		1 1	1 1
	1 0	1 1		1 1		1 1	1 0
...							
$\bar{t}_{N-1}$	0 0	1 1		1 1		1 1	1 1
	0 0	1 0		1 1		1 1	0 0
$\bar{t}_N$	1 1	1 1		1 1		1 1	1 0
	1 1	1 1		1 0		0 0	0 0

Для визначення підсумкової матриці ув'язки розкладів составів швидкісних пасажирських поїздів, яка дозволяє вивільнити з обігу состави шляхом скорочення їх непродуктивності простою на ПТС, необхідно розглянути підсумкову матрицю можливих ув'язок і визначити всі можливі варіанти ув'язки  $t_{-i}$  з  $\bar{t}_j$ . При цьому розглядаються тільки ті варіанти, які задовольняють чотири вищеперераховані умови. Варіанти для ув'язки  $t_{-i}$  з  $\bar{t}_j$  (клітинка матриці з чотирма одиницями в кутках) обираються таким чином, щоб на перехресті рядка і стовпчика знаходилося тільки одне значення  $t_{ij}$ . Потім проводиться розрахунок поїздо-годин простою за критерієм  $F = \sum_{ij} d_{ij} t_{ij}$ , тобто знаходимо мінімум

$$F_{\min} \in \{F_1, F_2, F_3\}, \quad (13)$$

$$\text{де } F_1 = t_{1N} + t_{21} + t_{ij} + t_{N-1N-1} + t_{N2};$$

$$F_2 = t_{1N} + t_{2N-1} + t_{i2} + t_{N-1j} + t_{N1};$$

$$F_3 = t_{1N} + t_{21} + t_{1N-1} + t_{N-1j} + t_{N2}.$$

Підсумковий варіант ув'язки розкладів, який забезпечує мінімальний простій составів на ПТС, подано у вигляді матриці в табл. 2.

**Висновки.** Окреслені шляхи розвитку швидкісного пасажирського руху на залізницях України. Розроблена комплексна модель, яка дозволила формалізувати побудову графіку обігу швидкісних поїздів з урахуванням зручного для пасажирів розкладу прибуття та відправлення на початково-кінцеві станції, ритмічної та рівномірної роботи технічних станцій, вивільнити рухомий склад і зменшити потребу в колійному розвитку.

Подальший розвиток швидкісного залізничного транспорту на залізницях України в умовах великої вартості як самих швидкісних ліній, так відповідного

рухомого складу, можливий за рахунок розробки оптимального процесу функціонування наявних потужностей

залізниць, врахування специфіки роботи залізниць та потреб пасажирів у перевезеннях окремих та регіонів та вузлів.

Таблиця 2

Підсумкова матриця можливих ув'язок

$t_{-i}$	$t_1$	...	$t_j$	...	$t_N$
$t_{-1}$	1 0		1 1		1 0
$t_{-i}$	0 0		1 1		1 1
$t_{-N}$	1 1		0 1		1 0

**Список використаних джерел**

1. Анисимов, П. С. Высокоскоростные железнодорожные магистрали и пассажирские поезда [Текст]: монография / П. С. Анисимов, А. А. Иванов. – М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 542 с.
2. Момот, А. В. Економічна ефективність високошвидкісних пасажирських залізничних перевезень в Україні [Текст]: дис... канд. екон. наук / А. В. Момот. – Дніпропетровськ, 2014. – 192 с.
3. Журавель, В. Аналіз досвіду використання високошвидкісних залізничних сполучень [Текст] / В. Журавель // Українські залізниці. – 2016. – №1. – С. 34-41.
4. Божок, Н. О. Напрями впровадження швидкісних пасажирських перевезень в Україні [Текст] / Н. О. Божок // Проблеми економіки транспорту: зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – Вип. 5. – С. 46-56.
5. Босов, А. А. Формирование вариантов рациональной сети линий высокоскоростного движения поездов в Украине [Текст] / А. А. Босов, Г. Н. Кірпа. – Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т залізнич. трансп. ім. акад. В.Лазаряна, 2004. – 144 с.
6. Калашнікова, Т. Ю. Визначення найкращої моделі використання високошвидкісних магістралей для залізниць України [Текст] / Т. Ю. Калашнікова, Ю. М. Чередніченко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 162. – С. 177-182.
7. Розсоха, О. В. Моделювання пасажирських поїздопотоків високошвидкісних залізничних магістралей [Текст] / О. В. Розсоха, В. М. Солонець // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 5-13.
8. Сіконенко, Г. М. Удосконалення перевезення пасажирів при розвитку залізничного швидкісного руху [Текст] / Г. М. Сіконенко, О. В. Кішко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 140. – С. 55-59.
9. Климова, Е. В. Оценка экономической эффективности способов организации скоростного движения пассажирских поездов: [Текст]: автореф. дис... канд. екон. наук: 08.00.05 / Е. В. Климова; [Сибирск. гос. ун-т путей сообщ.]. – Новосибирск, 2015. – 24 с.

10. Cheng, Y. High-speed rail networks, economic integration and regional specialization in China and Europe [Text] / Yuk-shing Cheng, Becky P.Y. Loo, Roger Vickerman // Travel Behaviour and Society, Volume 2, Issue 1, January 2015, P. 1-14.

11. Clewlow, R. The impact of high-speed rail and low-cost carriers on European air passenger traffic [Text] / Regina R. Clewlow, Joseph M. Sussman, Hamsa Balakrishnan // Transport Policy, Volume 33, May 2014, P. 136-143.

---

Запара Ярослав Вікторович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85.

E-mail: y.zapara@gmail.com.

Майоров Ігор Володимирович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: y.zapara@gmail.com.

Петрів Ольга Василівна, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: oliapetriv06031985@gmail.com.

Zapara Yaroslav, Ph.D., lecturer of management of freight and commercial work, Faculty of Railway Operation and Management, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-85. E-mail: y.zapara@gmail.com.

Maiores Ihor, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport.

E-mail: y.zapara@gmail.com.

Petriv Olga, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport.

E-mail: oliapetriv06031985@gmail.com.

Стаття прийнята 02.10.2017 р.

**УДК 656.022**

## **ТЕХНІЧНІ СПЕЦИФІКАЦІЇ З ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ ТА ЇХ УПРОВАДЖЕННЯ У ШВИДКІСНОМУ РУСІ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ**

**Канд. техн. наук В. М. Запара, магістранти В. О. Оленюк, І. О. Тимошенко**

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ СПЕЦИФИКАЦИИ ПО ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ И ИХ ВНЕДРЕНИЕ В СКОРОСТНОМ ДВИЖЕНИИ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ**

**Канд. техн. наук В. М. Запара, магистранты В. А. Оленюк, И. А. Тимошенко**

## **TECHNICAL SPECIFICATIONS ON INTEROPERABILITY AND THEIR INTRODUCTION IN A SPEED MOTION ON RAILWAYS OF UKRAINE**

**Cand. of techn. sciences V. Zapara, magistrands V. Olenyuk, I. Timoshenko**

*Доведено, що залізниці України в технічному і законодавчому відношенні готові до євроінтеграції в питаннях інтероперабельності, у тому числі у сфері швидкісного і високошвидкісного пасажирського руху. Пропонується для впровадження технічних специфікацій з інтероперабельності на залізницях України інтенсифікувати зусилля всіх причетних структур, що в перспективі дасть змогу залізничному транспорту України наблизитися до європейського рівня.*

**Ключові слова:** *технічна специфікація, регламент, інтероперабельність, швидкісний рух, євроінтеграція, імплементація.*

*Доказано, что железные дороги Украины в техническом и законодательном отношении готовы к евроинтеграции в вопросах интероперабельности, в том числе в сфере скоростного и высокоскоростного пассажирского движения. Предлагается для внедрения технических спецификаций по интероперабельности на железных дорогах Украины интенсифицировать усилия всех причастных структур, что в перспективе позволит железнодорожному транспорту Украины приблизиться к европейскому уровню.*

**Ключевые слова:** *техническая спецификация, регламент, интероперабельность, скоростное движение, евроинтеграция, имплементация.*

*It is proved that cooperation in questions of interoperability with the EU countries has a certain interest for the railways of Ukraine, taking into account the possible financing from the EU funds. However, we should not skip the negative consequences of European integration, in part of transit potential.*

*It is established that the railways of Ukraine are technically and legally better than other industries prepared for European integration. By the specifics of their activities, they are ready to cooperate with various transnational communities and are already an important link in the transport system of Europe and Asia. At the same time, it is necessary to take into account the experience in the EU countries in questions of interoperability, especially in the domain of high-speed passenger traffic.*

*The moments that impede the development of Ukraine's transport potential while expanding cooperation with the European Union are considered. In this context, it is necessary to resolve the issues of technical re-equipment of existing border crossing railway points with the EU countries.*

*The implementation of the requirements of the European Union to the railways of Ukraine is granted from 4 to 8 years and at the same time it is necessary to intensify the efforts of all involved structures, which in future will allow Ukraine's rail transport to approach the European level.*

**Keywords:** *technical specification, regulation, interoperability, high-speed movement, eurointegration, implementation.*

**Вступ.** Залізничний транспорт України перебуває на шляху реформування [1] і повинен у своєму розвитку активно вирішувати питання інтеграції транспортної системи України на основі європейського досвіду.

У результаті підписання Україною Угоди про асоціацію та зону вільної торгівлі з Євросоюзом нашій країні буде потрібно для переходу на європейські технічні стандарти \$ 160 млрд, що еквівалентно річному ВВП країни. Частина цих ресурсів повинна бути спрямована на вирішення проблем інтероперабельності (технічної сумісності) транспортних систем України і країн ЄС.

Актуальним це повинно стати і для швидкісного руху на залізницях України, які мають зберегти передові позиції у сфері пасажирських перевезень за рахунок розвитку мережі швидкісних магістралей, що дасть змогу забезпечити значне зростання обсягів залізничних перевезень, у тому числі за рахунок залучення пасажирів з інших видів транспорту. Збільшенню обсягів міжміських та міжнародних перевезень сприятиме також підвищення мобільності населення у результаті позитивних змін в економіці та соціальній сфері, розширення міжнародного співробітництва [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Перспективам розвитку та ефектив-

ності функціонування швидкісного залізничного руху на залізницях України останнім часом приділено достатньо уваги [3-6], у тому числі є відповідні напрацювання вчених Українського державного університету залізничного транспорту (Т. В. Бутько, В. Л. Дикань, О. В. Лаврухін, Я. В. Запара, Т. Ю. Калашнікова, О. А. Малахова, А. В. Прохорченко, О. В. Розсоха, Г. М. Сіконенко та ін.) [7-14]. Однак дослідженню питань інтероперабельності у швидкісному русі на залізницях України з точки зору впровадження відповідних технічних специфікацій приділено недостатньо уваги. Так, у роботі [8] детально розглянуто напрямки підвищення ефективності функціонування та конкурентоспроможності швидкісного руху в Україні, проте недостатньо уваги приділено саме можливості впровадження євростандартів. У праці [9] підтверджена ефективність використання швидкісних поїздів на визначених напрямках, однак не достатньо висвітлені питання інтероперабельності, які пов'язані з експлуатацією швидкісних поїздів. У статті [10] визначено, що майбутній розвиток високошвидкісних мереж в Україні повинен базуватися на світових досягненнях і буде пов'язаний з міжнародними перевезеннями, однак особливості впровадження технічних специфікацій з інтероперабельності при цьому повною мірою не окреслені. В [11] обґрунтовано вибір оптимального обігу швидкісних поїздів за рахунок комплексу заходів, проте питання імплементації технічних специфікацій розглянуті недостатньо.

Із напрацювань іноземних учених привертає увагу робота [15], у якій описано розвиток високошвидкісних магістралей як інструменту економічної інтеграції досягнень економік Китаю та Європи, і робота [16], де показано, як впливає функціонування високошвидкісних магістралей на зміну європейського пасажиропотоку, але українську специфіку не враховано.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою роботи є визначення можливості та перспектив упровадження технічних специфікацій з інтероперабельності у швидкісному русі на залізницях України з урахуванням сучасного стану інтеграції залізничного транспорту. Задачами дослідження є встановлення рівня готовності залізниць України в технічному і законодавчому відношенні до євроінтеграції та визначення перепон, які ускладнюють розвиток залізниць України при розширенні співробітництва з Євросоюзом.

**Основна частина дослідження.** Фахівці залізничної галузі України з 2007 року працюють у загальній міжнародній групі Європейського агентства залізничного транспорту (ERA), яке було засноване з метою проведення аналізу можливої взаємодії систем колії 1520 та 1435 мм. Разом з Україною рухаються в цьому напрямку залізничні адміністрації та компанії Російської Федерації, Білорусі та інших країн СНД.

Питання інтероперабельності раніше довелося вирішувати країнам Балтії. У 2005 році міністерства транспорту Латвії, Литви та Естонії звернулися до Комітету Організації співдружності залізниць (ОСЗ) з проханням, разом з фахівцями ЄС, допомогти їм вирішити проблеми взаємодії і сумісності залізничних систем 1520 та 1435 мм, а також розробити «Технічні специфікації з інтероперабельності» (TCI - TSI) для колії 1520 мм.

Необхідність у цьому виникла у зв'язку зі вступом країн Балтії до ЄС. У цьому випадку залізничний транспорт опинявся відразу під двома комплексними нормативами: у зоні вимог Євросоюзу, для якого діють нормативи з колією 1435 мм, а раніше діяли норми для колії 1520 мм.

Метою ERA є затвердження Європейською комісією з транспорту технічних специфікацій, які дозволять країнам ЄС та СНД безперешкодний (у технічному плані) проїзд залізничного транспорту через кордон ЄС і вихід його на

мережу колії 1435 мм. Крім того, залізничники зможуть здійснювати спільне проектування, розроблення, тестування, введення в експлуатацію як окремих компонентів (колійне господарство, рухомий склад, енергозбереження), так і транспортної системи в цілому.

Співпраця в питаннях інтероперабельності з країнами ЄС має відповідний сенс для залізниць України. Досвід Балтійських країн показує, що суттєвою допомогою регіону стало фінансування, виділене з фондів ЄС на розвиток залізниць Балтії. Наприклад, у Латвії, завдяки цим ресурсам, вдалося реалізувати значущі проекти і почати роботу над новими – найближчим часом LDz (залізнична адміністрація Латвії) планує електрифікувати (за рахунок ЄС) магістральні лінії Латвійських залізниць у коридорі Схід-Захід.

Крім того, представниками Естонії, Латвії та Литви підписано угоду про спільне підприємство з реалізації проекту будівництва залізниці Rail Baltica, яка буде прокладена з Фінляндії через Естонію, Латвію і Литву до Польщі й Німеччини. В основному проект має фінансуватися за рахунок Євросоюзу.

Однак не варто скидати з рахунків і прояв негативних наслідків євроінтеграції для залізниць України, зокрема для її транзитного потенціалу.

По-перше, в Євросоюзі, де превалюють пасажирські перевезення та колія шириною 1435 мм, діє інше законодавче регулювання залізничного транспорту, інше юридичне поле. Тому правові нормативи ЄС можуть і не збігатися з нормативами, чинними в Україні, а організація роботи відрізняться від прийнятої в ПАТ «Укрзалізниця».

По-друге, за обсягом вантажоперевезень ПАТ «Укрзалізниця» не буде рівних у Європі. Якщо в Європі перевозиться всього близько 16 тис. т на 1 км колії, то по залізницях України – кілька сотень тисяч тонн на кілометр.

Важливим є й питання наскільки українські залізниці в технічному і законодавчому відношенні готові до євроінтеграції. Безсумнівно, ПАТ «Укрзалізниця» за специфікою своєї діяльності повинна бути готова до будь-яких транснаціональних співтовариств, і вже нині є важливою ланкою в транспортній системі Європи та Азії. Починаючи з 1991 року Укрзалізниця бере участь у всіх міжнародних транспортних організаціях, послідовно прибираючи існуючі перешкоди зі шляху переміщення вантажів і пасажирів.

Приєднання України до міжнародних конвенцій у галузі залізничного транспорту створює передумови для спрощення контролю вантажів на кордонах, що у свою чергу дає змогу прискорити доставку і в цілому вийти на більш якісний рівень спільної роботи, у тому числі із залізницями країн Європи та Азії.

Таким чином, останні два десятиріччя Укрзалізниця займалася узгодженням технічних регламентів, показників якості та умов вантажоперевезень з країнами ЄС. Для цього вживалися всі необхідні заходи законодавчого, технічного та інформаційного характеру. Тому Укрзалізниця значно краще за інших українських підприємств готова до розширення співпраці з країнами ЄС.

У пострадянських державах перевезення регламентуються Угодою про міжнародне залізничне вантажне сполучення (СМГС). У той же час у Європі діють Єдині правила, закріплені Угодою про міжнародні залізничні вантажоперевезення – ЦІМ. Ще у 2003 році Укрзалізниця першою запропонувала розробити єдину вантажну накладну для двох цих систем. У результаті з'явилася накладна, що є синтезом накладних ЦІМ і СМГС.

Перший вантажний состав за уніфікованою вантажною накладною СІМ/СМГС вирушив до Німеччини у 2006 році. На цей час більше 100 тис. відправок виконано із застосуванням СІМ/СМГС в обох напрямках. Час

підтвердив, що за узгодженням двох транспортних правових систем і застосуванням уніфікованої накладної – спільне майбутнє залізниць Європи та Азії. Адже, крім економії часу і грошей, при переході на єдину накладну виключаються помилки при переоформленні документів і значно знижуються витрати на перевезення. У цей час таку накладну використовують залізничні адміністрації кількох десятків країн.

До того ж, в Україні значний парк вантажного рухомого складу. У країнах ЄС частка перевезень залізничним транспортом становить близько 10 %, у Польщі такі перевезення становлять близько 30 %, а в Україні майже 60 % усіх вантажів перевозиться залізницею. Звичайно, в цей час (тобто на середину 2017 року) ситуація змінилася на гірше, але міжнародні транспортні коридори все одно діють. У 2017 році з'явилася тенденція до зростання транзитних перевезень через територію України, отже, ПАТ «Укрзалізниця» може стати основним транспортним партнером Європи.

В Україні та Європі різна ширина колії, отже, на західному кордоні України вантажі будуть перевантажуватися в європейський рухомий склад, який іде в західному напрямку, що теж приносить певні кошти.

Україна не перша, кому доводиться вирішувати проблему сумісності двох технічних регламентів. У країнах ЄС, крім країн Балтії, також є анклав з колією 1520 мм. Звичайно, країни ЄС з дільницями колії 1520 і 1524 мм, які межують із СНД, – з переходами 1520 на 1435 мм – уже працюють за напрацьованими технічними специфікаціями з інтеперабельності.

Ширина колії у Фінляндії складає 1524 мм і тут можна використовувати той же рухомий склад, що і на колії 1520 мм. На залізницях Фінляндії є великий досвід роботи в нормативному полі країн-членів ЄС і власному – для колії 1524 мм.

У багатьох питаннях підхід до системи 1520 мм у країнах, де експлуатують цю систему, схожий на підхід у країнах ЄС. Хоча повна гармонізація технічних вимог ще не досягнута. У багатьох випадках вимоги ЄС ураховуються в процесі виробництва продукції, застосовуючи більш високі з існуючих вимог. Ураховуються також і принципи національних вимог до продукції ЄС, тобто оцінюється відповідність, гармонізація з міжнародними та міждержавними нормами. Це взаємний процес.

Крім завдань, які не залежать від залізничників, слід розглянути і моменти, які показують, що ще може перешкодити розвитку транспортного потенціалу України при розширенні співпраці з ЄС. Серед питань, які треба вирішити, крім інтеперабельності транспортних систем ПАТ «Укрзалізниця» і Європи, слід виділити технічне переоснащення існуючих залізничних пунктів пропуску (пунктів контролю) на кордонах з країнами ЄС, перехід на нові умови роботи відповідно до норм європейських стандартів, розроблення та узгодження типових вимог до прикордонних залізничних пунктів пропуску.

Потрібно починати з облаштування пунктів пропуску з метою доведення їх інфраструктури до євростандартів за нормами і, бажано, за рахунок ЄС.

У межах України проходить чотири міжнародних коридори (МТК № 3, МТК № 5, МТК № 9 і умовний МТК № 10), чотири коридори Організації співробітництва залізниць (МТК ОСЗ № 3, МТК ОСЗ № 5, МТК ОСЗ № 8, МТК ОСЗ «Москва - Сімферополь»), один міжнародний водний коридор (МТК № 7) і змішаний (мультимодальний) коридор ТРАСЕКА. Загальна довжина мережі МТК на території України становить 6380 км. Обсяги вантажів, перевезених транзитом по МТК, поступово зменшувалися.

В Україні формалізований процес розвитку інтеперабельності мережі МТК на стратегічному рівні планування як



оптимізаційна динамічна модель, що включає інтегральний показник оцінки витрат (капітальні, експлуатаційні витрати з омертвленого вантажу в межах МТК) і систему обмежень, які відображають умови збереження та освоєння заданих вантажопотоків, і дають змогу визначити послідовність упровадження мережі заходів у просторі та часі з урахуванням їх життєвих циклів для всієї мережі МТК [5].

В Україні вже сформована дворівнева структура інформаційно-керуючої системи для управління функціонуванням МТК на стратегічному й тактичному рівнях, в основу якої покладено вимоги інтероперабельності при взаємодії різних рівнів управління поїздопотоками країн-учасниць перевізного процесу. Запропонована структура на відміну від існуючої є ефективним інструментом управління вантажо- і поїздопотоками у міжнародних транспортних коридорах, зосереджена на рівні Департаменту управління рухом, де вирішуються завдання поточного диспетчерського супроводу, і є інтегральні інформаційні зв'язки із суміжними адміністраціями залізничного транспорту. Моделі оперативного управління поїздопотоками міжнародних транспортних коридорів з точки зору інформаційного оформлення передбачають сумісність протоколів з Технічними специфікаціями прикладних програмних забезпечень для вантажних перевезень – TAF TSI.

Слід зазначити, що існує значна кількість директив ЄС у галузі залізничного транспорту, яким ПАТ «Укрзалізниця» повинна «відповідати», щоб працювати в європейській транспортній системі в новій якості.

Основних директив ЄС, які ПАТ «Укрзалізниця» повинна імплементувати, всього вісім. В основному це договори, пов'язані з перевезенням пасажирів, зі швидкостями та безпекою.

У теперішній час є TSI, які вказані на рисунку, але в процесі ревізії відбувається злиття TSI для високошвидкісних та звичайних залізниць, а також включення положень окремих горизонтальних TSI в TSI за підсистемами (рухомий склад високошвидкісних залізниць, локомотиви і пасажирські вагони, вантажні вагони, інфраструктура, системи сигналізації та управління, тягове електропостачання, експлуатація (рух поїздів), вимоги безпеки в тунелях, вимоги відносно осіб з обмеженою рухливістю, вимоги з шуму, телематика в пасажирських перевезеннях).

На реалізацію вимог ЄС ПАТ «Укрзалізниця» надається досить тривалий час (з розуміння міжнародних транспортних організацій Європи) – від 4 до 8 років. Причому з пасажирських перевезень ПАТ «Укрзалізниця» буде надано відстрочку – європейські партнери розуміють, що неможливо відразу змінити весь пасажирський рухомий склад. Однак новий склад буде закуповуватися з урахуванням вимог ЄС з шуму, електромагнітного випромінювання, за достатньої кількості місць для інвалідів, а також обладнання для посадки і висадки людей з обмеженими фізичними можливостями. Весь рухомий склад, який ПАТ «Укрзалізниця» закуповує (або буде закуповувати), повинен відповідати вимогам ЄС, і ПАТ «Укрзалізниця» повинна повністю дотримуватися цієї вимоги. Для ПАТ «Укрзалізниця» і України в цілому було б дуже бажаним організувати таке виробництво в Україні, однак слід розуміти, що в цьому питанні на перший план виходить готовність вагонобудівної промисловості України адаптуватися під вимоги директив ЄС, проведення відповідної сертифікації продукції міжнародним стандартам, що потребують відповідних часових і фінансових витрат. При вирішенні цього питання ПАТ «Укрзалізниця» має право розраховувати на державну підтримку.

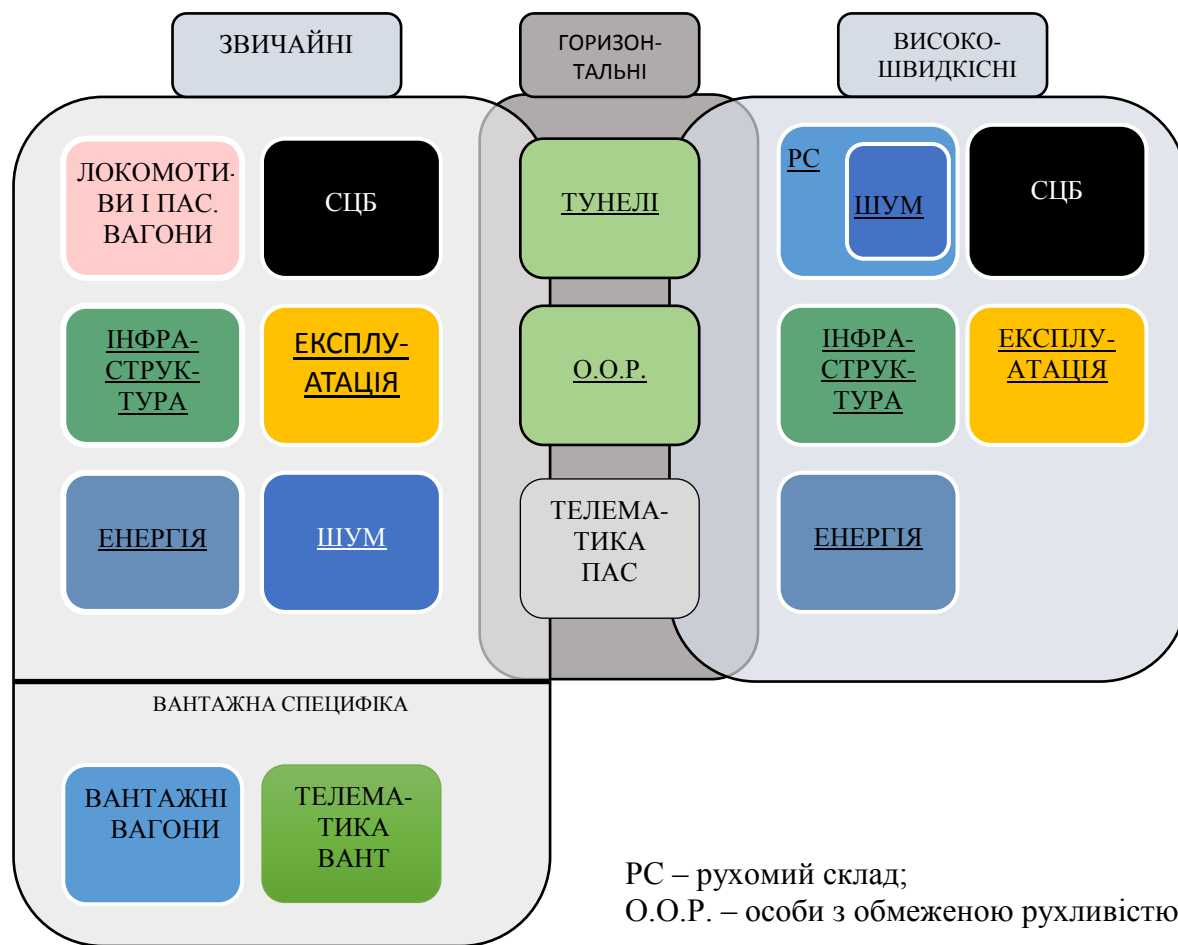


Рис. Структура TSI

Робота представників ПАТ «Укрзалізниця» в Контактній групі проводиться на підставі Меморандуму про взаєморозуміння між ОСЗ та ERA, термін дії якого продовжується щороку.

У цей час (на середину 2017 року) опрацьовано такі позиції: «Інфраструктура. Колія та колійне господарство», «Рухомий склад. Локомотиви і моторвагонний рухомий склад», «Енергопостачання», «Вантажні вагони», «Особи з обмеженими можливостями», «Організація руху поїздів», а також розробляються заходи із збереження та поліпшення діючої технічної та експлуатаційної сумісності на переході ЄС-СНД.

Таким чином, кінцевим продуктом стане прийняття технічних специфікацій для локомотивів, вантажних та пасажирських вагонів, електрифікації, систем зв'язку, сумісності колій на кордоні.

Орієнтовна вартість кожної з цих специфікацій становить до EUR 100 тис. Для України ці специфікації надаються безкоштовно через участь ПАТ «Укрзалізниця» в роботі Контактної групи.

**Висновки.** Доведено, що співпраця в питаннях інтероперабельності з країнами ЄС має відповідний сенс для залізниць України (ураховуючи фінансування з фондів ЄС), однак не варто скидати з рахунків і прояв негативних наслідків євроінтеграції для ПАТ «Укрзалізниця», зокрема для її транзитного потенціалу.

ПАТ «Укрзалізниця» в технічному і законодавчому відношенні готова до євроінтеграції, але необхідно враховувати досвід країн з колією 1520 мм, у питаннях інтероперабельності, особливо у сфері швидкісного пасажирського руху.

На реалізацію вимог ЄС ПАТ «Укрзалізниця» надається досить тривалий

час (від 4 до 8 років). При цьому необхідна інтенсифікація зусиль усіх причетних структур, що в перспективі дасть змогу залізничному транспорту України наблизитися до європейського рівня.

У подальшому доцільно зосередитися на дослідженні шляхів реалізації конкретних TSI у швидкісному русі залізниць України з урахуванням пріоритетності завдань.

### Список використаних джерел

1. Стратегією розвитку Укрзалізниці передбачено 130-150 млрд грн інвестицій у галузь до 2021 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.uz.gov.ua/press\\_center/up\\_to\\_date\\_topic/page-60/450386/](http://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/page-60/450386/).
2. Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-п>.
3. Підтримка інтеграції України до Транс'європейської транспортної мережі ТЄМ-Т: РК.2 Швидкісний залізничний транспорт. Заключний звіт 2.1, 2010 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ten-t.org.ua/ua/>.
4. Босов, А. А. Формирование вариантов рациональной сети линий высокоскоростного движения поездов в Украине [Текст] / А. А. Босов, Г. Н. Кирпа. – Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна, 2004. – 144 с.
5. Козак, В. В. Розробка моделі розвитку інтеперабельності міжнародних залізничних транспортних коридорів на стратегічному рівні планування перевезень [Текст] / В. В. Козак, Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – № 3. – С. 36-41.
6. Yixiang Yue, Shifeng Wang, Leishan Zhou, Lu Tong, M. Rapik Saat, Optimizing train stopping patterns and schedules for high-speed passenger rail corridors, Transportation Research Part C: Emerging Technologies [Text] Volume 63, February 2016. – P.126-146. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2015.12.007>.
7. Формування моделі розвитку залізничної системи швидкісних перевезень на основі принципів самоорганізації [Текст] / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко, Л. О. Пархоменко [та ін.] // Вісник Національного технічного університету "ХПІ": зб. наук. праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2011. – № 54. – С. 67-70.
8. Запара, Я. В. Дослідження та аналіз причин недостатнього розвитку швидкісного залізничного руху в Україні [Текст] / Я. В. Запара, О. В. Биков // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 58-62.
9. Аналіз перспектив впровадження високошвидкісного руху в Україні [Текст] / О. В. Лаврухін, О. О. Шапатіна, С. В. Газаєв [та ін.] // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 163. – С. 4-10.
10. Сучасний світовий досвід розвитку високошвидкісного руху пасажирських поїздів та дослідження перспектив його розвитку в Україні [Текст] / О. В. Лаврухін, Д. І. Мкртичян, О. М. Костенніков, А. Д. Іващенко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 48-52.
11. Запара, Я. В. Оптимізація обігу швидкісних і високошвидкісних поїздів на залізницях України [Текст] / Я. В. Запара, А. В. Морозова // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 164. – С. 22-27.
12. Калашнікова, Т. Ю. Удосконалення інформаційно-керуючої системи залізниць в умовах інтеперабельності [Текст] / Т. Ю. Калашнікова, Є. М. Кушкін, Є. Д. Куценко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 146. – С. 61-65.
13. Сіконенко, Г. М. Удосконалення перевезення пасажирів при розвитку залізничного швидкісного руху [Текст] / Г. М. Сіконенко, О. В. Кішко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 140. – С. 55-59.

14. Розсоха, О. В. Моделювання пасажирських поїздопотоків високошвидкісних залізничних магістралей [Текст] / О. В. Розсоха, В. М. Солонець // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 5-13.

15. Cheng, Y. High-speed rail networks, economic integration and regional specialization in China and Europe [Text] / Yuk-shing Cheng, Becky P.Y. Loo, Roger Vickerman // Travel Behaviour and Society, Volume 2, Issue 1, January 2015. – P. 1-14.

16. Clewlow, R. The impact of high-speed rail and low-cost carriers on European air passenger traffic [Text] / Regina R. Clewlow, Joseph M. Sussman, Hamsa Balakrishnan // Transport Policy, Volume 33, May 2014. – P. 136-143.

---

Запара Віктор Мефодійович, канд. техн. наук, професор кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85.  
E-mail: v.zapara@gmail.com.

Оленюк Віта Олександрівна, магістрант ІІПК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: v.vika1875@gmail.com.

Тимошенко Ірина Олександрівна, магістрант ІІПК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: irina.timoshenko77@gmail.com.

Zapara Victor, Ph.D., professor of management of freight and commercial work, Faculty of Railway Operation and Management, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-85. E-mail: v.zapara@gmail.com.

Olenyuk Vita, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport.  
E-mail: v.vika1875@gmail.com.

Timoshenko Irina, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport.  
E-mail: irina.timoshenko77@gmail.com.

Стаття прийнята 03.10.2017 р.

УДК 629.4.06:621.822.6

## **ОСОБЛИВОСТІ ВИДІЛЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РЕДУКТОРА ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА**

**Канд. техн. наук В. Г. Равлюк, магістранти М. А. Ткаченко, А. С. Уманець, Р. О. Соколова, І. В. Калініна**

## **ОСОБЕННОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕДУКТОРА ПАСАЖИРСКОГО ВАГОНА**

**Канд. техн. наук В. Г. Равлюк, магистранты М. А. Ткаченко, А. С. Уманец, Р. О. Соколова, И. В. Калинина**

## **FEATURES OF DIAGNOSTIC CHARACTER APPEARANCE REGARDING THE TECHNICAL CONDITIONS OF REDUCTION GEAR FOR PASSENGER CAR**

**Candidate of techn. sciences V. Ravlyuk, master student M. Tkachenko, A. Umanets, R. Sokolova I. Kalinina**

*Для визначення технічного стану редукторів пасажирських вагонів запропоновано математичну модель вібрації, що дає змогу виявляти на ранніх стадіях зародження дефектів. Застосовуючи математичну модель для контролю редукторів пасажирських вагонів, можна удосконалювати найбільш раціональні методи діагностування будь-якого редуктора в цілому або окремих його функціональних вузлів і блоків.*

*Експериментальні дослідження вібрації редуктора пасажирського вагона, що виконані на діагностичному стенді, та застосування запропонованої математичної моделі дали можливість за допомогою сучасного методу аналізу сигналів виділити діагностичні ознаки пошкодження, яке перебуває на ранній стадії розвитку і яке неможливо було б виявити стандартними спектральними методами у широкому частотному діапазоні.*

**Ключові слова:** пасажирський вагон, вібрація, діагностування, дефект, зубчаста пара, метод, редукторно-карданний привод, спектр, редуктор.

*Для определения технического состояния редукторов пассажирских вагонов предложена математическая модель вибрации, что позволяет выявлять на ранних стадиях зарождение дефектов. Применяя математическую модель для контроля редукторов пассажирских вагонов, можно совершенствовать наиболее рациональные методы диагностики любого редуктора в целом или отдельных его функциональных узлов и блоков.*

*Экспериментальные исследования вибрации редуктора пассажирского вагона, которые выполнены на диагностическом стенде, и применение предложенной математической модели позволили с помощью современного метода анализа сигналов выделить диагностические признаки повреждения, которые находятся на ранней стадии развития и которые невозможно было выявить стандартными спектральными методами в широком частотном диапазоне.*

**Ключевые слова:** пассажирский вагон, вибрация, диагностика, дефект, зубчатая пара, метод, редукторно-карданний привод, спектр, редуктор.

*The article to determine the technical condition of reduction gear passenger wagons the mathematical model of vibration that allows to detect the early stages of the birth defects. Using a mathematical model for the control reduction gear carriages can improve the most rational methods of diagnosing any gear as a whole or its individual functional units and blocks.*

*Experimental studies vibration reduction gear passenger wagons that carried on diagnostic stand and use the proposed mathematical model made it possible for a modern method of signal analysis highlight the diagnostic signs of damage, which is in the early stages of development and that can not be detected by standard spectral methods in a wide frequency range.*

*The mathematical model and using modern methods of signal analysis enabled to improve the manufacturing process diagnostics, increase reliability and quality of maintenance and repair of passenger wagons, and significantly reduce operating costs.*

**Keywords:** passenger wagons, vibration, diagnostics, defect, gear pair, method, cardan gear drives, range, reduction gear.

**Вступ.** Визначення технічного стану редукторів пасажирських вагонів типу ТРКП безрозбірними методами є природнім шляхом підвищення якості технічного обслуговування, ремонту й зниження експлуатаційних витрат. Головним завданням зазначеного заходу можна вважати перехід на обслуговування й ремонт рухомого складу за фактичним технічним станом шляхом удосконалення існуючої технології діагностування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема локального виявлення несправностей у редукторах широко вивчена в літературі. Було запропоновано безліч методів, а саме: кепстральний аналіз [2, 3], адаптивна й зворотна фільтрація [4, 5, 8, 9, 21], використання моделі [6, 7], зворотна фільтрація [8, 9] частотно-часовий аналіз [10-14, 20].

Запропоновані методи досі використовуються в основному для виявлення відносно розвинутих

несправностей у зубчастих колесах, а саме: тріщин, вищербин тощо. Значно менша кількість робіт присвячена виявленню локальних дефектів на дуже ранній стадії пошкодження, наприклад, менше ніж 10 або 5 % поверхні зуба.

Більшість популярних методів виявлення несправностей оснований на аналізі так званого залишкового сигналу, який отримується класичними методами після видалення компоненти гармонік зубозачеплення завдяки процедурі синхронного усереднення у часі [18, 19]. Спроба виявлення пошкодження на ранній стадії стикається з необхідністю усунення численних компонентів завод у залишковому сигналі, які маскують корисні складові. Завадами можуть виступати випадкові складові, які з'являються внаслідок нерівних профілів зубів, повільної модуляції частоти зубозачеплення, яка пов'язана з незбалансованим валом, залишковим шумом, який може залишатися після використання процедури синхронного усереднення тощо.

**Мета статті** – визначення пошкодження редукторів пасажирських вагонів типу ТРКП на ранніх стадіях завдяки процедурі амплітудної демодуляції компонентів сигналів, які виділені 1/3 октавним фільтром.

**Основна частина дослідження.** Розглянемо пару шестерень, які обертаються з постійною швидкістю і постійним навантаженням, і які мають різну кількість зубів. Припустимо спочатку, що у зубів кожної передачі немає пошкоджень і ексцентричності [23]. Тому

$$y(t) = \sum_{m=0}^M X_m (1 + a_m) \cos(2\pi m f_X t + X_m + b_m(t)). \quad (4)$$

Заслугове на увагу простий випадок, де амплітудна й фазова модуляції є малими. Якщо  $|b_m(t)| \ll 1$ , тоді малий кут наближення  $\cos(b_m(t)) \simeq 1$  і

вібрація редуктора може бути подана  $x(t)$  у вигляді кінцевого ряду Фур'є з основною частотою, що дорівнює частоті зубозачеплення  $f_X$ , яка залежить від кількості зубів  $Z$  шестірні й зубчастого колеса та частоти обертання  $f_R$

$$x(t) = \sum_{m=0}^M X_m \cos(2\pi m f_X t + X_m). \quad (1)$$

Тепер розглянемо випадок, у якому шестірня редуктора має зуби з неоднорідним профілем, що провокує амплітудну й фазову модуляцію вібрації редуктора. Оскільки стан зубчастого колеса лишається незмінним, уся модуляція буде періодичною. Амплітудна й фазова модуляція  $a_m(t)$  і  $b_m(t)$  може бути подана у вигляді кінцевого ряду Фур'є. Ці функції модуляції можуть змінюватися від однієї гармоніки зубозачеплення до іншої, таким чином, нижній індекс  $m$  має бути включений до рівнянь

$$u_m(t) = \sum_{n=0}^N A_{mn} \cos(2\pi n f_R t + \alpha_{mn}). \quad (2)$$

$$b_m(t) = \sum_{n=0}^N B_{mn} \cos(2\pi n f_R t + \beta_{mn}). \quad (3)$$

Модульовані вібрації зубчастого зачеплення  $y(t)$  визначаються за формулою

$\sin(b_m(t)) \simeq b_m(t)$  може застосовуватися, якщо  $|a_m(t)b_m(t)| \ll 1$ , рівняння (4) може бути розширене й спрощене [2]:

$$y(t) \approx \sum_{m=0}^M X_m \left[ \cos(2\pi m f_X t + X_m) + a_m(t) \cos(2\pi m f_X t + X_m) - b_m(t) \sin(2\pi m f_X t + X_m) \right]. \quad (5)$$

Підставляючи рівняння (2) і (3) в рівняння (5), отримаємо

$$y(t) \approx \sum_{m=0}^M X_m \left[ \cos(2\pi m f_X t + X_m) + \sum_{n=0}^N \frac{1}{2} A_{mn} \cos(2\pi(m f_X - n f_R)t + X_m - \alpha_{mn}) + \cos(2\pi(m f_X + n f_R)t + X_m + \alpha_{mn}) - \sum_{n=0}^N \frac{1}{2} B_{mn} \sin(2\pi(m f_X - n f_R)t + X_m - \beta_{mn}) + \sin(2\pi(m f_X + n f_R)t + X_m + \beta_{mn}) \right]. \quad (6)$$

Таким чином, модульований сигнал міститиме початковий немодульований сигнал, а також додаткові компоненти, на гармоніках зубозачеплення, що обумовлено модуляцією, разом з  $N$  парами модуляційних бічних смуг при кожній гармоніці зубозачеплення, причому бічні смуги розміщуватимуться на кратних частотах обертання вала  $f_R$  шестірні.

Часове усереднення обчислюється згортанням вихідного сигналу у часовій області з послідовністю ідеальних імпульсів і еквівалентно множенню в частотній області перетворення Фур'є початкового сигналу за допомогою гребінчастого фільтра [25]. Якщо здійснюється значне усереднення, гребінчастий фільтр може бути апроксимований послідовністю ідеальних імпульсів, розташованих на кратних частотах обертання, так що перетворення Фур'є вихідного сигналу за допомогою цього гребінчастого фільтра залишає тільки компоненти, які кратні частоті обертання. Для аналізу вібрації зубчастої передачі

частота обертання шестірні обирається як необхідна частота обертання *frequency*  $f_R$ , у цьому випадку часове усереднення  $g(t)$  міститиме тільки компоненти, які кратні частоті обертання шестірні, а саме всі гармоніки зубозачеплення, а також усі бокові смуги модуляції з першої шестірні. Для редуктора, що розглядався, рівняння (6) демонструє, що не існує жодних інших наявних компонентів, тому  $g(t) = y(t)$ .

Якщо кількість пар модуляційних бічних смуг  $N$  така, що  $N < Z$ , тоді пропускна спроможність  $Nf_R$  займає бокові смуги по обидва боки від однієї частоти зубозачеплення і не простягатиметься до прилеглих частот зубозачеплення. Тому компоненти  $y(r)$ , як показано в рівнянні (6), здійснюють внесок до  $g(t)$  при будь-якій частоті зубозачеплення  $m$ , що має частоту  $f = mf_X$

$$\begin{aligned}
 g_m(t) &= X_m \cos(2\pi m f_X t + X_m) \\
 &+ \frac{1}{2} A_{m0} X_m [\cos(2\pi m f_X t + X_m - \alpha_{m0}) + \cos(2\pi m f_X t + X_m + \alpha_{m0})] \\
 &- \frac{1}{2} B_{m0} X_m [\sin(2\pi m f_X t + X_m - \beta_{m0}) + \sin(2\pi m f_X t + X_m + \beta_{m0})].
 \end{aligned} \tag{7}$$

Проте, якщо кількість пар модуляції бічних смуг  $N$  є такою, що  $N > Z$ , тоді смуга частот, яку займають бічні смуги, буде перекривати сусідні гармоніки зубозачеплення. Таким чином, гармоніка на  $f = m f_X$  буде збігатися з верхньою бічною смугою наступної нижньої гармоніки

при  $f = (m - 1) f_X + Z f_R = m f_X$  і з нижньою бічною смугою наступної вищої гармоніки при  $f = (m + 1) f_X - Z f_R = m f_X$  з результатом, який надасть векторна сума компонентів, які збіглися. Тому компоненти  $g(f)$  при  $f = m f_X$  будуть:

$$\begin{aligned}
 g_m(t) &= X_m \cos(2\pi m f_X t + X_m) \\
 &+ \frac{1}{2} A_{m0} X_m [\cos(2\pi m f_X t + X_m - \alpha_{m0}) + \cos(2\pi m f_X t + X_m + \alpha_{m0})] \\
 &- \frac{1}{2} B_{m0} X_m [\sin(2\pi m f_X t + X_m - \beta_{m0}) + \sin(2\pi m f_X t + X_m + \beta_{m0})] \\
 &+ \frac{1}{2} A_{m-1Z} X_{m-1} \cos(2\pi m f_X t + X_{m-1} + \alpha_{m-1Z}) \\
 &- \frac{1}{2} B_{m-1Z} X_{m-1} \sin(2\pi m f_X t + X_{m-1} + \beta_{m-1Z}) \\
 &+ \frac{1}{2} A_{m+1Z} X_{m+1} \cos(2\pi m f_X t + X_{m+1} - \alpha_{m+1Z}) \\
 &- \frac{1}{2} B_{m+1Z} X_{m+1} \sin(2\pi m f_X t + X_{m+1} - \beta_{m+1Z}).
 \end{aligned} \tag{8}$$



Тепер слід застосувати процедуру синхронізації отриманого усереднення у часовому вимірі з основною частотою зубозачеплення  $f_X$ . Проведена значна кількість усереднень, яка є еквівалентом множення в перетворенні Фур'є початкового сигналу з гребінчастим фільтром, що містить імпульси, розташовані на кратних значеннях  $f_X$ , що сприяє пропусканню компонент  $g(t)$  на цих частотах, у тому числі всі гармоніки зубозачеплення плюс будь-які бічні смуги, які збігаються з ними [23 – 25]. Отже, синхронізація з частотою обертання шестірні дає змогу здійснювати усереднення у часовій області  $g(t)$  для вібрації цілого редуктора. Процес синхронізації з основною частотою зубозачеплення провокує усереднення у часовій формі та позначається  $h(t)$ :

$$h(t) = \sum_{m=0}^M g_m(t). \quad (9)$$

Для визначення поставленої мети статті слід залучати процедуру виділення обвідної завдяки використанню перетворення Гілберта (НТ), яке є одним з інтегральних перетворень (наприклад, Лапласа і Фур'є), яке подається окремим випадком інтегральних рівнянь у галузі математичної фізики [24]. НТ функції  $x(t)$  визначається інтегральним перетворенням

$$H[x(t)] = \tilde{x}(t) = \pi^{-1} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x(\tau)}{t - \tau} d\tau \frac{1}{2}. \quad (10)$$

Через можливу сингулярність при  $t = \tau$  інтеграл слід розглядати як головне значення за Коші. НТ дійсної функції  $x(t)$ , що простягається від  $-\infty$  до  $+\infty$ , є дійсною функцією  $\tilde{x}(t)$  і визначається за формулою (10).

Фізичне значення НТ допомагає отримати більш глибокий доступ до цієї процедури. Фізично НТ є еквівалентом особливого виду лінійного фільтра, де всі амплітуди спектральних компонент залишаються незмінними, але їх фази зазнають зсуву на  $-(\pi/2)$ . Таким чином, подання НТ  $\tilde{x}(t)$  вихідної функції є згортанням інтеграла  $x(t)$  з  $(\pi t)^{-1}$ , записаного як  $\tilde{x}(t)x(t) \cdot (\pi t)^{-1}$ .

Таким чином, процедура НТ сигналу у часовій області  $x(t)$  призводить до отримання іншої часової області сигналу  $\tilde{x}(t)$  і якщо  $x(t)$  є дійсним, тоді і сигнал  $\tilde{x}(t)$  є дійсним також.

Процес технології вібродіагностування містить у собі декілька операцій [25].

Перша операція — це встановлення редуктора пасажирського вагона типу ТРКП на стенд для діагностування, зачистки та знежирення місць на редукторі для встановлення датчиків.

Друга операція передбачає встановлення датчиків на корпус редуктора та під'єднання проводів до діагностичного обладнання (рис. 1).

Третя операція передбачає увімкнення стенда та здійснення реєстрації сигналу датчиками віброприскорень, які встановлені на корпусі редуктора пасажирського вагона.

Четверта операція передбачає цифрову обробку зареєстрованого сигналу в програмному середовищі «MATLAB» з подальшим висновком про технічний стан редуктора пасажирського вагона типу ТРКП.

Під час проведення експерименту вимірювання здійснювалися при частоті обертання ведучого вала редуктора 204 об/хв або 3,4 Гц, частота зубозачеплення становила 71,4 Гц, тривалість реалізації сягала 524288 відліків при частоті дискретизації  $f_s = 40000$  Гц, що дорівнює 12 с (рис. 2).

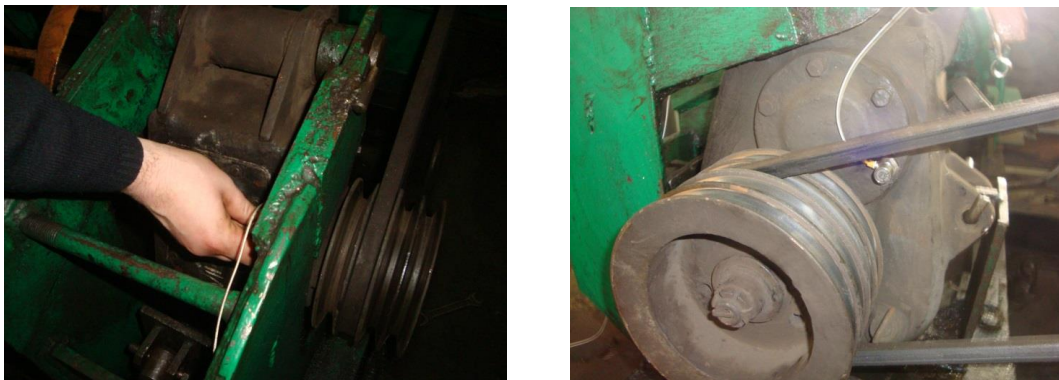


Рис. 1. Місця встановлення датчиків на редукторі пасажирського вагона типу ТРКП

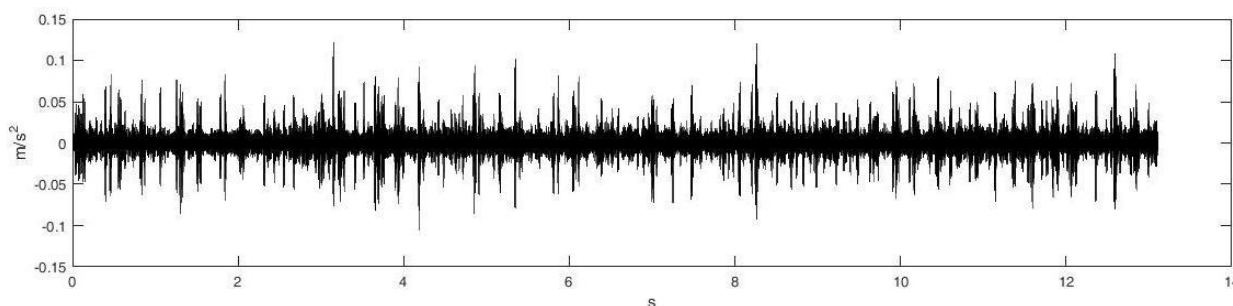


Рис. 2. Часова форма сигналу редуктора привода підвагонного генератора типу ТРКП при викришуванні зуба

За результатами вимірювань отримали спектр у широкому частотному діапазоні (рис. 3), де чітко видно зростання резонансної складової у частотному діапазоні 1500-2000 Гц. Такий характер резонансу не дає змоги чітко визначити пошкодження або спростувати його наявність, тому в подальшому вдавалися до складнішої процедури НТ. Спектр обвідної

вібрації наведений на рис. 4, на якому чітко видно складову частоти зубозачеплення та її першу гармоніку, а також незначні бічні смуги в околиці згаданих гармонік, що може свідчити про наявність пошкодження, що зароджується. Після розбирання редуктора привода підвагонного генератора типу ТРКП було виявлено викришування зуба.

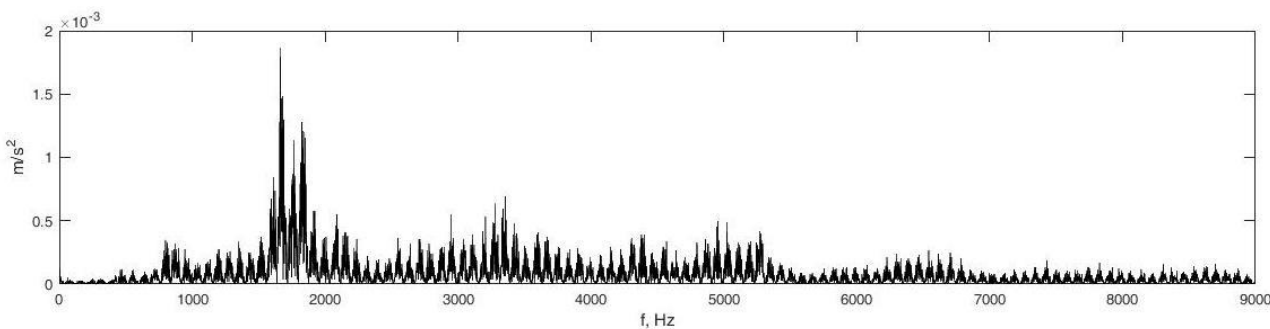


Рис. 3. Спектр у широкому частотному діапазоні редуктора привода підвагонного генератора типу ТРКП при викришуванні зуба

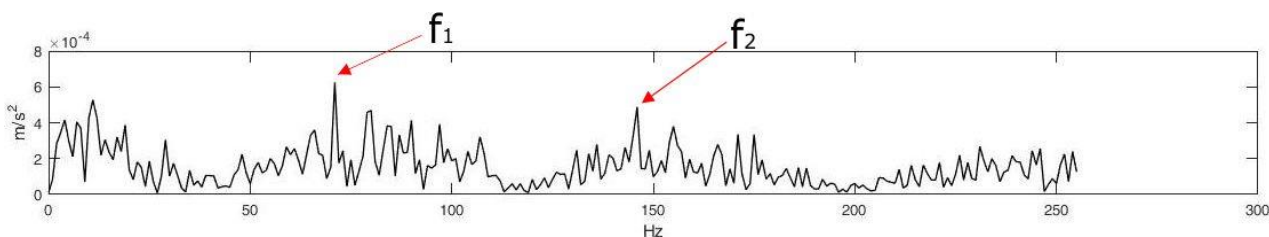


Рис. 4. Спектр обвідної вібрації редуктора привода підвагонного генератора типу ТРКП при викишуванні зуба

**Висновки.** У статті проведено експериментальні дослідження вібрації і підтверджено математичну модель вібрації редуктора пасажирського вагона типу ТРКП, що дало змогу за допомогою сучасного

методу аналізу сигналів виділити діагностичні ознаки пошкодження, яке перебуває на ранній стадії і яке неможливо було виявити стандартними спектральними методами у широкому частотному діапазоні.

### Список використаних джерел

1. McFadden, P. D. Detecting fatigue cracks in gears by amplitude and phase demodulation of the meshing vibration, Journal of Vibration Design [Text] / P. D. McFadden., Acoustics, Stress, and Reliability in 108 (1986). – P. 165-170.
2. Rondel, R. B. A new method of modelling gear faults [Text] / R. B. Rondel. Journal of Mechanical Design 104 (1982). – P. 259-267.
3. Badaoui, M. El. Modeling and detection of localized tooth defects in geared systems [Text] / M. El. Badaoui, V. Cahouet, F. Guillet, J. Daniere, P. Velex. Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME [Text] / 123 (2001). – P. 422-430.
4. D. Brie, V. Tomczak, H. Oehmann, A. Richard, Gear crack detection by adaptive amplitude and phase modulation [Text] / Mechanical Systems and Signal Processing 11(1) (1997). – P. 149-167.
5. Lee, S. K. The enhancement of impulsive noise and vibration signals for fault detection in rotating and reciprocating machinery [Text] / S. K. Lee, P. R. White. Journal of Sound and Vibration 217 (3) (1998). – P. 485-505.
6. Wang, W. Autoregressive model-based gear fault diagnosis [Text] / W. Wang, A. K. Wong, Transactions of the ASME, Journal of Vibration and Acoustics 124 (2002). – P. 172-179.
7. Vartin, N. Close shock detection using time-frequency Prony modeling [Text] / N. Vartin, P. Jaussaud, F. Combet. Mechanical Systems and Signal Processing 18 (2004). – P. 235-261.
8. Lee, J. Y. Extraction of impacting signals using blind deconvolution [Text] / J. Y. Lee, A. K. Nandi. Journal of Sound and Vibration 232 (5) (2000). – P. 945-962.
9. Endo, H. Enhancement of autoregressive model based gear tooth fault detection technique by the use of minimum entropy deconvolution filter [Text] / H. Endo, R. B. Rondel. Mechanical Systems and Signal Processing 21 (2007). – P. 906-919.
10. Wang, W. J. Early detection of gear failure by vibration analysis — I. Calculation of the time-frequency distribution [Text] / W. J. Wang, P. D. McFadden. Mechanical Systems and Signal Processing 7 (3) (1993). – P. 193-203.
11. Forrester, B. D. Advanced vibration analysis techniques for fault detection and diagnosis in geared transmission systems [Text] / B. D. Forrester. Ph.D. Dissertation, Swinburne University of Technology, Melbourne, Australia, 1996.
12. Choy, F. K. Analysis of the effects of surface pitting and wear on the vibration of a gear transmission system [Text] / F. K. Choy. Tribology International 29(1) (1996). – P. 77-83.

13. Staszewski, W. J. Time-frequency analysis in gearbox fault detection using the Wigner-Ville distribution and pattern recognition [Text] / W. J. Staszewski, K. Worden, G. R. Timlinson. *Mechanical Systems and Signal Processing* 11 (5) (1997). – P. 673-692.
14. Loutridis, S. J. Instantaneous energy density as a feature for gear fault detection [Text] / S. J. Loutridis. *Mechanical Systems and Signal Processing* 20 (2006). – P. 1239-1253.
15. Dalpiaz, G. Effectiveness and sensitivity of vibration processing techniques for local fault detection in gears [Text] / G. Dalpiaz, A. Rivola, R. Rubini. *Mechanical Systems and Signal Processing* 14 (3) (2000). – P. 387-412.
16. Wang, W. Q. Assessment of gear damage monitoring techniques using vibration measurements [Text] / W. Q. Wang, F. Ismail, M. F. Golnaraghi. *Mechanical Systems and Signal Processing* 15(5) (2001). – P.905-922.
17. Lin, J. Gearbox fault diagnosis using adaptive wavelet filter [Text] / J. Lin, V. J. Zuo. *Mechanical Systems and Signal Processing* 17 (6) (2003). –P. 1259-1269.
18. Stewart, R. M. Some useful data analysis techniques for gearbox diagnostics [Text] / R. M. Stewart. Institute of Sound and Vibration Research, Paper МНМ/R/10/77. – P. 1977.
19. McFadden, P. D. Examination of a technique for the early detection of failure in gears by signal processing of the time domain average of the meshing vibration [Text] / P. D. McFadden. *Mechanical Systems and Signal Processing* 1 (2) (1987). – P. 173-183.
20. Барков, А. В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации [Текст]: учебник / А. В. Барков, Н. А. Баркова. – СПб.: СПбГМТУ, 2004. – 156 с.
21. Баркова, Н. А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Расчет основных частот вибрации узлов машин, параметров измерительной аппаратуры и практическая экспертиза [Текст] / Н. А. Баркова, А. А. Борисов. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2009. – 111 с.
22. Combet, F. Optimal filtering of gearsignals for early damage detection based on the spectralkurtosis [Text] / F. Combet, L. Gelman. *Mechanical Systems and Signal Processing* 23 (2009). – P. 652-668.
23. McFadden, P. D. Examination of a technique for the early detection of failure in gears by signal processing of the time domain average of the meshing vibration [Text] / P. D. McFadden. *Mechanical Systems and Signal Processing* (1987) 1(2). – P. 173-183.
24. Feldman, M. Hilbert transform in vibration analysis [Text] / M. Feldman. *Mechanical Systems and Signal Processing* 25 (2011). – P. 735-802.
25. Равлюк, В. Г. Визначення технічного стану буксових підшипників рухомого складу шляхом вібродіагностування [Текст] / В. Г. Равлюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Вып. 2/7 (74). – С. 11-15.

---

Равлюк Василь Григорович канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: ravvg@ukr.net.

Ткаченко Марина Андріївна, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту.

Уманець Андрій Савелович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту.

Соколова Рімма Олегівна, магістрант Українського державного університету залізничного транспорту.

Калініна Інна Василівна, магістрант Українського державного університету залізничного транспорту.

Ravlyuk Vasyl G. candidate of technical sciences, docent of chair of cars of Ukrainian state University of railway transport. Tel.: (057) 730-10-35. E-mail: ravvg@ukr.net.

Tkachenko Marina, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian state University of railway transport.

Umanets Andriy, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian state University of railway transport.

Sokolova Rimma, master student of Ukrainian state University of railway transport.

Kalinina Inna, master student of Ukrainian state University of railway transport.

Стаття прийнята 04.10.2017 р.

УДК 656.212.5

**ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ БУДІВЕЛЬНИХ РОБІТ З РЕКОНСТРУКЦІЇ РОЗДІЛЬНИХ ПУНКТІВ ПРИ ВВЕДЕННІ ШВИДКІСНОГО РУХУ**

Кандидати техн. наук М. Ю. Куценко, Г. В. Шаповал, магістранти А. М. Івашкіна, Я. А. Шкарбуль, Є. М. Лисенко

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ РАЗДЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ ПРИ ВВЕДЕНИИ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ**

Кандидаты техн. наук М. Ю. Куценко, А. В. Шаповал, магистранты А. М. Ивашкина, Я. А. Шкарбуль, Е. Н. Лысенко

**DETERMINATION OF THE STRUCTURE OF CONSTRUCTION WORKS ON THE RECONSTRUCTION OF SEPARATE STATIONS WHEN INTRODUCING A HIGH SPEED MOVEMENT**

Ph. d. M. Kutsenko, A. Shapoval, master student A. Ivashkina, Y. Shkarbul, Ye. Lysenko

*Обсяги робіт, що виконуються по роздільних пунктах при підготовці їх до швидкісного руху, залежать від безлічі факторів, головними з яких є план головних колій на підходах і в межах роздільного пункту, кількість приймально-відправних колій, розташування пасажирських пристроїв та ін.*

*У статті визначена структура будівельних робіт при підготовці роздільного пункту з колійним розвитком до швидкісного руху пасажирських поїздів.*

**Ключові слова:** реконструкція, перебудова, колійний розвиток, проміжні роздільні пункти, швидкісний рух.

*Объемы работ, выполняемые по раздельным пунктам при подготовке их к скоростному движению, зависят от множества факторов, главными из которых являются план главных путей на подходах и в пределах раздельного пункта, количество приемо-отправочных путей, расположение пассажирских устройств и др.*

*В статье определена структура строительных работ при подготовке раздельного пункта с путевым развитием к скоростному движению пассажирских поездов.*

**Ключевые слова:** реконструкция, переустройство, путевое развитие, промежуточные раздельные пункты, скоростное движение.

*For a successful integration into the world community of transport Ukraine should be among the countries with the existing highways, which requires to continue relevant research, which started in the late 60-ies of the last century. Known theoretical developments now require adjustments to meet modern conditions due to changes in the rules for the design of railway stations, the ratio of the quantities of capital and operating costs. The scope of work being carried out at interstations when preparing for high-speed railway service depends on many factors. The main ones of these factors are a layout of backbones both at accessibilities and within the bounds of an interstation, a quantity of receiving-and-departure tracks, a disposition of the facilities for passenger service, and others. The structural arrangement of constructional activities as a part of an interstation with corresponding gridiron of tracks preparation for high-speed passenger service is defined in this article. Besides, the existence of tracks with a small radius of curvature poses a*

*major obstacle while preparing a chain path for high-speed service. The search procedure of the optimized radius of circular curve at a maximum speed is offered in this paper.*

**Keywords:** reconstruction, reorganization, station tracks, intermediate railway stations, high-speed traffic.

**Вступ.** Для виходу українських залізниць на світовий транспортний ринок необхідно розвивати швидкісний і високошвидкісний рух [1, 2]. З цією метою розробляються програми, які передбачають реконструкцію існуючих залізничних ліній для руху пасажирських поїздів зі швидкостями до 160 – 200 км/год. Намічено розглянути великий полігон залізниць, що є дуже трудомістким завданням. Тому потрібна спеціальна методика, яка б дозволяла на передпроектній стадії швидко і з мінімальними витратами часу і коштів визначити ефективність введення швидкісного руху, а також черговість підготовки ліній для швидкостей до 160-200 км/год. Відомо, що при організації руху пасажирських поїздів зі швидкістю до 200 км/год потрібна реконструкція залізничної лінії [3 – 7]; при цьому найбільшу складність являє перебудова роздільних пунктів з колійним розвитком. Особливо це відноситься до проміжних станцій і обгінних пунктів, які, як правило, не відповідають вимогам швидкісного руху і тому є ділянками обмеження швидкості. На них припадає чимала частина робіт з перевлаштування при підготовці лінії до швидкісного руху.

**Визначення мети та завдання дослідження.** У зв'язку з цим метою даної статті є визначення структури будівельних робіт з перебудови роздільних пунктів при введенні швидкісного руху. Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити задачу щодо класифікації будівельних робіт при підготовці роздільного пункту з колійним розвитком до введення швидкісного руху пасажирських поїздів.

**Основна частина дослідження.** Однією з найбільш складних проблем при реалізації програми підвищення

швидкостей руху поїздів є реконструкція існуючих роздільних пунктів з колійним розвитком – обгінних пунктів і проміжних станцій. Це пов'язане з тим, що за чинними нормативними документами [8] при підвищенні максимальної швидкості пропуску пасажирських поїздів через роздільний пункт, навіть зі швидкістю понад 141 – 160 км/год, потрібна заміна звичайних стрілочних переводів на головних коліях на переводи з безперервною поверхнею кочення. Ці переводи мають повну довжину, на 4,28 м більшу у порівнянні зі стрілочними переводами, що замінюються.

Крім цього, за тими ж нормами потрібна наявність прямої вставки між суміжними стрілочними переводами не менше 25 м. Це дозволяє забезпечити загасання надлишкових коливань в місцях зміни ширини колії і комфортабельність при проходженні станції. На існуючих лініях прямі вставки, як правило, не перевищують 12,5 м. Для дотримання тільки цих двох норм горловини станцій і обгінних пунктів підлягають повній реконструкції навіть в тому випадку, якщо роздільний пункт розташований на прямій і на найближчих підходах до нього відсутні криві, що вимагають збільшення радіусу.

Труднощі виконання цих двох норм посилюються ще і тим, що подовження горловин у бік перегону часто неможливе через профільні умови підходів, розташування відразу за горловиною мостів або кривих в плані головних колій. Подовження ж горловин у бік осі станцій призводить до скорочення корисних довжин існуючих приймально-відправних колій, які при цьому часто стають меншими за стандартну величину. Зменшення довжини вставки між суміжними стрілочними переводами до 12,5 м загрожує резонанс-

ним накладенням поперечних коливань небезпечних величин в місцях зміни стандартної ширини колії на першому і другому переводах. В цьому випадку єдиним виходом є зниження швидкості пропуску поїздів по такій горловині.

Іншим місцем обмеження швидкості на існуючих станціях є так звані *S*-подібні криві, влаштовані перед кожним роздільним пунктом двоколійної лінії для розширення міжколійя головних колій з 4,10 до 5,30 м. Ця проблема не може бути вирішена шляхом збільшення радіусу кругових кривих через невелику величину паралельного зсуву і неможливості забезпечення дільниці достатньою довжиною між кінцем однієї перехідної кривої і початком іншої як на прямій дільниці між зворотними кривими, так і в межах кругових кривих. Найбільш радикальним способом ліквідації цих місць обмеження швидкості є прокладення через роздільний пункт головних колій по прямій трасі (з усуненням *S*-подібних кривих). Таке рішення останніми роками рекомендується, зокрема, на роздільних пунктах з поздовжнім розташуванням приймально-відправних колій навіть звичайних нешвидкісних ліній.

Особливу проблему становлять пасажирські пристрої (платформи і пасажирські будівлі), розташовані на багатьох існуючих станціях між головними коліями. Радикальним проектним рішенням на проміжних роздільних пунктах є винесення пасажирських платформ на зовнішній бік головних колій станції або обгінного пункту зі збільшенням їх ширини і спорудження переходів в різних рівнях з дотриманням норм габариту наближення будівель  $C_n$ .

Проблемою, що перешкоджає забезпеченню максимальної швидкості пропуску пасажирських поїздів через роздільні пункти, можуть бути горизонтальні криві на найближчих підходах до роздільного пункту і безпосередньо в його межах (між

горловинами). На існуючих залізницях радіуси кругових кривих коливаються у вузькому діапазоні 800-1000 м, а за нормами вимагається 3000-4000 м.

Таким чином, станція являє собою складну систему, яка характеризується багатьма даними (колійним розвитком, корисною довжиною колій, кількістю стрілочних переводів, розташуванням пасажирських пристроїв та ін.), при підготовці лінії до швидкісного руху чимала частина робіт з перебудови припадає саме на проміжні роздільні пункти.

Структуру будівельних робіт з перевлаштування роздільних пунктів подано на рисунку.

У зв'язку з тим, що значна частина робіт з реконструкції роздільних пунктів припадає на головні колії, важливим є питання організації будівництва. У [9, 12] передбачається, що ці роботи будуть виконуватися в період «вікон», а експлуатаційні втрати, які виникають при цьому, можна визначати за допомогою імітаційної моделі.

У [9] враховуються дві групи робіт з реконструкції станцій для руху поїздів зі швидкостями до 200 км/год:

- I – роботи, викликані перебудовою плану головних колій в межах станції або на найближчих підходах до неї через недостатню для більш високих швидкостей величину радіусів кривих, прямих вставок між сусідніми кривими і т. д.;

- II – роботи, які не залежать від перебудови головних колій і виконуються в тих випадках, коли ці колії в межах станції залишаються або без змін в плані, або часткові їх зміни не викликають переукладання станційних колій.

Перш за все потрібна заміна звичайних стрілочних переводів на головних коліях спеціальними, які відповідають максимальній швидкості руху поїздів, спорудження або реконструкція пішохідних тунелів або мостів, винос пасажирських платформ з міжколійя головних колій, перебудова горловин через

недостатні величини вставок між суміжними стрілочними переходами на

головній колії, модернізація електричної централізації стрілок і сигналів (ЕЦ) та ін.



Рис. Структура будівельних робіт з перевлаштування роздільних пунктів

Очевидно, що роботи другої групи для встановлення максимальної швидкості виконуються одночасно з перебудовою плану головних і інших станційних колій, якщо таке потрібно.

Великою проблемою при підготовці лінії до швидкісного руху є наявність кривих малих радіусів [10]. Радіус кругової кривої, підвищення зовнішньої рейки і допустима швидкість руху взаємопов'язані і визначаються виходячи із забезпечення комфорту пасажирів, міцності і стійкості колії і рухомого складу [11].

Методикою Всесоюзного науково-дослідного інституту залізничного транспорту рекомендується такий порядок пошуку оптимального радіуса кругової кривої при максимальній швидкості руху  $R_{V_{\max}}$  за формулою, м,

$$R_{V_{\max}} = \frac{v_{\max}^2 - kv_{cp\text{кв}}^2}{3,6^2 \cdot a_{\text{нен}}}, \quad (1)$$

де  $a_{\text{нен}}$  – допустима величина непогашеного поперечного прискорення, м/с<sup>2</sup> (при  $v_{\max} = 200$  км/год,  $a_{\text{нен}} = 0,6$  м/с<sup>2</sup>, при  $v_{\max} > 200$  км/год,  $a_{\text{нен}} = 0,4$  м/с<sup>2</sup>);

$k$  – коефіцієнт збільшення середньозваженого підвищення зовнішньої рейки, що враховує зсув центра тяжіння екіпажу у зовнішній бік по відношенню до осі колії у кривій, що приймається рівним 1,2 при швидкостях більше 140 км/год і 1,0 – до 140 км/год;

$v_{\max}$  – максимальна швидкість, км/год;

$v_{cp\text{кв}}$  – середньоквадратична швидкість у кривій, км/год.



На стадії передпроектних робіт допустима швидкість у кривій визначається за формулою, км/год,

$$v_{\text{дон}} = \sqrt{3,6^2 \cdot a_{\text{нен}} R + k v_{\text{сркв}}^2} \quad (2)$$

За уточненою методикою визначення допустимої і середньоквадратичної швидкості з розбивкою поїздопотоків на дві групи швидкості, яка допускається в кожній кривій радіусом  $R$ , розраховується за формулою

$$v_{\text{дон}} = \sqrt{\frac{3,6^2 R a_{\text{нен}} \sum_{i=1}^{m_1+m_2} N_i Q_i + k \sum_{i=1}^{m_1} N_i Q_i v_{\text{ході}}^2}{\sum_{i=1}^{m_1} N_i Q_i - (k-1) \sum_{i=1}^{m_2} N_i Q_i}}, \quad (3)$$

де  $N_i$ ,  $Q_i$  – відповідно кількість та вага поїздів кожної категорії;

$v_{\text{ході}}$  – швидкість руху поїзда  $i$ -тої категорії по елементу профілю, на якому є крива за умови, що згідно з тяговими розрахунками  $v_{\text{ході}} < v_{\text{дон}}$ , км/год;

$m_1$ ,  $m_2$  – кількість категорій поїздів, що мають відповідно  $v_{\text{ході}} < v_{\text{дон}}$  та  $v_{\text{ході}} > v_{\text{дон}}$ .

Середньозважена квадратична швидкість поїздів різних категорій визначається за формулою

$$v_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m_1} N_i Q_i v_{\text{ході}}^2 + \sum_{i=1}^{m_2} N_i Q_i v_{\text{дон}}^2}{\sum_{i=1}^{m_1+m_2} N_i Q_i}} \quad (4)$$

Підвищення зовнішньої рейки розраховується таким чином:

$$h = \frac{k \cdot 12,5 \cdot v_{\text{сркв}}^2}{R}, \quad (5)$$

де  $R$  – радіус кругової кривої, м.

На нових швидкісних лініях, а також лініях I та II категорії довжини перехідних кривих приймаються з умови, м,

$$l \geq \frac{h v_{\text{max}}}{100} \quad (6)$$

де  $h$  – підвищення зовнішньої рейки, мм.

**Висновки.** Слід зазначити, що питання перебудови роздільних пунктів, які розглядаються при підготовці ліній до швидкісного руху як ділянка обмеження швидкості поїздів, на сьогоднішній день досліджено недостатньо повно. Дослідження, проведені у роботі, дозволили класифікувати будівельні роботи при підготовці роздільного пункту з колійним розвитком до введення швидкісного руху пасажирських поїздів.

### Список використаних джерел

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс] / Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1555-р. – Режим доступу: [www/URL: http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html/](http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html/) 10.12.2009. – Загол. з екрану.

2. Аналіз досліджень, присвячених реконструкції проміжних роздільних пунктів при введенні швидкісного руху [Текст] / М. Ю. Куценко, О. А. Дудін, А. В. Рибін [та ін.] // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 165. – С. 109-117.
3. Визначення оптимальних конструктивних параметрів розв'язок колій в залізничних вузлах [Текст] / О.В. Розсоха, І. В. Берестов, Г. В. Шаповал, З.З. Мамедов // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 166. – С. 87-96.
4. Розрахунок економічної ефективності впровадження вагонних уповільнювачів нового покоління на механізованих сортувальних гірках України [Текст] / М. Ю. Куценко, О. О. Христиненко, Я. В. Віслов [та ін.] // Зб. наук. праць. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 137. – С. 78-82.
5. Clewlow, R. R. The impact of high-speed rail and low-cost carriers on European air passenger traffic [Text] / R. R. Clewlow, J. M. Sussman, H. Balakrishnan // Transport Policy. – 2014. – Vol. 33. – P. 136 – 143.
6. High-speed railway scheduling based on user preferences [Text] / J. Espinosa-Aranda [et al.] // European Journal of Operational Research. – 2015, November. – Vol. 246. – P. 772 – 786.
7. Environmental risks of high-speed railway in China: Public participation, perception and trust [Text] / Guizhen He [et al.] // Environmental Development. – 2015, April. – Vol. 14. – P. 37-52.
8. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Залізничі колії 1520 мм. Норми проектування [Текст]: ДБН В.2.3-19-2008: затв. Мінрегіонбудом України 26.01.2008. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 126 с.
9. Медведева, Н. В. Переустройство промежуточных отдельных пунктов для повышения скорости движения пассажирских поездов до 200 км/ч [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Н. В. Медведева. – СПб., 2008. – 188 с.
10. Аналіз відомих досліджень щодо оптимальної етапності розвитку сортувальних станцій [Текст] / М. Ю. Куценко, В. Р. Фефелова, І. О. Тупотіна, К. С. Кальцова // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2014. – Вип. 150. – С. 42-46.
11. Костенко, В. В. Выбор основных параметров стрелочных переводов для высокоскоростных магистралей [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / В. В. Костенко. – СПб., 1997. – 23 с.
12. Козлов, А. М. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций [Текст] / А. М. Козлов, К. К. Таль. – М.: ВПТИТРАНССТРОЙ, 1988. – 468 с.

---

Куценко Максим Юрійович канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: maksimus84@meta.ua.  
Шаповал Ганна Василівна, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-26. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.  
Івашкіна Аліна Михайлівна, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (066) 748-88-41. E-mail: alinaivashkina14@yandex.ru.  
Шкарбуль Яна Андріївна, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (093) 114-32-40. E-mail: yanashkarbul.ys@gmail.com.  
Лисенко Євгенія Миколаївна, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-26. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.

Kutsenko Maxim Yriyovich Ph. D., associate professor department of train stations and nodes Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42 E-mail: maksimus84@meta.ua.  
Shapoval Anna Vasilyevna Ph. D., associate professor department of train stations and nodes Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-26 E-mail: ann.shapoval@ukr.net.  
Ivashkina Alina Mikhailivna, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (066) 748-88-41. E-mail: alinaivashkina14@yandex.ru.

---

Shkarbul Yana Andriivna, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport.  
Тел.: (093) 114-32-40. E-mail: yanashkarbul.ys@gmail.com.  
Lysenko Yevheniya, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian state University of Railway Transport.  
Tel.:(057)730-10-26. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.

Стаття прийнята 05.10.2017 р.

УДК 629.4.027.11

## ОГЛЯД СУЧАСНИХ ВБУДОВАНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ДЛЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ

Канд. техн. наук В. М. Петухов, асп. Н. С. Кладько, магістрант І. В. Регент

## ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ВСТРОЕННЫХ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ БУКСОВЫХ УЗЛОВ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ДЛЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Канд. техн.наук В. М. Петухов, асп. Н. С. Кладько, магистрант И. В. Регент

## INSPECTION OF MODERN BUILT-IN DEVICES FOR CONTROL AXLEBOX UNIT OF PASSENGER WAGONS FOR HIGH-SPEED TRAFFIC

Ph. D. V. M. Petuhov, postgraduate N. S. Kladko, master I. V. Regent

*У статті визначені критерії, за якими потрібно оцінювати та проводити вибір вбудованих засобів контролю. Виконано огляд сучасних вбудованих пристроїв контролю технічного стану буксових вузлів пасажирського вагона для швидкісного руху. Розглядаються системи контролю букс вітчизняних і зарубіжних країн, а також провідних виробників буксових вузлів для залізничного транспорту. Запропоновано заходи щодо вдосконалення вітчизняної вбудованої системи контролю букс.*

**Ключові слова:** пасажирський вагон, буксовий вузол, вбудована система контролю, підшипник, безпека.

*В статье определены критерии, по которым требуется оценивать и проводить выбор встроенных средств контроля. Выполнен обзор современных встроенных устройств контроля технического состояния буксовых узлов пассажирского вагона для скоростного движения. Рассматриваются системы контроля букс отечественных и зарубежных стран, а также ведущих производителей буксовых узлов для железнодорожного транспорта. Предложены мероприятия для совершенствования отечественной встроенной системы контроля букс.*

**Ключевые слова:** пассажирский вагон, буксовый узел, встроенная система контроля, подшипник, безопасность.

*The article defines the criteria for which it is necessary to evaluate and select the built-in monitoring tools. The review of modern built-in devices for monitoring the technical condition of the passenger compartment of the passenger car for high-speed traffic has been performed. The systems of control of the bookshops of domestic and foreign countries, as well as leading manufacturers of axle boxes for railway transport are considered. The main purpose of the new*

*technology is to identify in the passing trains of safety-related malfunctions, take measures to immediately stop all available means, prevent further tracing of faulty cars with eliminating defects or disconnecting them from trains. The measures are proposed to improve the domestic integrated control system of the boxes. The article proposes the implementation of an automated system for monitoring the heating of the axle boxes, a diagnostic analysis of the technical condition of the axle boxes. The built-in control systems of the boxes most adapted for operation in the conditions of the Ukrainian railways are offered.*

**Key words:** railway carriage, the axle boxes, built-in control system, parameters, bearing, safety.

**Вступ.** До вбудованих систем контролю буксових вузлів відносяться пристрої, що розташовуються в кожному буксовому вузлі та сигналізують про його несправність. Міжнародні правила, такі як критерії, розроблені Міжнародним союзом залізничників (МСЗ) для пасажирських вагонів, і інструкції TSI (Технічна специфікація сумісності високошвидкісних поїздів у Європі), вимагають постійного контролю температури букс.

Останніми роками у світі для пасажирських вагонів з'явився ряд нових систем контролю букс. Ці системи здатні не тільки стежити за температурою підшипників, але можуть визначати й інші технічні параметри елементів буксових вузлів і ходових частин. Також такі системи стали інтелектуальними, тобто здатні обробляти інформацію, що надійшла від датчиків, і виробляти керуючі впливи. Оснащення такими системами вагонів для швидкісного руху, безумовно, підвищує в першу чергу безпеку руху, а також підвищує довіру пасажирів до швидкісних поїздів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Огляд і аналіз робіт щодо методів та засобів контролю технічного стану буксових вузлів пасажирських вагонів в експлуатації [1-3, 8-12] показали, що як критерій оцінювання таких систем розглядається лише точність вимірювання температурних параметрів.

При цьому значна частина робіт спрямована на вирішення проблем визначення кращих алгоритмів теплового контролю [6, 7]. Розгляду питань

вбудованих систем контролю присвячені роботи, спрямовані на вдосконалення елементної бази вбудованих засобів контролю пасажирських вагонів [2, 5].

Таким чином, підкреслюючи значимість робіт, що розглядаються, можна зробити висновок, що всі ці роботи присвячені лише температурному параметру без урахування інших чинників [7, 10, 11].

Також проблеми створення універсальних критеріїв оцінювання діагностичного забезпечення букс вагонів залишаються неопрацьованими, незважаючи на значний прогрес у створенні нових засобів контролю.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою дослідження є визначення критеріїв, за якими можливо оцінювати та проводити вибір вбудованих засобів контролю букс пасажирських вагонів для швидкісного руху для підвищення достовірності контролю.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- визначити критерії оцінювання вбудованих засобів контролю з точки зору достовірності визначення аварійного стану букс;

- проаналізувати існуючі системи контролю технічного стану буксових вузлів пасажирських вагонів;

- зробити висновок, які системи контролю технічного стану вагонів є перспективними та найкращими для використання в буксах вітчизняних пасажирських вагонів.

**Основна частина дослідження.**

Основним діагностичним параметром буксового вузла є температура, тому що вона характеризує технічний стан підшипників.

При цьому температура різних зон корпусу букси через неоднорідність елементів огороження і умов теплообміну різна.

Найбільш високу температуру мають ролики й сепаратори, потім (у порядку убутання) внутрішні й зовнішні кільця, шийка осі, корпус букси й маточина колеса. Теоретичні та експлуатаційні дослідження серійних підшипників показують, що різниця температур нагрівання роликів і зовнішніх кілець може досягати 60...70°C. У букс з касетними підшипниками різниця температур між конічним роликом і зовнішнім кільцем може досягати 96 ... 120 °С.

У цих умовах достовірність оцінки технічного стану букси залежить від зв'язку між температурою контрольної точки

(точки на буксовому вузлі, де встановлені датчики) і фактичною температурою підшипника.

Коефіцієнт зв'язку  $K_3$  буде визначатися таким виразом:

$$K_3 = \pi k_i, \quad (1)$$

де  $k_i = \frac{t_i}{t_n}$  – відношення температури елемента букси до температури підшипника.

При цьому достовірність контролю буде тим вище, чим більше коефіцієнт зв'язку  $K_3$ .

При застосуванні вбудованих засобів контролю, на відміну від дистанційних, стає можливим використовувати більш інформативну ознаку розпізнавання – залежність температури букси від частоти обертання колісної пари.

Як відомо, температура букси безпосередньо залежить від частоти обертання колісної пари (рис. 1).



Рис. 1. Діаграма залежності температури букси від частоти обертання колісної пари: 1 – для завантажених вантажних вагонів; 2 – для пасажирських вагонів;  $(T_b - T_{zn})$  – різниця температур між буксою та зовнішнім повітрям

Це підтверджується температурною моделлю буксового вузла, що враховує не швидкість руху поїзда, а частоту обертання

колісної пари, тобто дозволяє використовувати дану модель для різних типів підшипників та діаметрів коліс:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P \cdot N \cdot \pi \cdot D \cdot f}{\sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i} - \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot F_i \cdot (T_i - T_3)}{\sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i}, \quad (2)$$

де  $P$  – навантаження на буксу,  $H$ ;

$N$  – частота обертання колісної пари  $c^{-1}$ ;

$D$  – діаметр підшипника,  $m$ ;

$f$  – наведений коефіцієнт тертя, що враховує сумарне тертя кочення і ковзання робочих поверхонь підшипників, опір змащення і тертя роликів із сепаратором;

$c_i$  – питома теплоємність елементів букси й колісної пари,  $Дж/кг \cdot K$ ;

$p_i$  – маса елементів букси й колісної пари,  $кг$ ;

$dt$  – час роботи підшипника,  $c$ ;

$\alpha_i$  – коефіцієнт тепловіддачі,  $Вт/м^2 \cdot K$ ;

$F_i$  – площа зовнішніх поверхонь букси,  $м^2$ ;

$T_i$ ,  $T_3$  – відповідно температури зовнішніх поверхонь корпуса букси та зовнішнього повітря,  $K$ .

Таким чином, контрольні точки буксового вузла повинні мати якомога більший коефіцієнт зв'язку. Тому для достовірної оцінки технічного стану букси бажано розміщувати датчики температури безпосередньо на елементах підшипника. А також наявність датчика частоти обертання повинна з максимальною точністю характеризувати технічний стан букси.

За таких умов буде зроблено огляд сучасних засобів контролю буксових вузлів пасажирських вагонів.

У розробленій НВП "Хартрон-Експрес" вітчизняній системі контролю нагрівання букс СКНБ-К для пасажирських візків моделей 68-7007 і 68-7012 застосовані напівпровідникові термодатчики, внутрішній опір яких змінюється залежно від зміни температури [7]. Ці термодатчики працюють із блоками формування даних, які у свою чергу працюють із блоком обробки даних. Схема системи СКНБ-К зображена на рис. 2.

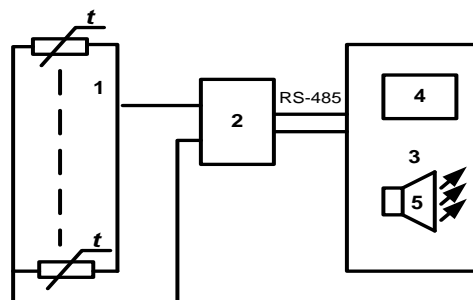


Рис. 2. Структурна схема СКНБК

Відповідно до цієї схеми вимірювальні датчики 1 підключені до мікропроцесорного блоку обробки 2. Отримані в результаті виміру параметри через стандартну шину RS-485 подаються в систему автоматизованого керування, контролю й діагностики (САККД) 3 вагона, що включає дисплей 4 і звуковий сигналізатор 5.

Використання даної схеми й мікропроцесорних блоків дозволяє виявляти й фіксувати перегрів букс, обрив ланцюга термодатчиків і блоків формування даних, коротке замикання ланцюгів. Система продовжує функціонування при виході з ладу одного або декількох датчиків або блоків формування даних.

Важливою особливістю даної схеми є можливість попередження аварійної ситуації – при досягненні температури буксового вузла, що становить 70...75 % від критичної (65...70<sup>0</sup>C), формується сигнал "Увага!", який подається на основний екран дисплея ШР САККД (шафа розподільна системи автоматичного керування, контролю й діагностики) і супроводжується переривчастим звуковим сигналом. На дисплеї при цьому вказується конкретний буксовий вузол, у якому є тенденція до підвищення температури. Даний сигнал має попереджувальний характер.

При досягненні встановленого порога температури (94±4<sup>0</sup>C) СКНБ видає текстове повідомлення на екран дисплея такого змісту: "Перегрів букси" і постійний звуковий сигнал.

Вся інформація про роботу СКНБ реєструється бортовим реєстратором для можливості проведення аналізу, а також доступу для поїзної автоматизованої інформаційно-діагностичної системи ПАІДС.

Науково-виробниче підприємство НВП "Мікролог" (м. Хмельницький) розробила пристрої контролю нагрівання букс МЛ 520 і МЛ 521.

Конструктивний пристрій складається з послідовно з'єднаних (до 8 шт.) датчиків нагрівання букс (ДНБ) мод. МЛ 110, які встановлюються безпосередньо на буксах, і приладу контролю й сигналізації (ПКС) мод. МЛ 520, що встановлюється в пульті керування. ПКС підключається до існуючої системи електропостачання вагона й елементів контролю й керування на передній панелі пульта керування.

Датчики забезпечують безперервний контроль температури шляхом зміни електричного опору чутливого елемента. Конструктивно датчики складаються із двох частин: чутливого елемента з кабелем, що закінчується наконечниками під гвинт, і кріпильної гайки з ущільненням. Така конструкція датчика дозволяє спростити заміну візків, тому що не потрібно від'єднання датчиків від клемної коробки.

ПКС забезпечує оперативний контроль температури букс і видачу сигналів керування на пристрої світлової й звукової сигналізації вагона. Конструктивно ПКС виконаний у вигляді окремого блоку. Крім того, прилад виробляє переривчастий сигнал керування звуковою й світловою сигналізацією "несправність" у таких випадках: при обриві ланцюга датчиків, при замиканні на корпус датчиків або сполучних проводів, при короткому замиканні датчиків або сполучних проводів, при попаданні в ланцюг сторонньої напруги. Прилад знімає сигнал "несправність" після усунення uszkodження.

Пристрій МЛ521 для нового типу пасажирських вагонів забезпечує вимір

поточного значення температури по кожній буксі з одночасним відображенням обмірюваних значень на рідкокристалічному індикаторі або передачу інформації з інтерфейсу RS-485 на систему керування вагона.

Для пасажирських вагонів ВАТ "Российские железные дороги" останнім часом впроваджується система моніторингу температурних режимів (СМТР) підшипникових вузлів вагонів пасажирських поїздів як компонент системи контролю безпеки й зв'язку пасажирського поїзда виробництва компанії ЗАТ "Аерокосмічні технології" (РФ).

СМТР забезпечує дистанційний контроль поточної температури підшипникових вузлів вагона пасажирського поїзда, виведення інформації на блок контролю й керування й передачу аварійного сигналу у випадку перевищення критичної температури й інших несправностей у систему контролю безпеки й зв'язку пасажирського поїзда.

У процесі роботи СМТР забезпечується контроль абсолютної температури буксових вузлів вагона й редуктора генератора в місці установлення радіодатчиків температури з виведенням інформації на блок контролю й керування.

В основі роботи СМТР покладено принцип дистанційного знімання інформації про поточну температуру букс пасажирського вагона за допомогою радіодатчиків температури й подальшого виведення інформації на блок контролю керування.

Пристрій відображення є центральною частиною системи дистанційного контролю стану буксових вузлів і встановлюється в службовому купе провідника пасажирського вагона. На пристрій відображення надходить оперативна інформація про параметри підшипників. Вся отримана інформація аналізується й обробляється мікропроцесором пристрою відповідно до робочої програми й діючих установок, після чого дані виводяться на вбудований дисплей.

Компанією Siemens SGP Verkehrstechnik розроблена система контролю технічного стану пасажирського поїзда. Одним з компонентів цієї розробки є система для виміру температури з метою виявлення букс, що гріються. У ній застосовуються датчики, що являють собою термопари, запресовані в спеціальні поглиблення, висвердлені в болтах кріплення кришки (патент SGP). Сигнали, що знімаються з основних і резервних датчиків температури, контролюються з метою перевірки на перевищення граничних значень. Результати такої обробки даних у вигляді коду несправності по інформаційній вагонній шині надходять

на пульт машиніста й у систему діагностики, а також передаються у два запам'ятовувальні пристрої (для створення архіву й виявлення тенденцій зміни параметрів) у системі контролю й діагностики ходової частини. Інформація з обох запам'ятовувальних пристроїв може зчитуватися комп'ютером системи технічного обслуговування. Для забезпечення можливості негайного реагування при виявленні букси, що гріється, система контролю й діагностики ходової частини може діяти автоматично, шляхом втручання в контур екстреного гальмування (рис. 3).

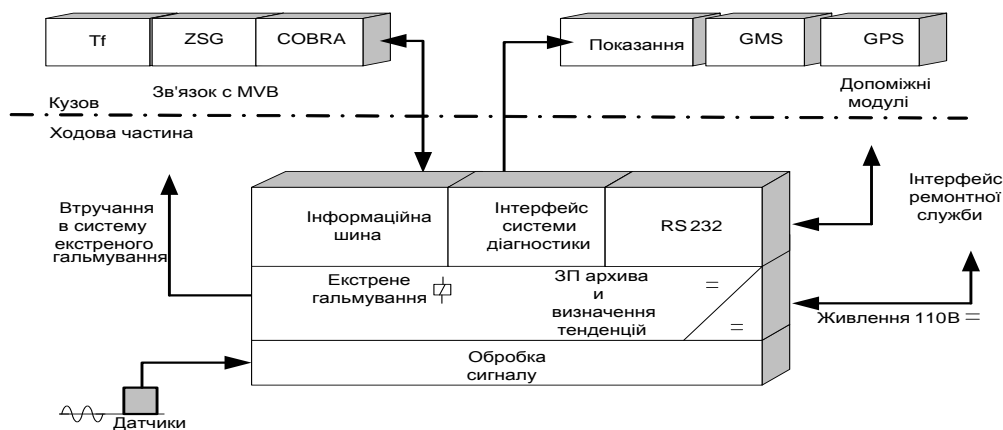


Рис. 3. Функції й інтерфейси блоку обробки сигналів діагностичної системи компанії Siemens Verkehrstechnik

Система датчиків SKF, що інтегровані в буксові підшипникові вузли, дає можливість виміряти такі важливі параметри:

- швидкість оберту колеса, яка використовується системою;
- температуру всередині підшипника для її передачі в бортову систему;
- напрям руху;
- місцеположення для Європейської системи управління руху поїздів (European Train Control System: ETCS);
- вертикальні і/або поперечні прискорення.

Інтелектуальні підшипники FAG оснащені сенсорною системою контролю,

яка дає змогу передавати дані по радіоканалу в пристрій моніторингу більш високого рівня інформації про стан буксового підшипника. В підшипниковому вузлі FAG інтегрований сенсор з незалежним джерелом енергії визначає температуру поверхні підшипників.

Компанія Timken розробила самотестувальну сенсорну систему, яка встановлюється всередині букси вагона і в процесі руху поїзда здійснює безпроводну передачу даних про стан підшипника, колеса і завчасно попереджає про наявність потенційно небезпечних ситуацій до виникнення відмови. Для вимірювання



параметрів і передачі інформації на бортовий приймач використовуються датчики на базі технології RF. Інформація через інтелектуальний інтерфейс направляється в комп'ютер, встановлений в кабіні управління ведучого локомотива, а також у зовнішню мережу для аналізу одержуваних даних. Комплект датчиків, розташований безпосередньо на підшипнику, а не в корпусі букси або в місці посадки, забезпечує максимальну достовірність.

**Висновки.** Таким чином, проведені дослідження доводять, що датчики температури буксового вузла повинні бути розміщені якомога ближче до підшипників.

А наявність в системі датчика частоти обертання дозволяє більш точно визначати технічний стан букси.

Огляд вбудованих засобів контролю букс показав, що сучасні системи фірм SKF, FAG та Timken контролюють широкий спектр параметрів цього вузла, тобто мають високу достовірність визначення технічного стану буксового вузла.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що вітчизняна система контролю букс пасажирських поїздів, що розроблена НВП "Хартрон-Експрес" має великий потенціал для подальшого її удосконалення шляхом встановлення додаткових датчиків до систем і контролю.

### *Список використаних джерел*

1. Демин, Р. Ю. Компьютерная система контроля состояния ходовых частей пассажирских вагонов [Текст] / Р. Ю. Демин, Ю. В. Демин, Д. В. Дмитриев // Залізничний транспорт України. – 2003. – № 5. – С. 4-6.
2. Усовершенствование системы контроля нагрева букс пассажирского вагона / В. И. Приходько, О. А. Шкабров, Г. С. Игнатов [и др.] // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетров. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2005. – Вип.7. – С. 57-60.
3. Мартынов, И. Э. Натурные испытания встроенной системы контроля технического состояния буксовых узлов [Текст] / И. Э. Мартынов, В. М. Петухов // Мир транспорта. – 2013. – № 2. – С. 180-182.
4. Системы обнаружения перегретых букс и заклиненных тормозов для высокоскоростных линий [Текст] // Железные дороги мира. – 1993. – № 3. – С. 10-15.
5. Буксовые узлы с датчиками компании SKF для современного подвижного состава [Текст] // Железные дороги мира. – 2008. – № 4. – С. 47-51.
6. Подшипники качения // Каталог фирмы FAG, Schaeffler Group Industrial. Изд. Schaeffler KG. – 2009. – С. 1640.
7. Приборы и системы автоматизированного контроля, регулирования и управления. [Электронный ресурс] // Каталог фирмы НПП «Микролог» – 2017. – Режим доступа: <http://microlog.km.ua/?ct=detail&prod=25&parent=69>, свободный. – Загл. с экрана. (05.10.2017).
8. Fee, M. Optimierungspotenziale bei der Stationierung von Hei l uferortungsanlagen. ETR — Eisenbahntechnische Rundschau Preventive medicine for bearings [Text] / M. Fee, G. Anderson // Railway Age. – 1995. – № 54. – P. 70-73.
9. Мекеев, А. Б. Исследование математических моделей систем контроля букс [Текст] / А. Б. Мекеев // Молодой учёный. – 2015. – № 8. – С. 266-269.
10. Eisenbrand, E. Ph nix MB — die neue Hei laufenortungsanlage [Text] / E. Eisenbrand // Signal&Draht. – 1998. – № 12. – P. 9-11.
11. M. Schmeja. Glasers Annalen, 2002, 126 Tagungsband, P. 258 – 266.

12. Schobel, A. Hot box detection systems as part of automated train observation in austria [Text] / A. Schobel, M. Pisek, J. Karner // Towards the competitive rail systems in Europe. – 2006. – P. 157-161.

13. Eisenbrand, E. Hot box detection in European railway networks [Text] // RTR Special. – 2011. – P. 2-11.

14. Lunus, O. Investigation on features and tendencies of axle-box heating [Text] / O. Lunys, S. Dailydka, G. Bureika // Transport problems. – 2015. – № 10. – P. 10-114.

---

Петухов Вадим Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.+38 (057) 730-10-35. E-mail: hiitwagen@gmail.com.

Кладько Надія Сергіївна, аспірант Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. +38(098) 435-41-41. E-mail: kladkonadiia@gmail.com.

Регент Ілона Вікторівна, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. +38(098)746-90-61. E-mail: ilbelloheart24@gmail.com.

Petukhov Vadim, Ph. D. V., Associate Professor at the department of railway cars of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.+38 (057) 730-10-35. E-mail: hiitwagen@gmail.com.

Kladko Nadiia, postgraduate student of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. +38(098) 435-41-41. E-mail: kladkonadiia@gmail.com.

Regent Ilona, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. +38(098) 746-90-61. E-mail: ilbelloheart24@gmail.com.

Стаття прийнята 06.10.2017 р.

**УДК 656.211.26**

**ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ У КРУПНОМУ ЗАЛІЗНИЧНОМУ ВУЗЛІ**

Д-р техн. наук **О. М. Огар**, магістранти **М. С. Кужавський, Є. М. Кузнецов, М. В. Наумов**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ В КРУПНОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ УЗЛЕ**

Д-р техн. наук **А. Н. Огарь**, магистранты **Н. С. Кужавский, Е. Н. Кузнецов, М. В. Наумов**

**DETERMINATION OF THE RATIONAL LOCATION FOR A PASSENGER STATION SERVING HIGH-SPEED TRAINS IN A LARGE RAILWAY JUNCTION**

Doct. of techn. sciences **O. Ohar**, master student **M. Kuzhavsky, Y. Kuznetsov, M. Naumov**

*Проаналізовано наукові підходи щодо розрахунку та оптимізації параметрів високошвидкісних магістралей. Визначено координати станцій метрополітену, центрів бізнесу, населеності і пам'яток крупного мегаполісу, координати розрахункових точок його вулиць і проспектів з інтенсивним рухом транспорту та координати точок входу залізничних ліній у місто. Розраховано вагові коефіцієнти цільової функції. Визначено*

раціональне місце розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у залізничному вузлі.

**Ключові слова:** пасажирська станція, високошвидкісні магістралі, поїзд, вузол, обслуговування, розміщення, модель.

*Проанализированы научные подходы по расчету и оптимизации параметров высокоскоростных магистралей. Определены координаты станций метрополитена, центров бизнеса, населенности и памятников крупного мегаполиса, координаты расчетных точек его улиц и проспектов с интенсивным движением транспорта и координаты точек входа железнодорожных линий в город. Рассчитаны весовые коэффициенты целевой функции. Определено рациональное месторасположение пассажирской станции для обслуживания высокоскоростных поездов в железнодорожном узле.*

**Ключевые слова:** пассажирская станция, высокоскоростные магистрали, поезд, узел, обслуживание, размещение, модель.

*The scientific approaches concerning calculation and optimization of high-speed lines parameters were analyzed. The analysis showed that the issue of rational location of passenger stations for the servicing of high-speed trains at large railway junctions were not sufficiently considered. The coordinates of subway stations, business centers, settlements and monuments of a large metropolis, coordinates of the settlement points of streets and avenues with intensive traffic and coordinates of points of entry of railway lines to the city are determined. The weighting coefficients of the target function were calculated. The results of calculating these coefficients indicate that the most significant parameter is the distance from the passenger station to the subway station. The rational location of the passenger station for servicing high-speed trains at the railway station was determined. The passenger railway station in this place can not be located. Therefore, two alternative variants of station placement on the site of the existing stations of railway junction nearest to the optimal location were proposed. In order to choose the best option, it is proposed to perform detailed technical and economic calculations.*

**Key words:** passenger station, high-speed lines, train, junction, service, location, model.

**Вступ.** Транспортна інфраструктура будь-якого мегаполісу постійно розвивається. В умовах зростаючого попиту на пасажирські перевезення, появи нових категорій поїздів, зокрема високошвидкісних, підвищення якості обслуговування пасажирів проблема розвитку транспортної інфраструктури мегаполіса стає особливо актуальною. В межах вказаної проблеми особливо важливими стають питання реконструкції існуючих пасажирських та інших станцій, що є «затиснутими» міськими забудовами. Деякі станції залізничних вузлів крупних міст України в найближчому майбутньому або в перспективі можуть взяти на себе функції обслуговування високошвидкісних поїздів. Вибір раціональної залізничної станції

вузла для обслуговування вказаних поїздів або обґрунтування місця розташування нової пасажирської станції з тим же функціональним призначенням на сьогодні є важливим науково-прикладним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед останніх досліджень і публікацій, що присвячені питанням розвитку високошвидкісного руху пасажирських поїздів, відомими є праці Абдуллаєва І. С., Бутько Т. В., Переселенкова Г. С., Розсохи О. В., Еспіноси-Аранди Д., Канафані А., Клілоу Р. та ін. [1-7].

В [1] розвиток пасажирських станцій крупних міст в умовах впровадження високошвидкісного руху розглядається лише з позиції ефективного використання площі, що займається станцією.

В [2] основна увага приділяється тільки визначенню раціональної топології залізничної мережі високошвидкісних та швидкісних перевезень. Раціональна топологія пасажирських станцій для обслуговування високошвидкісних поїздів в крупних містах не розглядається.

В [3] увага спрямована на формування критерію розвитку залізниць, в тому числі і високошвидкісних магістралей. Оцінка ефективності розвитку транспортних систем крупних міст відсутня.

В [4] формулюється задача знаходження оптимальної кількості призначень і схеми составів пасажирських поїздів. Вирішується вказана задача, як і у [2], для полігону залізниць. Пасажирські станції залізничних вузлів розглядаються тільки з позиції їх пропускної спроможності.

В [5] основна увага спрямована на планування високошвидкісних перевезень. Це планування базується на думці користувачів. Конструктивно-технологічні параметри транспортних систем крупних міст при цьому не враховуються.

В [6] оцінюються переваги і ефективність високої швидкості в мультимодальній транспортній системі. Параметри транспортних вузлів крупних міст при цьому не розглядаються.

В [7] досліджуються європейські пасажиропотоки високошвидкісних залізничних і бюджетних перевізників. Вплив особливостей і параметрів транспортної інфраструктури міст в ході досліджень не враховується.

Отже, питання раціонального розміщення пасажирських станцій для обслуговування високошвидкісних поїздів у крупних залізничних вузлах розглянуто недостатньо.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою роботи є визначення раціонального місця розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у Харківському залізничному вузлі на основі урахування множини факторів.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити координати центрів бізнесу, населеності і пам'яток міста, координати станцій метрополітену, координати розрахункових точок вулиць і проспектів міста з інтенсивним рухом транспорту, координати точок входу залізничних ліній у місто, визначити вагові коефіцієнти цільової функції і виконати оптимізаційні розрахунки.

**Основна частина дослідження.** Раціональне місце розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у Харківському залізничному вузлі пропонується визначити за допомогою математичної моделі, що наведена у [8].

Для розрахунку координат центрів бізнесу, населеності і пам'яток міста визначено широту і довготу бізнес-центрів, районів і основних пам'яток Харкова та перераховано їх відповідно до локальної системи координат (табл. 1-3). За точку відліку локальної системи координат обрано точку з координатами  $49,9^\circ$  північної широти і  $36,1^\circ$  східної довготи, а при визначенні координат районів міста за розрахункову точку окремого району прийнято точку, що відповідає центру його населеності.

На підставі даних, що наведені у табл. 2, координати центру населеності міста складуть

$$x_{ЦН} = \left( \begin{array}{l} 223,9 \cdot 8071,31 + 183,1 \cdot 14360,61 + \\ + 304,2 \cdot 17290,86 + 142,7 \cdot 16826,42 + \\ + 157,8 \cdot 20186,59 + 147,4 \cdot 13004,42 + \\ + 93,2 \cdot 10487,23 + 107,9 \cdot 5724,29 + \\ + 88,7 \cdot 5081,31 \end{array} \right) \cdot \frac{1}{1448,9} = 13283,13 \text{ м};$$

$$u_{\text{цн}} = \left( \begin{array}{l} 223,9 \cdot 14860,31 + 183,1 \cdot 14380,95 + \\ + 304,2 \cdot 12500,75 + 142,7 \cdot 7781,75 + \\ + 157,8 \cdot 4304,8 + 147,4 \cdot 6546,27 + \\ + 93,2 \cdot 6782,56 + 107,9 \cdot 6521,36 + \\ + 88,7 \cdot 10211,92 \end{array} \right) \cdot \frac{1}{1448,9} = 10186,49 \text{ м.}$$

Таблиця 1

Координати бізнес-центрів

№ п/п	Адреса бізнес-центру	Широта, °	Довгота, °	Координати бізнес-центру у локальній системі координат, м	
				X	Y
1	пр. Московський, 199,а, торгово-офісний центр «Sun City Plaza»	49,971778	36,307287	14691,45	7981,35
2	пр. Гагаріна, 43/2, бізнес-центр «Аристократ»	49,973635	36,257427	11157,63	8187,84
3	пр. Московський, 142, бізнес-центр «Сіті Хол»	49,967151	36,316863	15370,15	7466,85
4	пр. Московський, 138,а, бізнес-центр «Voomy IT Park»	49,970749	36,304846	14518,45	7866,93
5	вул. Чернишевська, 13, бізнес-центр «Ліра»	49,997625	36,236866	9700,37	10855,40
6	вул. Клочківська, 111а, бізнес-центр «Гетріс»	50,007592	36,218098	8370,19	11963,68
7	вул. Сумська, 10, торгово-офісний центр «Аве Плаза»	49,994627	36,232455	9387,74	10522,04
...	...	...	...	...	...
49	вул. Свободи, 7/9, БЦ «Паралель 50»	50,003931	36,237685	9758,42	11556,60
50	вул. Свободи, 19/21, ТЦ «Iva»	50,003482	36,239943	9918,45	11506,67

Таблиця 2

Населеність та координати районів міста

Район міста	Населеність міста у 2017 р., тис. люд	Широта, °	Довгота, °	Координати району у локальній системі координат, м	
				X	Y
Шевченківський	223,9	50,033642	36,213881	8071,31	14860,31
Київський	183,1	50,029331	36,302619	14360,61	14380,95
Московський	304,2	50,012422	36,343963	17290,86	12500,75
Немишлянський	142,7	49,969983	36,337410	16826,42	7781,75
Індустріальний	157,8	49,938714	36,384820	20186,59	4304,80
Слобідський	147,4	49,958872	36,283484	13004,42	6546,27
Основ'янський	93,2	49,960997	36,247968	10487,23	6782,56
Новобаварський	107,9	49,958648	36,180766	5724,29	6521,36
Холодногірський	88,7	49,991838	36,171694	5081,31	10211,92

Координати пам'яток міста

№ п/п	Адреса пам'ятки	Широта, °	Довгота, °	Координати пам'ятки у локальній системі координат, м	
				X	Y
1	вул. Тринклера, 8, Державний музей природи Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна	49,98679	36,2343	9518,51	9650,61
2	вул. Університетська, 5, Харківський історичний музей імені М. Ф. Сумцова	49,9868	36,2344	9525,60	9651,72
3	вул. Жон Мироносиць, 11, Харківський художній музей	49,98679	36,2343	9518,51	9650,61
4	пл. Привокзальна, 1, Музей історії та залізничної техніки Південної залізниці	49,989557	36,204538	7409,13	9958,28
5	вул. Багалія, 6, Харківський літературний музей	50,00111	36,245608	10319,96	11242,92
6	пров. Кравцова, 15, Музей космонавтики і уфології (Харківського планетарію імені Ю. А. Гагаріна)	49,995739	36,22875	9125,15	10645,69
...	...	...	...	...	...
97	сел. Лісне, Feldman Esopark	50,102611	36,281151	12839,07	22529,30
98	вул. Сумська, 35, Харківський державний зоологічний парк	50,002778	36,225	8859,37	11428,39

Згідно з виконаними розрахунками, центр населеності міста знаходиться в 150 м від ТРЦ «Французький бульвар» за адресою: провулок Академіка Павлова, 7 (49,9916° північної широти і 36,2874° східної довготи).

Координати центрів бізнесу і пам'яток міста Харків розраховано з використанням таблиць MS Excel при припущенні, що рівні престижності бізнес-центрів і популярності пам'яток дорівнюють 1. За результатами розрахунків центр бізнесу знаходиться за адресою: вулиця Куликівська, 45 ( $x_{ЦБ} = 10299,56$  м,

$y_{ЦБ} = 10562,03$  м; 49,994987° північної широти і 36,24532° східної довготи), а центр пам'яток – за адресою: вулиця Шевченка, 71/1 ( $x_{ЦП} = 10933,07$  м,  $y_{ЦП} = 11007,22$  м; 49,99899° північної широти і 36,254263° східної довготи).

Вулиці й проспекти міста з інтенсивним рухом транспорту подано у вигляді множини розрахункових точок з відповідними координатами. Також визначено координати точок входу залізничних ліній у місто.

Перш ніж розраховувати координати раціонального місця розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів необхідно визначити вагові коефіцієнти цільової функції, що наведена у [8]. Як вже відзначалося в [8], для визначення цих коефіцієнтів слід використовувати метод експертних оцінок [9], який враховує узагальнений досвід фахівців у даному питанні.

Перед проведенням оцінки було обрано 20 висококваліфікованих фахівців (за даною тематикою досліджень). Фахівцям вказано параметри, від яких залежить місце розташування пасажирської

станції, та завдання, яке стоїть перед ними: ввести лінійний порядок на множині параметрів. Після виконання фахівцями завдання кожному параметру присвоєно оцінку його значимості за шестибальною шкалою, починаючи з 1 (найменш значимий параметр) до 6 (найбільш значимий параметр).

Результати розрахунку вагових коефіцієнтів свідчать про те, що найбільш значимим параметром є відстань від пасажирської станції до станції метрополітену. Координати станцій метрополітену наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Координати станцій метрополітену

Станція метрополітену	Широта, °	Довгота, °	Координати станції у локальній системі координат, м	
			X	Y
1	2	3	4	5
Холодна гора	49,982774	36,182547	5850,52	9204,05
Індустріальна	49,946565	36,399370	21217,82	5177,79
Проспект Перемоги	50,059458	36,201552	7197,49	17730,91
Тракторний завод	49,952079	36,378174	19715,56	5790,92
імені О. С. Масельського	49,957849	36,360648	18473,41	6432,52
Армійська	49,961806	36,343141	17232,60	6872,51
Палац Спорту	49,966251	36,321158	15674,56	7366,77
Московський проспект	49,972221	36,301816	14303,70	8030,61
Завод імені Малишева	49,976007	36,280764	12811,64	8451,59
Спортивна	49,979389	36,261205	11425,40	8827,65
Проспект Гагаріна	49,980963	36,243215	10150,36	9002,67
Майдан Конституції	49,991720	36,232173	9367,76	10198,80
Центральний ринок	49,992782	36,219833	8493,16	10316,89
Південний вокзал	49,989669	36,204984	7440,74	9970,74
Олексіївська	50,050958	36,206326	7535,85	16785,76
23 Серпня	50,035541	36,219973	8503,08	15071,47
Ботанічний сад	50,026065	36,223114	8725,70	14017,79
Наукова	50,012906	36,226975	8999,35	12554,57
Держпром	50,005941	36,231122	9293,27	11780,10
Архітектора Бекетова	49,998446	36,240595	9964,67	10946,69
Захисників України	49,988584	36,264850	11683,74	9850,09
Метробудівників	49,978476	36,262723	11532,99	8726,13
Героїв праці	50,024581	36,335729	16707,28	13852,77

1	2	3	4	5
Студентська	50,017209	36,329543	16268,84	13033,04
Академіка Павлова	50,008931	36,317909	15444,29	12112,57
Академіка Барабашова	50,002381	36,303157	14398,74	11384,25
Київська	50,001200	36,269697	12027,27	11252,93
Пушкінська	50,003886	36,247592	10460,58	11551,59
Університет	50,004184	36,233651	9472,51	11584,73
Історичний музей	49,993270	36,230814	9271,44	10371,15

Таким чином, цільова функція набуває такого вигляду:

$$\begin{aligned} \sum S_B = & 0,1619 \cdot S_{ЦБ}(x_{ПС}, y_{ПС}) + 0,2047 \cdot S_{ЦН}(x_{ПС}, y_{ПС}) + \\ & + 0,1048 \cdot S_{ЦП}(x_{ПС}, y_{ПС}) + 0,2667 \cdot S_M(x_{ПС}, y_{ПС}) + \\ & + 0,1667 \cdot S_{ІР}(x_{ПС}, y_{ПС}) + 0,0952 \cdot S_{ЗІ}(x_{ПС}, y_{ПС}) \rightarrow \min. \end{aligned}$$

Для зменшення обсягу обчислень пропонується обмежити область пошуку раціонального місця розташування пасажирської станції таким чином:  $x_{ПС}^{\min} = 10000$  м,  $x_{ПС}^{\max} = 13500$  м,  $y_{ПС}^{\min} = 9000$  м,  $y_{ПС}^{\max} = 11500$  м.

Результати оптимізаційних розрахунків (див. рисунок) довели, що оптимальним місцем розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів є точка з координатами  $x_{ПС} = 11299$  м,  $y_{ПС} = 9603$  м (49,986366° північної широти і 36,259417° східної довготи). Вказана точка знаходиться за адресою: майдан Захисників України, 7/8 (біля станції метрополітену «Площа повстання»).

**Висновки.** Виконані розрахунки показали, що оптимальним місцем

розміщення пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів є місце, в якому її розміщення є неможливим. Якщо розглядати варіанти розміщення пасажирської станції на місці існуючих станцій залізничного вузла, то слід відзначити, що найближчими станціями до оптимального місця є станції Харків-Левада і Харків-Балашівський. Інші станції і зупинні пункти залізничного вузла знаходяться на значно більшій відстані від оптимального місця. Таким чином, є два альтернативних варіанти спеціалізації станцій Харківського залізничного вузла для обслуговування високошвидкісних поїздів. Для вибору кращого варіанта необхідно виконати детальні техніко-економічні розрахунки.



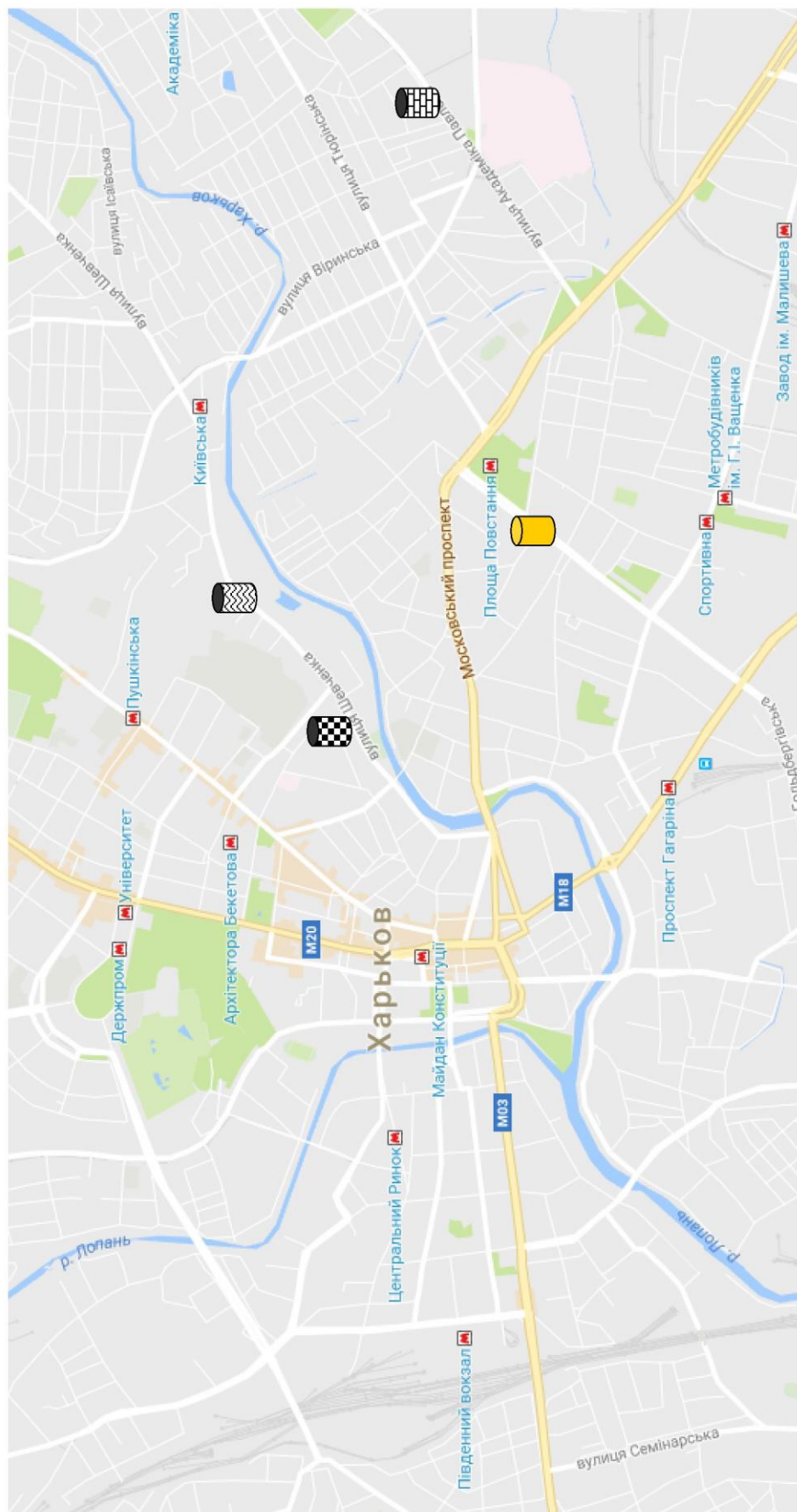






Рис. Результати оптимізаційних розрахунків місця розташування пасажирської станції:

-  – центр бізнесу міста;
-  – центр населеності міста;
-  – центр пам'яток міста;
-  – оптимальне місце розташування пасажирської станції

*Список використаних джерел*

1. Абдуллаев, И. С. Обоснование мероприятий по увеличению пропускной способности пассажирских станций [Текст] : дис. ... канд. техн. наук 05.22.08 / И. С. Абдуллаев. – М., 2016. – 181 с.
2. Бутько, Т. В. Удосконалення підходів щодо розвитку швидкісного і високошвидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України [Текст] / Т. В. Бутько, Л. О. Пархоменко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 2014. – Вип. 4. – С. 14.
3. Переселенков, Г. С. Высокоскоростные железные дороги и надежность пассажирских перевозок [Текст] / Г. С. Переселенков // Развитие системы пассажирских сообщений. – М.: Наука, 1984. – С. 135-148.
4. Розсоха, О. В. Моделювання пасажирських поїздопотоків високошвидкісних залізничних магістралей [Текст] / О. В. Розсоха, В. М. Солонець // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 5-13.
5. Espinosa-Aranda J. High-speed railway scheduling based on user preferences [Text] / J. Espinosa-Aranda [et al.] // European Journal of Operational Research. – 2015, November. – Vol. 246. – P. 772 – 786.
6. Kanafani, A. The Economics of Speed – Assessing the performance of High Speed Rail in Intermodal Transportation / A. Kanafani, R. Wang, A. Griffin // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 8th International Conference on Traffic and Transportation Studies (ICTTS 2012). – Elsevier Ltd, 2012. – Vol. 43. – P. 692-708. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.04.143>
7. Clewlow, R. R. The impact of high-speed rail and low-cost carriers on European air passenger traffic [Text] / R. R. Clewlow, J. M. Sussman, H. Balakrishnan // Transport Policy. – 2014. – Vol. 33. – P. 136-143.
8. Огар, О. М. Математична модель визначення раціонального місця розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у крупному залізничному вузлі [Текст] / О. М. Огар, М. С. Дребот, А. Б. Мумінов // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 166. – С. 23-30.
9. Хамханова, Д. Н. Теоретические основы обеспечения единства экспертных измерений [Текст] / Д. Н. Хамханова. – Улан-Удэ : Изд-во ВСГТУ, 2006. – 170 с.

---

Огар Александр Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: [ogar.07.12@gmail.com](mailto:ogar.07.12@gmail.com).

Кужавський Микола Сергійович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: [ogar.07.12@gmail.com](mailto:ogar.07.12@gmail.com).

Кузнецов Євген Миколайович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: [ogar.07.12@gmail.com](mailto:ogar.07.12@gmail.com).

Наумов Максим Володимирович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: [ogar.07.12@gmail.com](mailto:ogar.07.12@gmail.com).

Ohar Oleksandr, doct. of techn. sciences, professor, chair “Railway stations and junctions“, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: [ogar.07.12@gmail.com](mailto:ogar.07.12@gmail.com).

Kuzhavsky Mykola, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: [ogar.07.12@gmail.com](mailto:ogar.07.12@gmail.com).

Kuznetsov Yevgen, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: [ogar.07.12@gmail.com](mailto:ogar.07.12@gmail.com).

Naumov Maksym, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: [ogar.07.12@gmail.com](mailto:ogar.07.12@gmail.com).

Стаття прийнята 13.10.2017 р.

УДК 629.4.027

## ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКІВ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ ЛОКОМОТИВІВ

Канд. техн. наук Ю. М. Дацун, магістрант С. М. Риндич

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ СОДЕРЖАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ

Канд. техн. наук Ю. Н. Дацун, магістрант С. Н. Риндич

## DETERMINATION OF DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF MAINTENANCE SYSTEM OF LOCOMOTIVES

Cand. of techn. sciences Y. Datsun, master student S. Ryndych

*У статті проводиться визначення індивідуальних стратегій утримання вузлів тепловозів ЧМЕЗ шляхом нечіткої класифікації. Результати вказують на те, що в нинішніх умовах майже не існує альтернативи планово-попереджувальній стратегії утримання. Це пояснюється низьким рівнем контролепридатності вузлів локомотивів та рівнем оснащеності локомотиворемонтних виробництв. Удосконалення системи утримання можливе після якісних змін в галузі отримання та обробки даних щодо фактичного технічного стану та напрацювання вузлів локомотивів.*

**Ключові слова:** локомотив, вузол, система утримання, ремонт, стратегія.

*В статье проводится определение индивидуальных стратегий содержания узлов тепловозов ЧМЭЗ путем нечеткой классификации. Результаты указывают на то, что в нынешних условиях почти не существует альтернативы планово-предупредительной стратегии содержания. Это объясняется низким уровнем контролепригодности узлов локомотивов и уровнем оснащенности локомотиворемонтных производств. Совершенствование системы содержания возможно после качественных изменений в области получения и обработки данных о фактическом техническом состоянии и наработке узлов локомотивов.*

**Ключевые слова:** локомотив, узел, система содержания, ремонт, стратегия.

*An individual strategy for the maintenance of locomotive units based on a risk-oriented approach is defined in the article. The significance of node failures, the frequency of their occurrence, and the possibility of detecting the pre-failure state of each node are taken into account. Definitions of individual strategies for node maintenance are considered as a problem of fuzzy classification. Calculations using the example of the CME3 locomotive have shown that for most systems and nodes planned preventive system matches. It is explained to the low level of controllability of locomotive units and the level of equipment of locomotive repair productions. Improvement of the locomotive maintenance system is possible after solving a number of step-by-step tasks: developing new approaches for diagnosing and monitoring the state of locomotive units using advanced technologies; introduction of automatic control systems for locomotive establishment with data record functions for locomotive units; development and installation of on-board systems for monitoring and diagnosing critical locomotive nodes. The implementation of the proposed directions will let to get information about actual technical condition of the locomotive*

*nodes, to forecast it and to use it to adjust the timing of setting locomotives for maintenance and repair, determine the amount of work required, thereby reducing operating costs and increasing the operational reliability of locomotives.*

**Keywords:** *locomotive, node, maintenance system, repair, strategy.*

**Вступ.** В нинішніх умовах одним з головних завдань, що стоять перед залізничниками, є зниження витрат на перевезення. Локомотивне господарство займає лідируючі позиції за величиною експлуатаційних витрат залізниці. То ж скорочення витрат локомотивного господарства суттєво впливає на зниження експлуатаційних витрат залізниці в цілому. Витрати на утримання локомотивів залежать від ряду чинників: ступеня зношеності локомотивів, умов їх експлуатації, системи та організації ремонту локомотивів, ступеня концентрації та спеціалізації виробництва, організаційно-технічного рівня лінійних виробництв.

В нинішніх умовах фізичного та морального старіння основних фондів локомотивного господарства, зменшення обсягів фінансування питання зниження експлуатаційних витрат постають як ніколи гостро. Невизначеними залишаються перспективи оновлення локомотивного парку, переоснащення базових локомотиворемонтних виробництв, що вимагає пошуку резервів скорочення витрат саме шляхом вдосконалення системи утримання локомотивів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині на залізницях України застосовується планово-попереджувальна система утримання локомотивів [1]. Над вирішенням проблеми удосконалення системи утримання локомотивів працювало багато вчених, зокрема: Боднар Б. Є., Бабанін О. Б., Бутько Т. В., Володін О. І., Голубенко О. Л., Косов Є. Є., Тартаковський Е. Д., Устенко О. В., Четвергов В. О. Більшість робіт було присвячено оптимізації міжремонтних пробігів і обсягів робіт з урахуванням їх фактичного технічного стану локомотивів. Застосування таких підходів в системі

утримання локомотивів, що експлуатуються з вичерпаним ресурсом, не є ефективним. Застосування сучасних гнучких підходів до утримання локомотивів [2, 3, 4] може дати позитивний ефект у підтриманні технічного стану локомотивів та скороченні витрат на їх утримання. Однак дослідження [5] показали, що на процес визначення індивідуальних стратегій утримання вузлів локомотивів значний вплив здійснюють рівень оснащеності ремонтних виробництв, в першу чергу діагностичним обладнанням, та ступінь зношеності локомотивного парку. Це вимагає поетапного підходу до вирішення проблеми.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Мета полягає у визначенні напрямків удосконалення системи утримання локомотивів у нинішніх умовах.

Для цього необхідно визначити індивідуальні стратегії технічного утримання окремих вузлів для умов конкретного локомотивного парку та локомотиворемонтного виробництва. На основі отриманих результатів визначити доцільність застосування сучасних напрямків вдосконалення системи утримання локомотивів.

**Основна частина дослідження.** Визначення індивідуальних стратегій утримання вузлів локомотивів побудовано на ризик-орієнтованих підходах, що враховують значимість відмов вузлів, частоту їх виникнення та можливість виявлення передвідмовного стану кожного вузла. Іншими словами – вид стратегії технічного утримання залежить від особливостей конструкції та показників експлуатаційної надійності вузлів локомотивів, ступеня обладнання локомотивів бортовими, а ремонтних виробництв стаціонарними і переносними засобами діагностування. В [5, 6]

визначення індивідуальних стратегій утримання вузлів розглядається як задача нечіткої класифікації, тобто полягає у виконанні відображення вигляду

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow y \in \{t_1, t_2, \dots, t_m\},$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – вектор інформативних ознак об'єкта класифікації;

$t_1, t_2, \dots, t_m$  – класи рішень класифікатора.

Здатність таких підходів до адаптації вимагає визначення індивідуальних стратегій тільки за даними конкретного

локомотивного парку та ремонтного виробництва. Оцінка індивідуальних характеристик систем та вузлів локомотива проводилась для тепловоза серії ЧМЕЗ, що є найпоширенішим локомотивом залізниць України. Ступінь оснащення локомотиворемонтного виробництва діагностичним та контрольним обладнанням визначався експертним шляхом під час атестації ремонтних виробництв [7, 8]. У результаті нечіткої класифікації (див. таблицю) для більшості систем та вузлів була обрана планово-попереджувальна система (ТВМ).

Таблиця

Визначення індивідуальних стратегій утримання систем та вузлів тепловозів ЧМЕЗ шляхом нечіткої класифікації

Системи та вузли тепловоза	Індивідуальні характеристики відмов систем та вузлів			Стратегія технічного утримання
	значимість	частота	можливість виявлення	
1	2	3	4	5
Колісна пара	HG	FQ	LW	ТВМ
Прилади безпеки	HG	PS	LW	ТВМ
Рама локомотива	SG	RR	LW	ТВМ
Автозчеплення	SG	PS	LW	ТВМ
Тяговий редуктор	SG	PS	LW	ТВМ
Рама візка	SG	RR	LW	ТВМ
Буксові вузли	SG	PS	LW	ТВМ
Гальмівне обладнання	SG	PS	MD	ТВМ
ЦПГ	NS	PS	MD	ТВМ
Кришки циліндрів	NS	FQ	LW	ТВМ
КШМ	NS	PS	MD	ТВМ
Блок дизеля	NS	RR	MD	СВМ
Турбонагнітач	NS	PS	LW	ТВМ
МОП	NS	PS	LW	ТВМ
Гальмівний компресор	NS	PS	MD	ТВМ
Ресорне підвішування	NS	PS	MD	СВМ
Тяговий генератор	NS	RR	MD	СВМ
Система охолодження	NS	FQ	MD	ТВМ
Контрольно-вимірювальні прилади	NS	RR	LW	ТВМ
Система змащування	NS	PS	MD	ТВМ
Тяговий двигун	NS	PS	LW	ТВМ
Секції холодильника	LW	PS	LW	ТВМ

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
Вентилятори охолодження	LW	PS	LW	TBM
Паливна система	LW	PS	LW	TBM
Акумуляторна батарея	LW	PS	LW	TBM
Електричні апарати	LW	PS	MD	RTF
Допоміжні електричні машини	LW	PS	MD	RTF
Система повітрязабезпечення	LW	PS	MD	RTF

Ряд вузлів, що характеризуються низькою кількістю відмов в експлуатації та дозволяють визначати їх передвідмовний стан, можуть утримуватись за фактичним технічним станом (СВМ), частину вузлів, відмова яких не впливає на безпеку руху, рекомендується експлуатувати до відмови (стратегія RTF).

Виходячи з отриманих результатів можна зазначити, що в царині утримання тягового рухомого складу утворилось протиріччя: з одного боку, старіння рухомого складу викликає постійне збільшення витрат на його утримання при збереженні існуючої системи. З іншого боку, низький рівень контролепридатності вузлів локомотивів та рівень оснащення локомотиворемонтних виробництв не дозволяє впровадження більш прогресивних підходів утримання локомотивів.

Таким чином, ефективна реалізація заходів з удосконалення системи утримання локомотивів в сучасних умовах пов'язана з рядом завдань, що можуть вирішуватись поетапно:

1. Розробка нових методів з діагностування та контролю стану вузлів локомотивів із застосуванням прогресивних технологій (лазерних, тепловізійних, віброакустичних тощо).

2. Впровадження автоматизованих систем управління локомотивного господарства з функціями обліку даних по

вузлах локомотивів: дати встановлення на локомотив, дати технічних обслуговувань та ремонтів, напрацювання, відмови, заміри параметрів. Обробка баз даних та прогнозування технічного стану вузлів.

3. Розробка та встановлення бортових систем контролю стану та діагностування критичних вузлів локомотивів.

Реалізація запропонованих етапів дозволить отримувати інформацію про фактичний технічний стан вузлів локомотивів, прогнозувати його зміну та використовувати під час корегування термінів постановки локомотивів на обслуговування та ремонт, визначати обсяги необхідних робіт, тим самим зменшувати експлуатаційні витрати та збільшувати експлуатаційну надійність локомотивів.

**Висновки.** Визначення індивідуальних стратегій утримання вузлів тепловозів ЧМЕЗ шляхом нечіткої класифікації показало, що в нинішніх умовах майже не існує альтернативи планово-попереджувальній стратегії утримання. Це пояснюється низьким рівнем контролепридатності вузлів локомотивів та рівнем оснащення локомотиворемонтних виробництв.

Удосконалення системи утримання можливе після якісних змін у галузі отримання та обробки даних щодо фактичного технічного стану та напрацювання вузлів локомотивів.

*Список використаних джерел*

1. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу [Текст]: наказ №-429-Ц/Од від 15.10.2015 р. – К.: Укрзалізниця, 2015. – 23 с.
2. Tartakovskiy E., Ustenko O., Puzyr V., Datsun Y. Systems Approach to the Organization of Locomotive Maintenance on Ukraine Railways / E. Tartakovskiy, O. Ustenko, V. Puzyr, Y. Datsun // Rail Transport — Systems Approach / Ed. A. Sładkowski. – Cham: Springer, 2017. pp. 217-239. doi: 10.1007/978-3-319-51502-1\_5.
3. Dou F., Zhou W., Long Z. A maintenance strategy for urban maglev train based on RCM/ F. Dou, W. Zhou and Z. Long// IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA). – Hailar, 2014. – p. 1244-1249. doi: 10.1109/ICInfA.2014.6932839.
4. Su R., Zhou L., Tang J. Locomotive Schedule Optimization for Da-qin Heavy Haul Railway [Text] / R. Su, L. Zhou, J. Tang // Mathematical Problems in Engineering. – Vol. 2015. – P. 14. doi:10.1155/2015/607376.
5. Дацун, Ю. М. Дослідження роботи нечіткого класифікатора визначення стратегій технічного обслуговування та ремонту вузлів локомотивів [Текст] / Ю. М. Дацун // Залізничний транспорт України. – 2015. – №5. – С. 51-54.
6. Дацун, Ю. Н. Выбор стратегии технического обслуживания и ремонта локомотивов на основе методов нечеткой логики [Текст] / Ю. Н. Дацун // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Северодонецьк: СХУ, 2015. – №1 (218). – С. 77-80.
7. Дацун, Ю. Оцінка рівня відповідності локомотиворемонтного виробництва [Електронний ресурс] / Ю. Дацун // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2017. – № 3(69). – Режим доступу: doi: 10.15802/stp2017/103937.
8. ЦТ-0162. Положення з атестації підприємств з обслуговування та ремонту тягового рухомого складу [Текст]: затв. держ. адміністр. заліз. трансп. України. 10.10.2007 р. – К.: Укрзалізниця, 2007. – 244 с.

---

Дацун Юрій Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-19-99. E-mail: remlocomot@gmail.com.

Риндич Сергій Миколайович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (050)0400328. E-mail: dsryndych@gmail.com.

Datsun Yurii cand. of techn. sciences, associate professor department of maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-19-99. E-mail: remlocomot@gmail.com.

Ryndych Sergiy, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (050)0400328. E-mail: dsryndych@gmail.com.

Стаття прийнята 13.10.2017 р.

УДК 629.488:519.87

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВУЗЛІВ ВАГОНІВ ШВИДКІСНОГО РУХУ

Канд. техн. наук І. Д. Борзилов, старш. виклад. М. Г. Равлюк,  
магістрант М. С. Князьков

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ВАГОНОВ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Канд. техн. наук И. Д. Борзилов, старш. препод. Н. Г. Равлюк,  
магистрант Н. С. Князьков

## METHODOLOGY FOR DETERMINING BORDER VALUES OF PARAMETERS OF THE TECHNICAL CONDITION OF NODES OF HIGH SPEED WAGONS

Associate professor I. Borzilov, senior lecturer N. Ravlyuk, master N. Knyazkov

*Запропоновано методику визначення граничних значень структурних параметрів функціональних механічних вузлів вагонів швидкісного руху. Визначено, що використовуючи орієнтований граф, що відображає структуру вагона або його вузла в цілому, можна визначити лінійні або лінеаризовані залежності відхилень вихідних даних від відхилень їх вхідних параметрів. З практичної точки зору показані методи та засоби визначення граничних значень контрольованих параметрів вузлів вагонів швидкісного руху.*

**Ключові слова:** вагон, вузол, деталь, модель, структурний параметр, технічний стан, статистичний метод, швидкісний рух.

*Предложена методика определения предельных значений структурных параметров функциональных механических узлов вагонов тополого-вероятностным и статистическим методами. Определено, что, используя ориентированный граф, который отражает структуру вагона или его узла в целом, можно определить линейные или линеаризуемые зависимости отклонений выходных данных от отклонений их входных параметров. С практической точки зрения показаны методы и средства определения предельных значений контролируемых параметров узлов вагонов скоростного движения.*

**Ключевые слова:** вагон, узел, деталь, модель, структурный параметр, техническое состояние, статистический метод, скоростное движение.

*In the process of operation, the structural parameters of the parts change, which leads to a deterioration in the technical condition of the unit and the car as a whole. Changing the structural parameter of the car's detail is accompanied by deterioration of the technical condition of the unit and externally manifested in the occurrence of knocking, noise, vibration and other phenomena that do not yet lead to loss of the operability of the unit, but indicate its malfunction. Gradually accumulating, changes in structural parameters gradually reach such a quantitative boundary, at which a radical, sometimes spasmodic, qualitative change occurs. The limiting value of the structural parameter corresponds to either a complete loss of the operability of the node, that is, the inability to perform its functions, or to a decrease in performance when the further operation of the high-speed car becomes impossible for technical and economic reasons.*

*A technique is proposed for determining the limiting values of the structural parameters of the functional mechanical nodes of cars by means of topological and probabilistic and statistical*



methods. It is determined that, using an oriented graph that reflects the structure of the car or its assembly as a whole, it is possible to determine the linear or linearized dependencies of the output data deviations from the deviations of their input parameters.

From a practical point of view, obtaining the average operating time of the monitored node, with the limiting values of the parameters, is possible with the help of information technology. In the direction of introduction of information technology for determining the limiting values of structural parameters of functional mechanical nodes of high-speed cars, it is proposed to use the system of automated identification of rolling stock.

**Keywords:** car, knot, detail, pattern, structure parameter, the technical condition, Poplar probabilistic method, the statistical method.

**Вступ.** Проблема у визначенні технічного стану вагона полягає у тому, що переходи з одного технічного стану в інший є випадковими подіями і будь-який їх стан характеризується деякою невизначеністю, для розкриття якої необхідно застосовувати різні методики для визначення параметрів технічного стану функціональних вузлів вагонів швидкісного руху. Це обумовлено тим, що функціональні механічні вузли і деталі вагонів швидкісного руху виготовляються за розробленими кресленнями з певними допусками на розмір та дотриманням існуючих технічних умов. Усі ці вузли та деталі при встановленні на вагоні утворюють структуру, тобто конструкцію, яка складається з певної кількості сукупно працюючих функціональних вузлів. У процесі експлуатації структурні параметри деталей змінюються, що призводить до погіршення технічного стану вузла та вагона в цілому. Зміна структурного параметра деталі вагона супроводжується погіршенням технічного стану вузла, звичайно зовні проявляється в появі стуку, шуму, вібрації та інших явищ, які ще не призводять до втрати працездатності вузла, але вказують на його несправність. Накопичуючись, зміни структурних параметрів поступово досягають такої кількісної межі, при якій настає корінна, іноді стрибкоподібна якісна зміна.

Граничне значення структурного параметра відповідає або повній втраті працездатності вузла, тобто неможливості виконувати свої функції, або такому

зниженню експлуатаційних якостей, коли подальша експлуатація вагона швидкісного руху стає неможливою з технічних та економічних міркувань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вирішенню проблеми визначення технічного стану вагонів шляхом встановлення граничних значень параметрів вузлів вагонів присвячені роботи [1, 2], у яких автори пропонують свої напрямки, у яких потрібно прикладати зусилля для забезпечення їх належного технічного стану. Методи та засоби технічного діагностування технічного стану деталей та вузлів вагонів описані в роботах [2, 3]. Математичну модель та алгоритм інформаційної технології виявлення пошкоджень та відмов вагонів подано у роботі [4]. Вирішенню вказаних проблем присвячені й публікації інших авторів [5, 6].

Однак у теперішній час ще не повною мірою описана методика для встановлення граничних значень параметрів вузлів та деталей у процесі експлуатації вагонів стосовно швидкісного руху. Для практичного використання в процесі експлуатації не існує методів та засобів визначення граничних значень контрольованих параметрів вузлів вагонів швидкісного руху.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою дослідження є розроблення методики для встановлення граничних значень параметрів функціональних вузлів вагонів в експлуатації для об'єктивного й однозначного визначення

виду технічного стану вагона швидкісного руху.

Завдання дослідження полягає у встановленні параметрів технічного стану функціональних вузлів вагонів за допомогою створеної методики.

**Основний матеріал.** Зі збільшенням напруження (тривалості або обсягу роботи вузла), що вимірюється в кілометрах пробігу вагона, при досягненні допустимого рівня значення структурного параметра при пробігу  $L_e$  у вузлі виникають несправності; якщо вони не були усунені, то при пробігу  $L_m$  значення структурного параметра сягають граничного рівня й настає відмова (рис. 1).

Таким чином, при значеннях структурного параметра, які містяться між

номінальними та допустимими їх рівнями, можна говорити про їх технічний стан.

Допустиме значення структурного параметра характеризує технічний стан від початкового до проміжного значення, коли складальну одиницю або вузол уже не можна вважати справною, але разом з тим продовження експлуатації вагона або його вузла ще можливе до чергового технічного обслуговування або ремонту, але із зниженими техніко-економічними показниками. Продовження експлуатації вагона призводить до поступового накопичення змін у деталях і вузлах у таких кількостях, що структурні параметри досягають межі, при якій настає корінна, а часом стрибкоподібна їх якісна зміна.

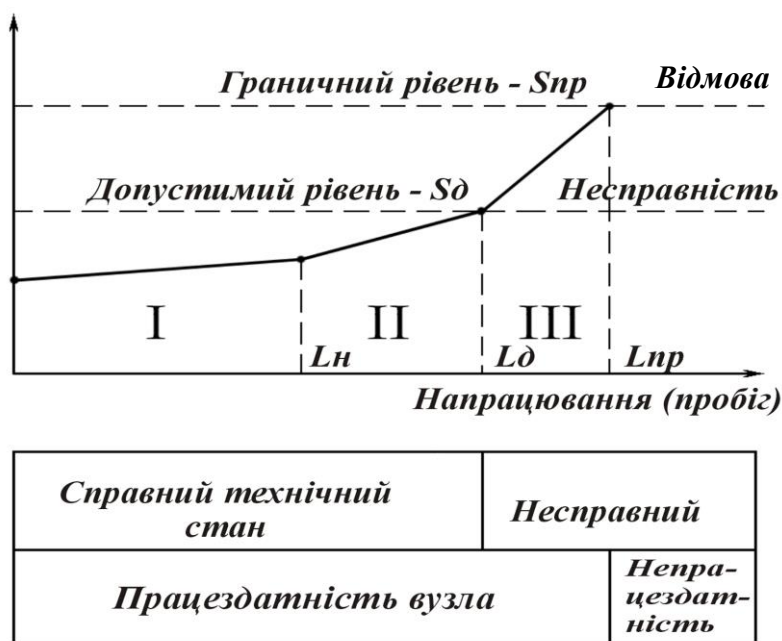


Рис. 1. Залежність технічного стану вузла від тривалості або обсягу роботи вагона

Таким чином, настає граничне значення структурного параметра, яке відповідає повній втраті працездатності вузла, тобто він або повністю перестав виконувати свої функції, або його техніко-економічні властивості знижуються настільки, що подальша експлуатація стає неприпустимою.

Виходячи з цього з метою об'єктивного й однозначного визначення виду технічного стану вагона запропоновано моделі встановлення граничних значень параметрів в експлуатації. При цьому для визначення граничних значень параметрів вагонів усі параметри технічного стану були розділені на дві групи:

- параметри, значення яких однозначно характеризують технічний стан вагона або його вузла (функціональні залежності між параметрами відомі);

- параметри, значення яких неоднозначно характеризують технічний стан вагона (функціональні залежності між параметрами невідомі).

Для вирішення цих завдань передбачено граничні значення параметрів першої групи визначати тополого-імовірним методом, а другий – статистичними методами.

Визначення граничних значень параметрів тополого-імовірним методом проводиться на підставі заданого граничного значення вихідного параметра об'єкта із заданою вірогідністю.

У розрахунках використовуються відносні відхилення параметрів, що визначаються за формулою

$$\delta_i = \frac{\Delta_i}{Z_{in}}, \quad (1)$$

де  $\Delta_i$  – абсолютне відхилення  $i$ -го параметра від його номінального значення,  $Z_{in}$ .

Початковими даними для розрахунку є:

-  $\delta_2$  – задане граничне відхилення вихідного параметра  $\delta_{вих}$ ;

-  $P_3$  – задана вірогідність перебування  $\delta_{вих}$  в межах  $n$ ;

- функціональна схема об'єкта.

Розрахунок за цією методикою пропонується виконувати в нижченаведеній послідовності.

Спочатку перетворюється функціональна схема об'єкта (вагона або його вузла) в орієнтований граф. Вершинами графа є елементи об'єкта діагностування (контролю), а гілками – зв'язки між ними. На графі виділяються поглинаючі елементи, тобто елементи, у яких відхилення вихідного параметра не

залежить від впливу решти елементів, пов'язаних з ним.

Зміну внутрішніх властивостей елемента обумовлює власне відносне відхилення вихідного параметра, яке на графі зображається петлею при вершині  $i$  позначається  $\delta'_i$ .

Далі задаються попередні граничні значення власних відхилень елементів об'єкта  $\delta'_i$ .

Зв'язок між вершинами графа подається за допомогою полюсних рівнянь

$$\delta_i = \sum_{j=1}^n k_j \delta_j + k_i \delta'_i, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де  $k_j$  – коефіцієнт впливу  $j$ -го елемента, пов'язаного з  $i$ -м елементом;

$\delta_j$  – відхилення вихідного параметра  $j$ -го елемента;

$n$  – число елементів, пов'язаних з  $i$ -м елементом;

$\delta'_i$  – власне відхилення вихідного параметра  $i$ -го елемента;

$k_i$  – коефіцієнт впливу зміни внутрішніх властивостей  $i$ -го елемента на власні відхилення його вихідного параметра.

Після цього необхідно подати зв'язок відхилення вихідного параметра об'єкта  $\delta_{вих}$  з відхиленнями параметрів його елементів полюсним рівнянням графа

$$\delta_{вих} = \sum_{i=1}^m \delta_i + k_{вих} \delta'_{вих}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

де  $\delta'_{вих}$  – власне відхилення вихідного параметра об'єкта;

$\delta_i$  – відхилення вихідного параметра  $i$ -го елемента;

$m$  – число елементів об'єкта, відображених на графі;

$k_{вих}$  – коефіцієнт впливу зміни внутрішніх властивостей вихідного елемента об'єкта на відхилення його вихідного параметра.

Далі необхідно обчислити максимальне відхилення вихідного параметра об'єкта  $\delta_{вих}^{\max}$  на основі принципу розрахунку "як найгірший випадок". Для цього у формулу (3) потрібно підставити попередні граничні значення власних відхилень параметрів елементів  $\delta_n'$ .

Використовуючи отриману величину  $\delta_{вих}^{\max}$ , будують криву розподілу відхилення  $\delta_{вих}$  за допомогою "правила трьох СІГМ"

$$\sigma_{вих} = \frac{1}{3} \delta_{вих}^{\max}, \quad (4)$$

де  $\sigma_{вих}$  – середньоквадратичне відхилення вихідного параметра.

Максимальне значення щільності вірогідності відхилення вихідного параметра  $f(\delta_{вих}^{\max})$  визначається з виразу

$$f(\delta_{вих}^{\max}) = \frac{1}{\sigma_{вих} \sqrt{2\pi}}. \quad (5)$$

Далі визначаються значення  $n$ , відповідні заданим  $\delta_n$ , і вірогідність перебування  $n$  у заданих межах з виразу

$$P = \frac{S_{\delta}}{S_0}, \quad (6)$$

де  $S_{\delta}$  – площа, обмежена кривою  $f(t_{вих})$  і ординатами в точках  $n$ ;

$S_0$  – загальна площа під кривою  $f(t_{вих})$ .

Після цього порівнюють знайдену вірогідність  $P$  із заданою  $p_3$ . При  $P = p_3$  задані попередні граничні значення власних відхилень  $\delta_i'$  елементів об'єкта приймаються за шукані. При  $P \neq p_3$  значення  $\delta_i'$  коректуються до отримання рівності  $P = p_3$ . При цьому значення  $\delta_i'$  збільшують при  $P > p_3$  і зменшують при  $P < p_3$ .

Граничні значення параметрів елементів об'єкта визначають за формулою

$$|Z_{im}| = |Z_{in}| + |\Delta_i|, \quad (7)$$

де  $|Z_{im}|$  – максимальне значення параметра;

$|Z_{in}|$  – номінальне значення параметра.

Статистичні методи застосовуються за наявності обсягу статистичних даних, достатнього для побудови розподілів щільності вірогідності значень параметра для працездатного і непрацездатного станів об'єкта (рис. 2).

Якщо області значень параметрів обох станів перетинаються, то при визначенні граничних значень параметрів виникають помилки діагностування видів технічного стану вагонів (рис. 2, а).

Якщо між структурними та вихідними параметрами залежність лінійна (2), то вона повністю відповідає вимогам однозначності, тому що кожному значенню структурного параметра  $S_2$  відповідає одне значення вихідного параметра  $D_2$  (рис. 2, б) Для залежності по кривій (1) вимога однозначності не виконується, тому що одному значенню параметра  $D_1$  відповідає два значення  $S'_1$  та  $S''_2$  структурного параметра.

З двох (1) та (2) лінійних залежностей (рис. 2, б) вихідного параметра від структурного видно, що при одній і тій самій зміні  $\Delta S$  вихідний параметр  $D_1$  змінюється більш ніж  $D_2$ , тобто  $\Delta D_1 > \Delta D_2$ . Звідси випливає, що параметр  $D_1$  чутливіший від параметра  $D_2$  і за його зміною легше та точніше можна уловити зміну структурного параметра.

Таким чином, не кожен вихідний параметр може стати діагностичним, тобто використовуватися при проведенні операції контролю (діагностування). Для цього параметр має відповідати однозначності, чутливості та доступності і зручності виміру параметра.

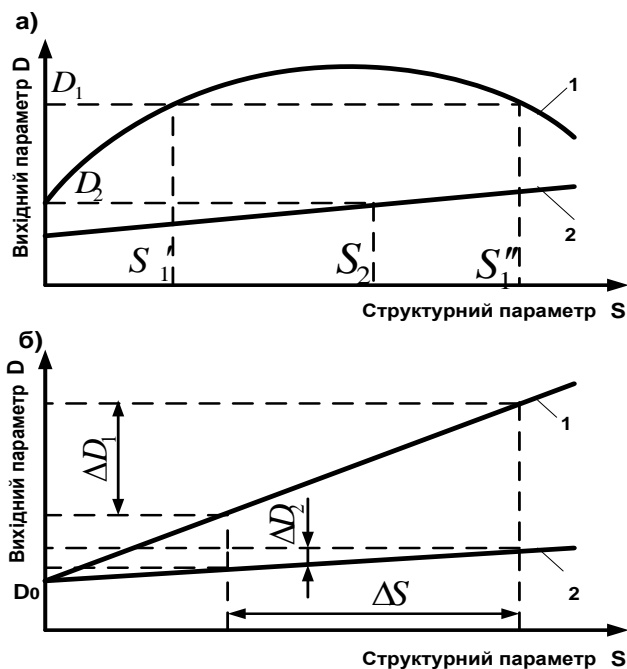


Рис. 2. Графіки залежності параметра вихідного процесу від величини структурного параметра

Тому в процесі діагностування вузлів вагона швидкісного руху необхідно використовувати різноманітні засоби, які задають або підтримують режим роботи об'єктів, найбільш сприятливі з точки зору інформативності діагностичного параметра, що вимірюється, і відповідно оптимальні для установаження діагнозу.

Отримання середньостатистичного напрацювання вузла, що контролюється, до граничних значень параметрів, коли подальша експлуатація вагона швидкісного руху стає неможливою з технічних та економічних міркувань, можливо за допомогою інформаційних технологій.

Крім того, при переході на інформаційну технологію можна очікувати економії трудових ресурсів, що задіяні в технічному обслуговуванні вагонів швидкісного руху. Відкриваються також можливості впровадження системи технічного обслуговування на абсолютно нових принципах організації. Така форма організації технічного обслуговування є оптимальною з точки зору й економії трудових та матеріальних ресурсів і

забезпечення безпеки руху поїздів. Більш того, з реалізацією інформаційної технології зміниться на краще й сама структура керування технічним обслуговуванням вагонів.

У напрямку впровадження інформаційної технології для визначення граничних значень структурних параметрів функціональних механічних вузлів вагонів швидкісного руху необхідно задіяти систему автоматизованої ідентифікації рухомого складу (САІРС-УЗ).

**Висновки.** За допомогою створеної методики є можливість установити параметри технічного стану функціональних вузлів вагонів для визначення граничних значень контрольованих параметрів, щоб своєчасно визначити технічний стан вагона.

Перспективи та подальший розвиток у даному напрямку полягають у тому, щоб розробити методи контролю технічного стану вагонів у процесі експлуатації чи під час виконання планового ремонту та визначити засоби для їх реалізації.

*Список використаних джерел*

1. Равлюк, В. Г. Визначення технічного стану буксових підшипників рухомого складу шляхом вібродіагностування [Текст] / В. Г. Равлюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Вып. 2/7 (74). – С. 11-15.
2. Борзилов, І. Д. Визначення діагностичних ознак технічного стану елементів підшипників кочення буксових вузлів рухомого складу [Текст] / І. Д. Борзилов, В. Г. Равлюк // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2008. – Вип. 15. – С. 100-105.
3. Розробка електронної діагностичної системи для підвищення достовірності діагностування гальм пасажирських вагонів [Текст] / В. Г. Равлюк, Я. В. Дерев'янчук, І. М. Афанасенко, М. Г. Равлюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – Вып. 2/9 (80). – С. 35-41.
4. Борзилов, І. Д. Математична модель та алгоритм інформаційної технології виявлення пошкоджень та відмов вагонів [Текст] / І. Д. Борзилов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 2007. – № 3 (65). – С. 35-37.
5. Vartin, N. Close shock detection using time-frequency Prony modeling [Text] / N. Vartin, P. Jaussaud, F. Combet. Mechanical Systems and Signal Processing 18 (2004). – P. 235-261.
6. Loutridis, S. J. Instantaneous energy density as a feature for gear fault detection [Text] / S. J. Loutridis. Mechanical Systems and Signal Processing 20 (2006). – P. 1239-1253.

---

Борзилов Іван Дмитрович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: borzilov49@gmail.com.

Равлюк Микола Григорович, старший викладач кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: ravvg@ukr.net.

Князьков Микита Сергійович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту групи МЗ-ТЕМПУС-16-В. E-mail: knyazkovn1992@gmail.com.

Borzilov Ivan, Cand.Tech. Sci., The senior lecturer of chair of cars, mechanics-power faculty, the Ukrainian state university of a railway transportation. E-mail: borzilov49@gmail.com.

Nikolai Ravlyuk, Senior Lecturer, Chair of Wagons, Mechanics and Power Engineering Faculty, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: ravvg@ukr.net.

Knyazkov Nikita, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport of the MZ-TEMPUS-16-V group. E-mail: knyazkovn1992@gmail.com.

Стаття прийнята 18.10.2017 р.

УДК 656.025.2

**УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРИМІСЬКИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗА РАХУНОК ЗМІНИ КІЛЬКОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ СЕКЦІЙ**

Канд. техн. наук Ю. В. Шульдінер, магістранти Р. О. Зінчук, Н. Ю. Гейнріхсон

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИГОРОДНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ПАССАЖИРСКИХ СЕКЦИЙ**

Канд. техн. наук Ю. В. Шульдинер, магистранты Р. О. Зинчук, Н. Ю. Гейнрихсон

**IMPROVING THE ORGANIZATION OF PRIVATE TRANSPORT AT THE AMOUNT OF CHANGING THE SIZE OF PASSENGER SECTIONS**

Cand. of techn. sciences Y. Shuldiner, master student R. O. Zinchuk, N. Y. Geinrihkson

*Проведено аналіз руху приміських поїздів по станціях Харківського та Сумського вузлів. Виявлено, що приміські поїзди займають велику частину часу з усіх поїздів у добовому графіку руху поїздів (ГРП). Установлено, що пасажиропотік заповнює приміські поїзди лише на половину. Розроблено пропозиції підв'язки цих електропоїздів з можливістю зменшення їх на перегоні за рахунок пересадки пасажирів на станціях Люботин та Нова Баварія з метою удосконалення організації приміських перевезень по цих станціях та підвищення пропускної спроможності перегону в цілому.*

**Ключові слова:** ГРП, удосконалення, організація, приміські перевезення, пасажир, пропуск, спроможність.

*Проведен анализ движения пригородных поездов по станциям Харьковского и Сумского узлов. Выявлено, что пригородные поезда занимают большую часть времени из всех поездов в суточном графике движения поездов (ГДП). Установлено, что пассажиропоток заполняет пригородные поезда только на половину. Разработаны предложения подвязки данных электропоездов с возможностью уменьшения их количества на перегоне за счет пересадки пассажиров на станциях Люботин и Новая Бавария с целью усовершенствования организации пригородных перевозок по данным станциям и повышения пропускной способности перегона в целом.*

**Ключевые слова:** ГДП, совершенствование, организация, пригородные перевозки, пассажиры, пропуск, способность.

*The analysis of the traffic of suburban trains on the stations of Kharkiv and Sumy units was carried out. It was discovered that suburban trains occupy most of the time from all trains in the daily schedule of trains (GRP).*

*In order to increase the passage of freight trains, the number of which increases (according to the forecast data freight traffic increases), in this process, it is necessary to reduce the number of suburban trains. According to observations, it was found that wagons are filled by passengers by 35-45%, which indicates that the rolling stock is not rational. The offerings of the data trains of the electric trains with the possibility of reducing them on the runway due to the transfer of passengers at Lubotin and Novaya Bavaria stations were developed with the aim of improving the organization*

of suburban transportation by these stations and increasing the capacity of the runway to the whole.

**Key words:** TS, perfection, organization, suburban, passengers, transportation, pass, ability.

**Вступ.** Важливою є роль залізниць як складової базової галузі держави. Залізничний пасажирський транспорт сприяє розвитку як окремих галузей промисловості України, так і прискоренню темпів зростання загальнонаціонального промислового виробництва. На ринку паса-

жирських перевезень залізниці працюють у трьох основних напрямках, а саме:

- у міжнародному напрямку;
- внутрішньому далекому;
- приміському [1].

Графічна інтерпретація наведена на рис. 1.



Рис. 1. Основні напрямки роботи залізниць на ринку пасажирських перевезень

Останнім часом є актуальним пошук нових шляхів ефективної організації приміських перевезень, що характеризуються значною сезонною та добовою нерівномірністю і значною погодинною нерівномірністю у межах доби. Планування приміського руху відбувається без урахування існуючого коливання попиту на перевезення, визначення кількості схем обертання та складності поїздів, а здійснюється виходячи із обсягів перевезень відповідного періоду минулого року і не враховує поточних умов, що можуть змінюватися. В умовах сучасного ринку, соціальної спрямованості та суттєвої збитковості приміських залізничних пасажирських перевезень спостерігається тенденція до витіснення їх автомобільним транспортом на багатьох напрямках руху.

Для підвищення економічної ефективності пасажирських приміських перевезень необхідно здійснити коригування організації приміського руху залежно від величини пасажиропотоку, з урахуванням раціонального використання рухомого складу в умовах його дефіциту, що визначає актуальність обраного напрямку дослідження [3, 4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Указану проблему у різні часи вирішували вітчизняні та закордонні науковці: економісти, фахівці з управління процесами перевезень, менеджери та управлінці з логістики. У попередніх дослідженнях учені встановили проблемоутворюючі фактори, що призводять до системних кризових явищ у функціонуванні приміського пасажирського залізничного транспорту, і зробили



висновки про можливість поліпшення економічного стану цієї галузі тільки на основі комплексного підходу, який охоплює організаційно-економічні, соціально-економічні та фінансово-економічні аспекти її адаптації до ринкових умов. У попередніх дослідженнях недостатньо уваги приділялося технології функціонування приміських пасажирських перевезень та технічним можливостям удосконалення графіка руху поїздів з урахуванням звільненого часу для пропуску вантажних рухомих складів [2, 6, 7].

**Визначення мети та завдання дослідження.** Для підвищення рентабельності й зменшення збитковості приміських перевезень слід використати нові підходи до організації доставки пасажиропотоку. Метою роботи є впровадження ефективної організації приміського руху залежно від величини пасажиропотоку з урахуванням раціонального використання рухомого складу в умовах його дефіциту та звільнення часу у ГРП для пропуску вантажного рухомого складу за умов зростання вантажопотоку.

Основними завданнями при дослідженні питання удосконалення приміського руху є:

- проведення аналізу перспективи розвитку організації приміських перевезень по станціях Нова Баварія та Люботин;

- визначення загальних факторів впливу системи пропуску приміських поїздів по станції на загальний пропуск пасажирських та вантажних поїздів;

- формалізація вихідних даних моделювання процесу пропуску рухомого складу по станціях, формування заходів з удосконалення роботи з приміськими поїздами та побудова математичної моделі процесу пропуску приміського ЕРС для отримання експериментальних даних відносно доцільності відповідних нововведень і оцінки теоретичних висновків на практиці.

**Основна частина.** Функціонування сектора приміських перевезень при такій організації, як зараз, приречено на збитковість. Хоча така особливість роботи залізничного транспорту обумовлюється громадською соціальною роллю залізниці, яку вона відіграє вже довгі роки як найбільш доступний, надійний і стабільно працюючий вид транспорту. Приміський транспорт з давніх часів мав функцію доставки працівників, що працювали на державних підприємствах, з околиць міста до підприємств та повернення їх додому з роботи. На сьогодні потреба доставки робітників значно нижча, ніж за радянських часів. У зв'язку з цим соціальна значущість приміських перевезень втратила свою актуальність [5, 7, 8].

За статистичними даними збитки Укрзалізниці (УЗ) від перевезень пасажирів у приміському сполученні за період з 2010 по 2016 роки порівняно з минулими зросли майже на 32 % і досягли 3,8 млрд грн (рис. 2). При цьому власне покриття збитків за рахунок прибутків від приміських перевезень на сьогодні складає не більше 20 %. Залишок збитків – 80 % Укрзалізниця покриває за рахунок перехресного фінансування з прибутків вантажних перевезень, що призводить до гальмування розвитку галузі через втрату коштів та ресурсів [2].

Вихідними даними дослідження є статистичні дані приміських перевезень по станціях Нова Баварія та Люботин. За характером роботи станція Нова Баварія належить до проміжної, а за обсягом роботи – до II класу. На станції здійснюється продаж пасажирських квитків. Безпосередньо до станції примикають 6 перегонів. До станції Люботин примикають 4 перегони. Вона є дільничною, а за обсягом роботи – II класу. Станція Люботин забезпечує організацію перевезень пасажирів, вантажу у взаємодії з іншими структурними підрозділами залізниці, що задіяні в експлуатаційній діяльності станції. Ці станції відіграють

важливу роль у вантажній роботі Південної залізниці, оскільки через них переважно проходять основні маршрути вантажних поїздів у напрямку Полтави та на сортувальну станцію Основа.

Проаналізувавши кількість вантажних та пасажирських поїздів, що проходять по даних станціях (таблиця) встановлено, що значну частину на дільниці займають приміські поїзди (рис. 3), а саме 24 % з усіх поїздів.

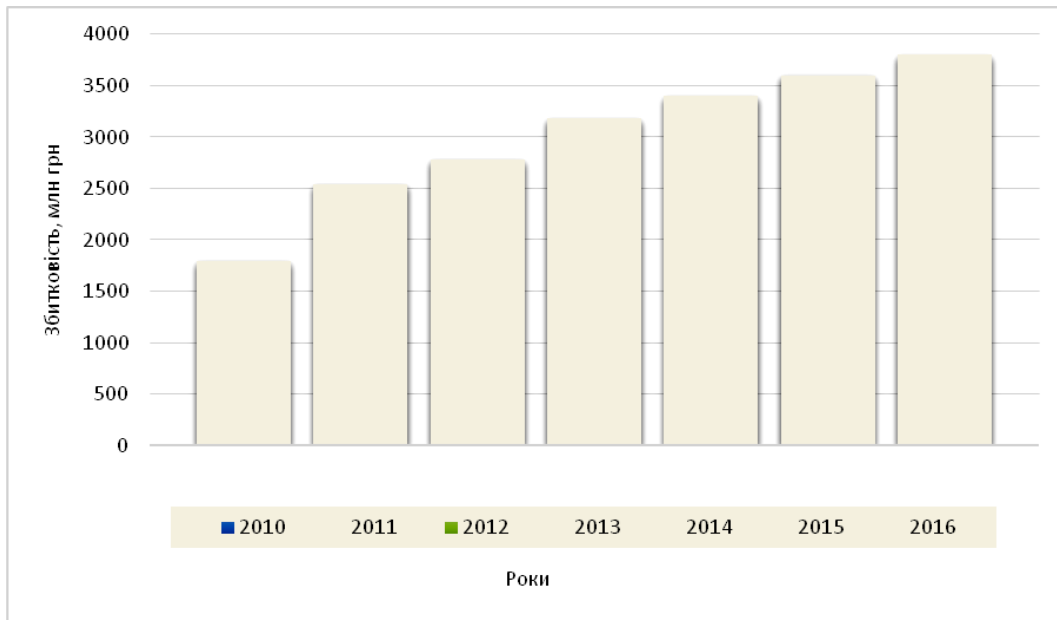


Рис. 2. Динаміка зростання збитковості перевезень пасажирів у приміському сполученні по УЗ за 2010-2016 рр., млн грн

Таблиця

Кількість поїздів на дільниці Нова Баварія - Люботин

Напрямок		З Нової Баварії на Люботин	З Люботина на Нову Баварію
Вантажні	Транзит без переробки	37	31
	Збірні	1	2
<b>Всього вантажних</b>		<b>38</b>	<b>33</b>
Напрямок		З Нової Баварії на Люботин	З Люботина на Нову Баварію
Пасажирські	Далекого	25	24
	Приміського	18	21
<b>Всього пасажирських</b>		<b>43</b>	<b>45</b>

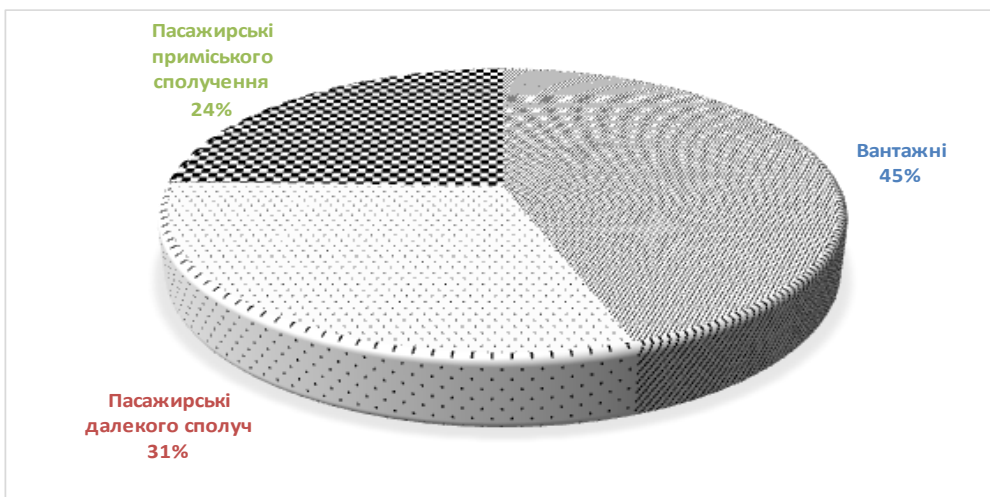


Рис. 3. Загальна кількість поїздів на дільниці Нова Баварія - Люботин за добу

Для того, щоб збільшити пропуск вантажних поїздів, кількість яких зростає (за прогнозними даними вантажопотік збільшується), на цьому перегоні потрібно зменшити кількість приміських поїздів. За статистичними спостереженнями було виявлено, що вагони заповнені пасажирами на 35-45 %, що свідчить про нераціональне використання рухомого складу. У роботі запропоновано більш раціональний варіант курсування приміських поїздів по цих дільницях з використанням пересадки

пасажирів з прилеглих перегонів на станції Нова Баварія та Люботин з максимально ефективним заповненням рухомого складу.

Для аналізу послідовності проходження технологічних операцій при удосконаленні ГРП доцільно розробити імітаційну модель організації приміських маршрутів, яка являє собою графічний та математичний засіб моделювання, що застосовується до систем керування та прогнозування різних типів (рис. 4).

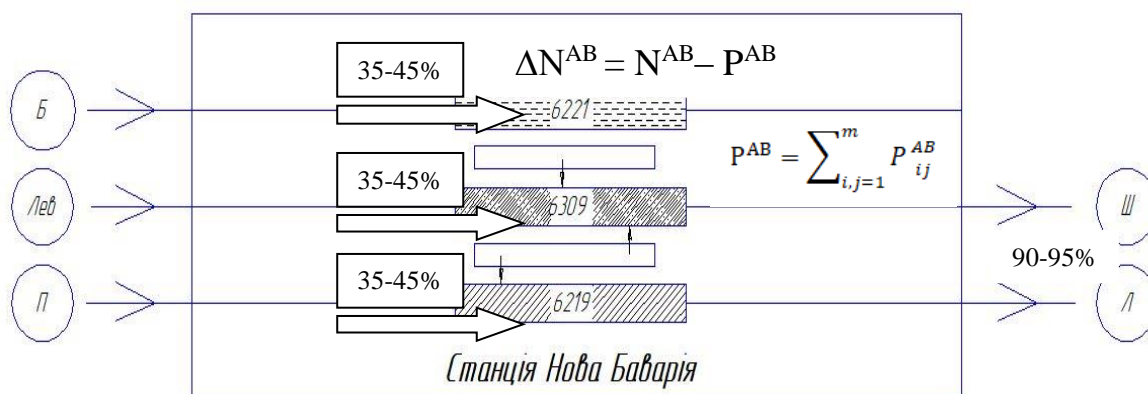


Рис. 4. Фрагмент моделі, що відображає організацію приміських пасажирських перевезень по станції Нова Баварія

За результатами моделювання було покращено вхідні параметри моделі, що визначаються як рівень можливого обсягу

руху [9]. Виходячи з розрахунків (формули (1) – (3)), отримані результати також можна реалізувати на деякій дільниці А-В понад

фактичні розміри, що визначається різницею між пропускною спроможністю деякої дільниці А-В та фактичними розмірами руху.

$$\Delta N^{AB} = N^{AB} - P^{AB}; \quad (1)$$

$$P^{AB} = \sum_{i,j=1}^m P_{ij}^{AB}; \quad (2)$$

$$N^{AB} = \frac{a_n(1440 - T_B)}{T_{Пер}}; \quad (3)$$

де  $N^{AB}$  – пропускна спроможність деякої дільниці А-В;

$P^{AB}$  – фактичні розміри руху деякої дільниці А-В;

$P_{ij}^{AB}$  – певна нитка ГРП з відправленням з А у і-й час та прибуттям на В у j-й;

$a_n$  – коефіцієнт надійності, що враховує можливі порушення в системі руху поїздів;

$T_B$  – час на виконання операцій утримання споруд та пристроїв перегону в умовах надання вікна, хв;

$T_{Пер}$  – період графіка руху поїздів на деякій дільниці А-В.

За результатами розрахунків, зробивши пересадку пасажирів з поїздів № 6219 на поїзд № 6907 та з поїздів № 6221, № 6309 на № 6219, що вказано заштрихованою лінією на фрагменті ГРП, після удосконалення організації приміського руху звільнено біля однієї години для пропуску вантажних поїздів на перегоні Нова Баварія - Люботин (рис. 5, 6).

Відповідно поїзд № 6219 зі станції Харків-Пасажирський прямуватиме до Люботина, поїзд № 6309 зі станції Харків-Левада прямуватиме на Шпаківку й далі на Золочів, а електропоїзд № 6221 зі станції Харків-Балашівський вільний і буде використаний у зворотному напрямку при пересадці пасажирів з Люботина та Золочева.

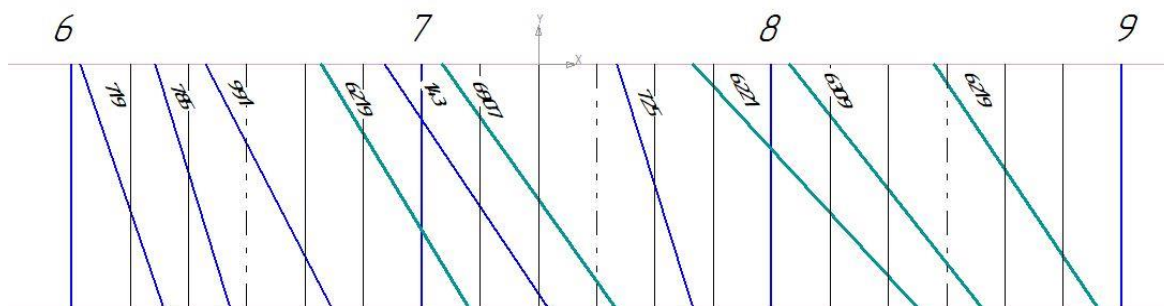


Рис. 5. Фрагмент графіка руху поїздів між станціями Нова Баварія та Люботин

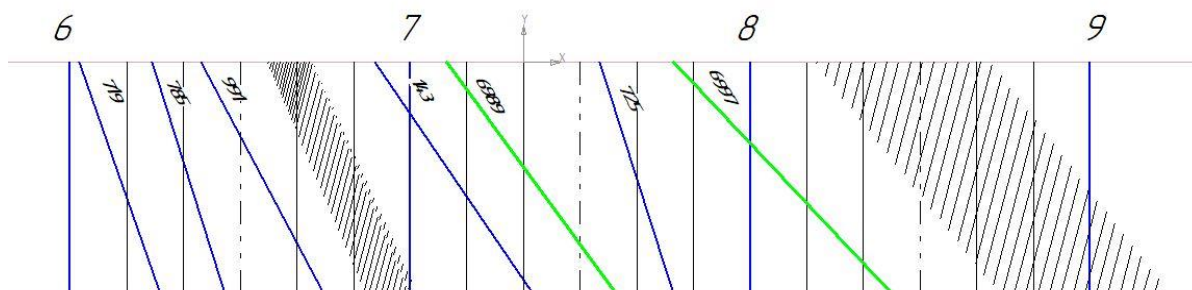


Рис. 6. Фрагмент графіка руху поїздів між станціями Нова Баварія та Люботин після запропонованих удосконалень

**Висновки.** Після втілення запропонованих удосконалень підвищено пропускну спроможність цього перегону та зменшено простій вантажних поїздів, що у свою чергу дасть змогу знизити фінансові витрати. Відповідно за новим графіком можливо пропустити два великовагових довгосоставних вантажних поїзди. Також

вдалось зменшити кількість приміських поїздів, що обертаються на дільниці на одну одиницю. За результатами дослідження запропоновано раціональне використання рухомого складу із максимальним заповненням пасажирами вагонів (за попередніми розрахунками 80-95 %).

### Список використаних джерел

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс]: розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-р – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>.
2. Константінов, Д. В. Формування адаптивної технології приміських залізничних перевезень [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Д. В. Константінов; Укр. держ. акад. зал. т-ту. – Харків, 2010. – 215 с.
3. Шульдінер, Ю. В. Інтеграція Українських пасажирських швидкісних перевезень до міжнародної транспортної мережі [Текст] / Ю. В. Шульдінер, В. М. Кальян // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 162. – С. 95-101.
4. Аксёнов, И. М. Логистика в сфере пассажирских перевозок [Текст] / И. М. Аксёнов // Заліз. трансп. України. - 2004. - № 2. - С. 52-58.
5. Аксьонов І. М. Роль стратегічного маркетингу в плануванні, прогнозуванні та у збільшенні прибутку від пасажирських перевезень [Текст] І. М. Аксьонов // Заліз. трансп. України. – 2006. – № 6. – С. 99-102.
6. Балака, Є. І. Соціальна значущість приміських залізничних перевезень у різних соціальних умовах [Текст] / Є. І. Балака. О. В. Семенцова // Заліз. трансп. України. – 2007. – № 4. – С. 85-88.
7. Семенцова, О. В. Економічні аспекти адаптації приміського пасажирського залізничного транспорту до ринкових умов [Текст] : автореф. дис. ... канд. екон. наук / О. В. Семенцова; Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків, 2010. – 248 с.
8. Lamotte R. The morning commute in urban areas with heterogeneous trip lengths [Text] / Raphaël Lamotte, Nikolas Geroliminis // Transportation Research Procedia. - Vol. 23. – 2017. – P. 591-611.
9. Train timetabling by skip-stop planning in highly congested lines [Text] / Feng Jiang, Valentina Cacchiani, Paolo Toth - Transportation Research Procedia. – Vol. 104. – 2017. – P. 149-174.

---

Шульдінер Юлія Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (050)982-65-60.  
E-mail: [julia.shuldiner@ukr.net](mailto:julia.shuldiner@ukr.net).

Зінчук Роман Олегович, магістр Українського державного університету залізничного транспорту.  
Тел. (095) 791 17 63. E-mail: [romik2012@gmail.com](mailto:romik2012@gmail.com).

Гейнрихсон Ніна Юріївна, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту (ІППК). Тел.(095) 056 4662. E-mail: [56194@ukr.net](mailto:56194@ukr.net).

Shuldiner Yulia Volodymyrivna, Ph. D., associate Professor of the Office of transport system and logistic of the Ukrainian state University of railway transport. Tel. (050)982-65-60. E-mail: [julia.shuldiner@ukr.net](mailto:julia.shuldiner@ukr.net).

Zinchuk Roman, master student Ukrainian state University of railway transport. Tel. 095 791 17 63.  
E-mail: [romik2012@gmail.com](mailto:romik2012@gmail.com).

Geinrihkson Nina, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian state University of railway transport (IPPK).  
Tel. (067) 578 00 50. E-mail: [56194@ukr.net](mailto:56194@ukr.net).

Стаття прийнята 20.10.2017 р.

УДК:629.4.027

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКА ВІДПОВІДНОСТІ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Канд. техн. наук Ю. М. Дацун, магістрант Є. В. Беженар

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ СООТВЕТСТВИЯ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Канд. техн. наук Ю. Н. Дацун, магістрант Е. В. Беженар

## RESEARCHING OF THE CONFORMANCE RATING FOR LOCOMOTIVE REPAIR PRODUCTION

Cand. of techn. sciences Y. Datsun, master student E. Begenar

*Проаналізовано структуру показника відповідності локомотиворемонтного виробництва, що визначається як потрійна адитивна згортка ряду критеріїв. Водночас ураховано: ступінь впливу невідповідностей на технологічний процес ремонту, вагомість технологічних процесів ремонту, вагомість компонентів ремонтного виробництва та значущість відмов вузлів локомотивів. Визначено критичні значення критеріїв показника відповідності, тобто ті, що можуть бути причиною тяжких наслідків у разі відмови відремонтованого локомотива в експлуатації. Установлено, що критичний діапазон вагомості однієї невідповідності виробництва лежить у межах 0,012 - 0,063. Отже, допустимими значеннями показника відповідності локомотиворемонтного виробництва є 0,988 - 1.*

**Ключові слова:** локомотив, вузол, показник, відповідність, ремонт, вагомість.

*Проведен анализ структуры показателя соответствия локомотиворемонтного производства, который определяется как тройная аддитивная свертка ряда критериев. При этом учитывается: степень влияния несоответствий на технологический процесс ремонта, значимость технологических процессов ремонта, значимость компонентов ремонтного производства и значимость отказов узлов локомотивов. Определены критические значения критериев показателя соответствия, то есть те, которые могут быть причиной тяжелых последствий при отказе отремонтированного локомотива в эксплуатации. Установлено, что критический диапазон весомости одного несоответствия производства лежит в пределах 0,012 - 0,063. А допустимыми значениями показателя соответствия локомотиворемонтного производства являются 0,988 - 1.*

**Ключевые слова:** локомотив, узел, показатель, соответствие, ремонт, весомость.

*The determination of the conformance rating of locomotive repair production is associated with the formalization of expert statements obtained during its survey. In the article the structure of the compliance indicator of locomotive repair production is analyzed, which is defined as the triple additive convolution of a number of criteria. Herewith it is taken into account: the rate of influence of nonconformities on the technological process of repair, the significance of technological repair processes, the significance of components of repair production and the significance of failures of locomotive units. Analysis of data of survey of locomotive repair productions shows that the total number of identified nonconformities lies in the range of 20-30. Herewith the most negative influence will have nonconformities, which are characterized by the maximum values of the criteria.*

*In the article the critical values of the criteria for the conformance rating are defined, that is, those that can be a prerequisite for severe consequences if the repaired locomotive fails in exploitation. It is determined that the critical range of the weight of only nonconformity of production lies in the range of 0.012-0.063. And the acceptable values of the conformance rating of locomotive repair productions are 0.988 - 1.*

**Keywords:** locomotive, node, rating, conformance, repair, weight.

**Вступ.** Залізничний транспорт є однією з найважливіших складових транспортно-логістичного комплексу, що відіграє значну роль у забезпеченні життєдіяльності багатогалузевої економіки країни, яка перебуває на стадії реформування та інтеграції в систему європейських зв'язків.

Провідною ланкою технологічного ланцюга процесу перевезень є локомотивне господарство, злагоджена робота якого формує такі якісні параметри транспортних послуг, як безпека, ритмічність, надійність.

Надійність локомотивів в експлуатації забезпечується якістю технічних обслуговувань та ремонтів, що залежать від організаційно-технічного рівня ремонтних виробництв. Підприємства, що здійснюють утримання локомотивів української залізниці різняться за рівнем технічного оснащення, забезпеченням виробничими площами, персоналом, документацією. Необхідність оцінювання фактичного технічного рівня ремонтних виробництв у теперішніх умовах є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оцінювання технічного рівня локомотиворемонтних виробництв України здійснюється в рамках спеціальної процедури, яку проводить Департамент локомотивного господарства [1]. Основою такого оцінювання є оперування експертними твердженнями, що може викликати суб'єктивність прийнятих рішень. Широко відомий метод формалізації експертних тверджень у процесі аналізу видів і наслідків потенційних невідповідностей процесу (PFMEA) [2-4] для розрахунків використовує добуток складових у порядковій (ранговій) шкалі. Що, з точки зору теорії вимірів, не є коректним, а отже,

може бути причиною викривлення результатів. Застосування вагових коефіцієнтів для розрахунку показника відповідності ремонтного виробництва дало змогу отримати більш адекватні результати, що добре корелюють з витратами на утримання локомотивів [5, 6]. Застосування означеного показника дає змогу встановлювати пріоритети в процесі формування програми дооснащення виробництв, однак відсутність даних щодо допустимих його значень потребує додаткових досліджень.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Дослідити показник відповідності локомотиворемонтного виробництва для визначення його допустимих значень.

Для цього необхідно проаналізувати структуру визначення показника відповідності, визначити критичні значення критеріїв, обчислити допустимі значення показника відповідності.

**Основна частина дослідження.** Визначення показника відповідності локомотиворемонтного виробництва пов'язане з формалізацією експертних тверджень, отриманих у процесі його обстеження [5, 7]. Водночас ураховується ряд критеріїв, що характеризують: ступінь впливу невідповідностей на технологічний процес ремонту  $\lambda_i$ , вагомість технологічних процесів ремонту  $x_i$ , вагомість компонентів ремонтного виробництва  $\gamma_k$  та значущість відмов вузлів локомотивів  $\alpha_j$  (рис. 1).

Аналіз даних обстежень локомотиворемонтних виробництв, які проводять ремонт в обсязі ПР-3, показує, що загальна кількість виявлених невідповідностей лежить у межах 20-30.

Природно, що найбільший негативний вплив матимуть невідповідності, які характеризуються максимальними значеннями критеріїв (таблиця). Тобто визначення допустимих значень показника відповідності ремонтного виробництва пов'язано з оцінюванням кожного

критерію, що враховується під час його обчислення. На основі робіт [5, 6] визначалися такі значення критеріїв показника відповідності, що можуть бути причиною тяжких наслідків у разі відмови відремонтованого локомотива в експлуатації.

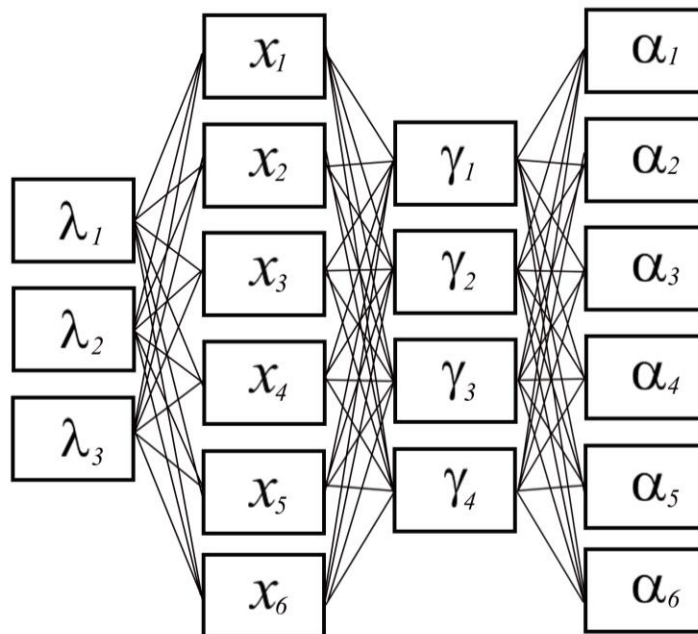


Рис. 1. Структурна схема визначення показника відповідності локомотиворемонтного виробництва

Таблиця

Визначення критичних значень критеріїв показника відповідності ремонтного виробництва

Межа	Критерії показника відповідності				П	K <sub>c</sub>
	λ <sub>l</sub>	x <sub>i</sub>	γ <sub>k</sub>	α <sub>j</sub>		
Верхня	0,75	0,512	0,33	0,5	0,063	0,937
Нижня	0,75	0,241	0,27	0,25	0,012	0,988

Тобто невідповідність, що пов'язана з невиконанням технологічних операцій (λ<sub>l</sub>=0,75) з післяремонтного випробування (x<sub>i</sub>=0,512) вузла, який безпосередньо впливає на безпеку руху (α<sub>j</sub>=0,5), через відсутність необхідного обладнання (γ<sub>k</sub>=0,33) характеризується найбільшими значеннями критеріїв та матиме вагомість 0,063. Нижня

межа критичного значення показника відповідає невиконанню технологічних операцій (λ<sub>l</sub>=0,75) з вини персоналу (γ<sub>k</sub>=0,27) під час збирання вузла, який впливає на безпеку руху (α<sub>j</sub>=0,25) та має вагомість 0,012. Ремонт вузлів локомотивів на виробництвах, що мають невідповідності з вагомістю в діапазоні 0,012 - 0,063



може призводити до відмов з катастрофічними наслідками. Ремонт на такому виробництві має бути призупинений до усунення критичних невідповідностей.

Для попереднього оцінювання адекватності отриманих значень критеріїв використовувались усереднені дані щодо невідповідностей локомотиворемонтних виробництв (рис. 2). Розподіл невідповідностей ремонтних виробництв за критерієм  $\alpha_j$  показує, що найбільші значення невідповідностей припадають на підрозділи, які виконують ремонт вузлів груп 3 та 4. Це вузли, що впливають на функціональність локомотива, однак їх відмова не несе загрози безпеці руху. Тому вагомість таких невідповідностей незначна. Найбільші значення вагомості невідповідностей припадають на підрозділи, що ремонтують вузли, які

безпосередньо впливають на безпеку руху, тобто групи 5 та 6. Для вузлів групи 5 вагомість п'яти невідповідностей становить 0,049, а отже, питома вагомість однієї невідповідності становитиме 0,0098. Для вузлів групи 6 вагомість трьох невідповідностей становить 0,069, з питомою вагомістю 0,023. У першому випадку вагомість питомої невідповідності не належить критичному діапазону, отже, має усуватися в робочому порядку. У другому випадку вагомість невідповідності відповідає критичним значенням, отже, ремонт вузлів, що виконується з порушеннями, має бути призупинений. Виходячи з проведених досліджень, допустимим слід вважати значення коефіцієнта відповідності локомотиворемонтного виробництва в діапазоні 0,988 - 1.

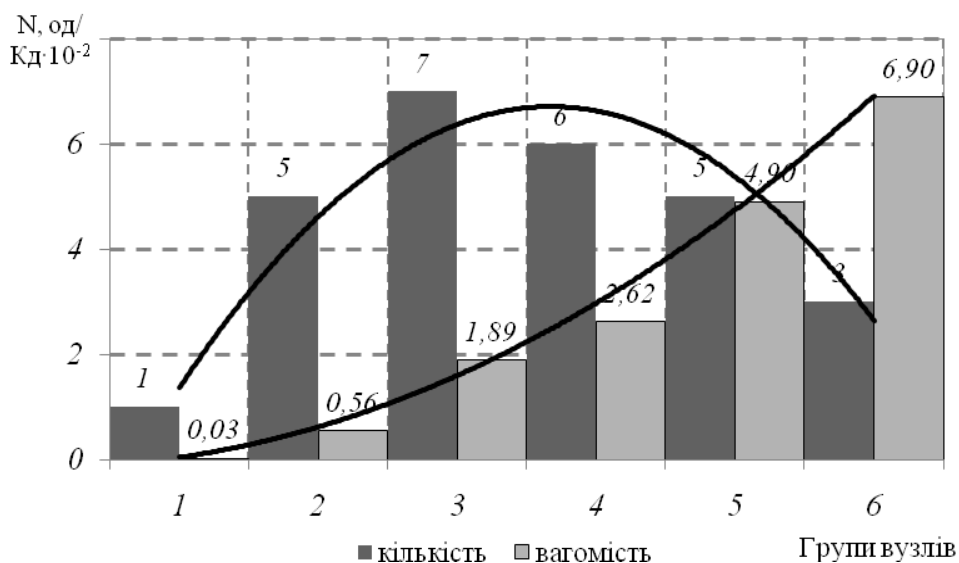


Рис. 2. Розподіл невідповідностей локомотиворемонтного виробництва за групами вузлів

**Висновки.** У результаті проведеної роботи було досліджено показник відповідності локомотиворемонтного виробництва. Визначено, що критичний діапазон вагомості однієї невідповідності

виробництва лежить у межах 0,012 - 0,063. Отже, допустимими значеннями показника відповідності локомотиворемонтного виробництва є 0,988 - 1.

*Список використаних джерел*

1. ЦТ-0162. Положення з атестації підприємств з обслуговування та ремонту тягового рухомого складу [Текст]: затв. державн. адміністр. залізн. трансп. України 10.10.2007 р. – К.: Укрзалізниця, 2007. – 244 с.
2. Mikosa W., Ferreira J. Knowledge Sharing and Reuse in Potential Failure Mode and Effects Analysis in the Manufacturing and Assembly Processes (PFMEA) Domain. Complex Systems Concurrent Engineering. 2007. – P. 461-468.
3. Mitreva E., Nikolov E., Nikolova B., Taskov N., Dimitrov N. Methodology for Optimizations of Business Processes in Macedonian Railways - Transport in the Republic of Macedonia. Mediterranean Journal of Social Sciences, 2016, T. 7, №. 3 S1, P. 394 – 402.
4. Rachieru N., Belu N., Anghel D. Improvement of Process Failure Mode and Effects Analysis using Fuzzy Logic. Applied Mechanics and Materials, Trans Tech Publications, 2013, T. 371, P. 822-826.
5. Дацун, Ю. М. Оцінка рівня відповідності локомотиворемонтного виробництва [Текст] / Ю. М. Дацун // Наука та прогрес транспорту: Вісн. Дніпр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2017. – № 3(69). – С. 23–31. doi: 10.15802/stp2017/103937.
6. Дацун, Ю. М. Визначення ступеню впливу технологічних процесів ремонту на справність вузлів тягового рухомого складу [Текст] / Ю.М. Дацун // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2016. – №1/7 (79). – С. 56-61. doi:10.15587/1729-4061.2016.59878.
7. Tartakovskiy E., Ustenko O., Puzyr V., Datsun Y. Systems Approach to the Organization of Locomotive Maintenance on Ukraine Railways / E. Tartakovskiy, O. Ustenko, V. Puzyr, Y. Datsun // Rail Transport — Systems Approach / Ed. A. Śladkowski. – Cham: Springer, 2017. P. 217-239. doi: 10.1007/978-3-319-51502-1\_5.

---

Дацун Юрій Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-19-99.  
E-mail: remlocomot@gmail.com.

Беженар Євген Валерійович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (050)1877181. E-mail: rms14@rambler.ru.

Datsun Yurii cand. of techn. sciences, associate professor department of maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-19-99. E-mail: remlocomot@gmail.com.  
Bezhenar Y., gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (050)1877181. E-mail: rms14@rambler.ru.

Стаття прийнята 24.10.2017 р.

УДК 656.027.3

## ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ШВИДКІСНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЧНІЙ ЛІНІЇ

Канд. техн. наук А. О. Ковальов, магістрант О. В. Гуляєв

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА СКОРОСТНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ

Канд. техн. наук А. А. Ковалев, магистрант О. В. Гуляев

## DETERMINATION OF THE RATIONAL NUMBER OF SPEED PASSENGER TRAINS ON THE RAILWAY LINE

Ph. D. tehn. A. O. Kovalov, master O. V. Huliaiev

*Розглянуто підходи до визначення раціональної кількості швидкісних пасажирських поїздів на залізничній лінії, що даватимуть змогу виявити кількісні значення у взаємозв'язку між експлуатаційними та будівельними показниками реконструкції лінії. На підставі проведеного дослідження в кожному конкретному випадку здійснення реконструкції для введення швидкісного пасажирського руху можна встановити критичний пасажиропотік або кількість швидкісних поїздів, при якій забезпечується ефективно використання капітальних вкладень.*

**Ключові слова:** реконструкція, розвиток, пасажир, перевезення, швидкість, сполучення.

*Рассмотрены подходы к определению рационального числа скоростных пассажирских поездов на железнодорожной линии, которые позволят выявить количественные значения во взаимосвязи между эксплуатационными и строительными показателями реконструкции линии. На основании проведенного исследования в каждом конкретном случае осуществления реконструкции для введения скоростного пассажирского движения можно установить критический пассажиропоток или число скоростных поездов, при котором обеспечивается эффективное использование капитальных вложений.*

**Ключевые слова:** реконструкция, развитие, пассажиры, перевозки, скорость, сообщение.

*Construction of high-speed highways and the introduction of the rolling stock requires considerable investment. The existing transport network of Ukraine does not fully meet the requirements for the construction of high-speed railways. However, reconstruction of railways under high-speed passenger traffic may be appropriate in most cases. When solving problems related to the increase in the speed of passenger trains, one of the main arguments is the size of long-distance passenger traffic. It is known that the magnitude of this passenger traffic influences the technical and economic efficiency of the reconstruction of railway lines for the introduction of high-speed traffic. Reconstruction of the railway line for high-speed passenger traffic should be economically justified, taking into account the effect of reducing the time of finding passengers on the road.*

*One of the most important indicators that influence the efficiency of the introduction of high-speed traffic is the cost of passenger-hour. Passengers-kilometers (as well as passenger-hours) reflect the expenses necessary to meet those or other needs associated with the movement of people.*

*Increasing speeds of high-speed trains at a constant cost of passenger-hour leads to a reduction in the cost of train-kilometer, which, while maintaining a constant ratio of speeds of passenger and freight trains, leads to an increase in the efficiency of capital investments. On the basis of the research carried out in each case, the implementation of the reconstruction of the line for the introduction of high-speed passenger traffic can establish critical passenger traffic or the number of high-speed trains, which ensures the effective use of capital investments.*

*The results of the conducted research do not contradict the existing logical representations, but for the first time allow to reveal quantitative values in the relationship between the operational and construction indicators of the reconstruction of the line, and thus more reasonably solve the issues related to the expediency of introducing high-speed traffic.*

**Key words:** reconstruction, development, passengers, transportation, speed, message.

**Вступ.** Конкуренцеспроможність залізничного пасажирського транспорту безпосередньо залежить від упровадження та розвитку швидкісних і високошвидкісних магістралей. Але застарілість технічної і технологічної бази, знос основних фондів, недосконала політика тарифоутворення та в деяких випадках низька якість транспортних послуг призводить до значних втрат. Тому сучасні підходи до розвитку пасажирських швидкісних і високошвидкісних магістралей потребують комплексних досліджень у цій сфері.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз європейських досліджень указує на досить успішну конкуренцію залізничного транспорту з автомобільним та авіаційним [1, 2], але за умови впровадження швидкісних і високошвидкісних магістралей.

Будівництво високошвидкісних магістралей та впровадження відповідного рухомого складу потребує значних капіталовкладень [3]. Але існуюча транспортна мережа України не повною мірою відповідає вимогам до будівництва високошвидкісних залізничних магістралей. Проте реконструкція залізничних ліній під швидкісний пасажирський рух може бути здебільшого доцільною.

Для забезпечення оптимального способу організації швидкісного руху пасажирських поїздів можливе порівняння варіантів, що забезпечують пропуск поїздів з мінімальним співвідношенням витрат

(капіталовкладень і експлуатаційних витрат) до одиниці продукції [4]. Тобто вибір способу організації швидкісного руху базується на мінімізації питомих витрат або максимізації питомого економічного ефекту. Викладені у [5] підходи даватимуть змогу визначати основні показники, що впливають на ефективність упровадження і розвитку швидкісного і високошвидкісного руху в Україні, а також обирати один із варіантів способу організації руху. Але в дослідженнях більшу увагу треба приділити визначенню кількості швидкісних поїздів.

**Мета та завдання дослідження.** Метою дослідження є визначення раціональної кількості швидкісних пасажирських поїздів на залізничній лінії. Задачами дослідження є встановлення критичного пасажиропотоку або числа швидкісних поїздів, при якій забезпечується ефективно використання капітальних вкладень.

**Основна частина дослідження.** При вирішенні завдань, пов'язаних з підвищенням швидкостей руху пасажирських поїздів, одним з основних аргументів є розмір пасажиропотоку далекого сполучення. Відомо, що величина цього пасажиропотоку впливає на техніко-економічну ефективність реконструкції залізничних ліній для введення швидкісного руху.

Реконструкція залізничної лінії під швидкісний пасажирський рух повинна бути економічно обґрунтована з урахуванням ефекту від зменшення часу

перебування пасажирів у дорозі. Також можливий розгляд питань побудови нової високошвидкісної магістралі на основі визначення чистого дисконтного доходу [6].

Для дослідження впливу чинників, від яких залежить раціональна кількість швидкісних пасажирських поїздів  $n_{Ш}$ , прийнято такі вихідні дані:

- маса вантажного поїзда  $Q$  4200 т, пасажирського  $Q$  1000 т;
- довжина лінії  $L = 295$  км;
- $V_{ВАН} = 60$  км / год;
- $V_{ПС} = 120$  км / год;
- $V_{Ш} = 180$  км / год,
- коефіцієнт нерівномірності руху за напрямками  $\alpha = 0,8$ .

Вартості 1 поїзд.км визначені при середній заселеності поїзда 900 люд (15-вагонний состав).

У загальному випадку

$$C_C \cdot t_{OK(H)} \geq K_P + C_P \cdot t_{OK(H)}, \quad (1)$$

де  $C_C$  – річні експлуатаційні витрати при нинішній ситуації без швидкісного руху, грн;

$K_P, C_P$  – вартість реконструкції лінії і річні витрати при введенні швидкісного руху, грн;

$t_{OK(H)}$  – нормативний термін окупності, р.

$$C_p = 365(n_{ВАН} C_{ВАН} (1 + \alpha) + 2n_{Ш} C_{Ш} + 2(n_0 - n_{Ш}) + C_{ОБГ}^{ПС} + C_{ОБГ}^{Ш}), \quad (4)$$

де  $C_{Ш}$  – витрати на пересування одного швидкісного поїзда, грн;

$C_{ОБГ}^{Ш}$  – витрати, пов'язані з обгоном вантажних поїздів швидкісними поїздами, грн.

Витрати на пересування поїздів розраховуються за укрупненими нормами

$$C_i = C_{ПКМ(i)} L, \quad (5)$$

де  $C_{ПКМ(i)}$  – вартість 1 поїзд.км  $i$ -го поїзда, грн;

$L$  – довжина лінії, км.

Загальний пасажирський поїздопотік можна подати як суму швидкісних поїздів і поїздів, що прямують зі звичайними швидкостями, тобто

$$n_0 = n_{Ш} + n_{ПС}. \quad (2)$$

де  $n_0, n_{Ш}, n_{ПС}$  – загальна кількість пасажирських поїздів, кількість швидкісних поїздів, кількість поїздів, що прямують зі звичайними швидкостями, поїзд.

З урахуванням цього і скориставшись системою укрупнених норм, можна річні експлуатаційні витрати при існуючому стані без швидкісного руху подати у вигляді

$$C_C = 365(n_{ВАН} C_{ВАН} (1 + \alpha) + 2n_0 C_{ПС} + C_{ОБГ}^{ПС}), \quad (3)$$

де  $n_{ВАН}$  – кількість вантажних поїздів, поїзд;

$C_{ВАН}, C_{ПС}$  – витрати на пересування одного вантажного та пасажирського поїзда, грн;

$C_{ОБГ}^{ПС}$  – витрати, пов'язані з обгоном вантажних поїздів пасажирськими поїздами, грн;

$\alpha$  – коефіцієнт нерівномірності руху за напрямками.

Річні експлуатаційні витрати при введенні швидкісного руху мають вигляд

Кількість вантажних поїздів  $n_{ВАН}$ , пар поїздів/доб, можна визначити за формулами:

- до реконструкції

$$n_{ВАН} = N_{МАХ} \gamma - \varepsilon_{ПС} n_0; \quad (6)$$

- після реконструкції та введення швидкісного руху

$$n_{ВАН} = N_{МАХ} \gamma - \varepsilon_{Ш} n_{Ш} - \varepsilon_{ПС} (n_0 - n_{Ш}), \quad (7)$$

де  $N_{MAX}$  – максимальна пропускна спроможність, поїзд/доб;

$\gamma$  – коефіцієнт, що враховує технологічні перерви в русі та необхідний резерв для забезпечення коливань розмірів руху поїздів;

$\varepsilon_{ПС}$   $\varepsilon_{Ш}$  – коефіцієнти змінання пасажирських та швидкісних поїздів.

Витрати, пов'язані з обгоном вантажних поїздів, визначаються за формулами

$$C_{ОБГ}^{ПС} = t_{СТ} C_{ПГ}^{ВАН} \frac{2L(n_0 - n_{Ш})}{J_{ВАН}} \left( \frac{1}{V_{ВАН}} - \frac{1}{V_{ПС}} \right); \quad (8)$$

та

$$C_{ОБГ}^{Ш} = t_{СТ} C_{ПГ}^{ВАН} \frac{2Ln_{Ш}}{J_{ВАН}} \left( \frac{1}{V_{ВАН}} - \frac{1}{V_{Ш}} \right), \quad (9)$$

де  $t_{СТ}$  – час стоянки вантажного поїзда під обгоном, год;

$C_{ПГ}^{ВАН}$  – вартість поїздо-години вантажного поїзда, грн;

$J_{ВАН}^{ПГ}$  – міжпоїзний інтервал, год;

$V_{ВАН}$ ,  $V_{ПС}$ ,  $V_{Ш}$  – швидкості вантажних, пасажирських та швидкісних поїздів, км/год.

Підставляючи (2) - (9) у вираз (1), можна визначити економічно раціональну кількість швидкісних поїздів, при якій забезпечується ефективність використання капітальних вкладень у реконструкцію лінії

$$n_{Ш} \geq \frac{K_p + (C_p - C_c)t_{ОК(Н)}}{365(\Delta\varepsilon(1 + \alpha)C_{ВАН} + 2(C_{ПС} - C_{Ш}) - t_{СТ}C_{ПГ}^{ВАН} \frac{2L}{J_{ВАН}} \left( \frac{1}{V_{ПС}} - \frac{1}{V_{Ш}} \right))t_{ОК(Н)}}. \quad (10)$$

Одним з найважливіших показників, що впливають на ефективність упровадження швидкісного руху, є вартість пасажиро-години. Пасажиро-кілометри (так само, як і пасажиро-години) відображають витрати, необхідні для задоволення тих чи інших потреб, пов'язаних з пересуванням людей.

Підвищення швидкостей руху швидкісних поїздів при постійній вартості пасажиро-години приводить до зменшення вартості 1 поїзд.км, що при збереженні

постійним співвідношення швидкостей пасажирських і вантажних поїздів призводить до збільшення ефективності капітальних вкладень.

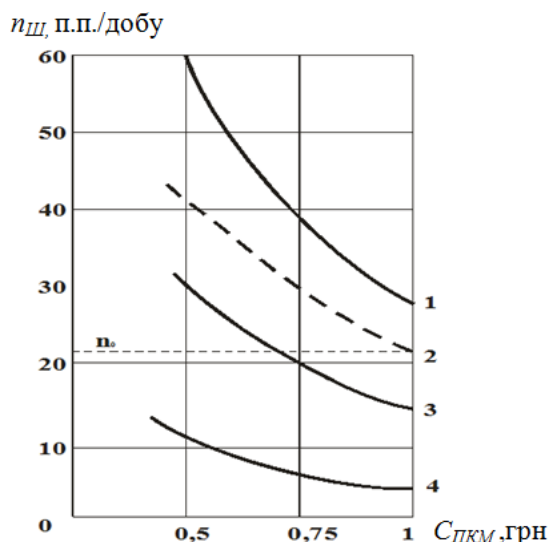
Результати розрахунків зведені в таблицю.

На підставі таблиці побудовано графік залежності кількості швидкісних поїздів від вартості поїздо-кілометра і середньої вартості реконструкції 1 км колії (рисунок).

Таблиця

Залежність кількості швидкісних поїздів від  $C_{ПКМ}$  і  $K_p$

Вартість реконструкції 1 км $K_p$ , млн грн	Кількість швидкісних поїздів залежно від вартості поїздо-кілометра, поїзд		
	$C_{ПКМ} = 0,5$	$C_{ПКМ} = 0,75$	$C_{ПКМ} = 1$
50	59,8	39,4	30,3
37	44,3	29,2	22,2
25	30,0	19,8	15,2
10	12,1	8,0	6,1



- 1 – 50 млн. грн
- 2 – 37 млн. грн
- 3 – 25 млн. грн
- 4 – 10 млн. грн

Рис. Залежність кількості швидкісних поїздів від вартості поїздо-кілометра і середньої вартості реконструкції 1 км колії

Аналіз формули (10) і зроблені розрахунки показують, що на економічно раціональну кількість швидкісних поїздів основний вплив чинять вартість реконструкції та вартість 1 поїзд.км.

Кількісні значення на рисунку відповідають наведеним раніше вихідним даним. Однак аналіз формули і розрахунки при інших вихідних даних показують, що характер залежності раціональної кількості швидкісних поїздів від вартості поїздо-

кілометра і середньої вартості реконструкції 1 км колії не змінюється.

### Висновки

1. На підставі проведеного дослідження в кожному конкретному випадку здійснення реконструкції лінії для введення швидкісного пасажирського руху можна встановити критичний пасажиропотік або кількість швидкісних поїздів, при якій забезпечується ефективне використання капітальних вкладень.

2. Для прийнятих вихідних даних і пропуску пасажиропотоку в розмірі 20 тис. пас. на добу або 22,2 пари поїздів на добу при вартості поїздо-кілометра 1, введення швидкісного пасажирського руху буде доцільно при середній вартості реконструкції 1 км 37 млн грн і менше.

3. Зменшення вартості поїздо-кілометра призводить до зменшення капітальних вкладень. Розрахунки показують, що якщо в розглянутому прикладі вартість поїздо-кілометра складає 0,5, то реконструкція доцільна при її середній вартості 20 млн грн/км і менше.

Результати проведеного дослідження не суперечать існуючим логічним уявленням, але вперше дають змогу виявити кількісні значення у взаємозв'язку між експлуатаційними та будівельними показниками реконструювання лінії і тим самим більш обґрунтовано вирішувати питання, пов'язані з доцільністю введення швидкісного руху.

### Список використаних джерел

1. Дикань, В. Л. Обеспечение конкурентоспособности предприятия [Текст]: монография / В. Л. Дикань. – Харьков: Основа, 1995. – 160 с.
2. Wang, L. A two-layer optimization model for high-speed railway line planning [Text]/ Li Wang, Li-min Jia, Yong Qin, Jie Xu, Wen-ting Mo// Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering). –2011. –Vol. 12. –Is. 12. –P. 902-912.
3. Ковальов, А. О. Перспективи розвитку швидкісних пасажирських перевезень в Україні на основі світового досвіду [Текст] / А. О. Ковальов, В. О. Грищенко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харьков: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 20-24.

4. Лунина, Т. А. Совершенствование методики оценки эффективности вариантов проекта организации скоростного движения пассажирских поездов [Текст] / Т. А. Лунина, Е. В. Климова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – № 1. – С. 165-168.

5. Климова, Е. В. Оценка экономической эффективности способов организации скоростного движения пассажирских поездов [Текст]: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Е. В. Климова; [Сибирск. гос. универ. путей сообщ.]. – Новосибирск, 2015. – 24 с.

6. Ковальов, А. О. Визначення ефективності впровадження і розвитку високошвидкісного руху в Україні [Текст] / А. О. Ковальов, А. Є. Проплеткіна, В. Д. Богатирьова // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 164. – С. 154-159.

---

Ковальов Антон Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (096)410-67-26. E-mail: kovalovanton1979@gmail.com.

Гуляев Олег Володимирович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (067) 569-05-11. E-mail: 5690511@g.mail.com.

Kovalov Anton Oleksandrovich, Ph. D., associate Professor of the office of freight and commercial work of the Ukrainian state University of railway transport. Tel. (096)410-67-26. E-mail: kovalovanton1979@gmail.com.

Huliaiev Oleh Vladimirovich, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian state University of railway transport. Tel. (067) 569-05-11. E-mail: 5690511@gmail.com.

Статья принята 03.11.2017 р.

**УДК 629.42**

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЛОКОМОТИВНИХ ДЕПО В ПЕРІОД КОЛИВАНЬ ПРОГРАМИ РЕМОНТУ**

**Д-р техн. наук О. С. Крашенінін, магістрант Д. Е. Сулежко**

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕМОНТНОЙ МОЩНОСТИ ЛОКОМОТИВНЫХ ДЕПО В ПЕРИОД КОЛЕБАНИЙ ПРОГРАММЫ РЕМОНТА**

**Д-р техн. наук А. С. Крашенинин, магистрант Д. Э. Сулежко**

## **MAINTENANCE OF REPAIR CAPACITY OF LOCOMOTIVE DEPARTMENT IN THE PERIOD OF VARIABLES OF THE REPAIR PROGRAM**

**Dr. sc. sciences O. S. Krashenin, master D. E. Sulezhko**

*Проаналізовано проблеми проведення реструктуризації галузі залізниць України. Проведено аналіз досліджень, які присвячені питанням функціонування ремонтного господарства залізниці. Розроблено методику, що дасть змогу виконувати перерозподіл ремонтних ресурсів між опорними депо, які будуть виконувати технічне обслуговування та поточний ремонт тягового рухомого складу різних серій для різних депо. Дано оцінку використанню цієї методики у процесі організації ремонту рухомого складу.*

**Ключові слова:** ремонтна потужність підприємства, локомотивне депо.



*Проанализированы проблемы проведения реструктуризации отрасли железных дорог Украины. Проведен анализ исследований, посвященных вопросам функционирования ремонтного хозяйства железных дорог. Разработана методика, которая позволит выполнять перераспределение ремонтных ресурсов между опорными депо, которые будут выполнять техническое обслуживание и текущий ремонт тягового подвижного состава различных серий для разных депо. Дана оценка использованию данной методики в процессе организации ремонта подвижного состава.*

**Ключевые слова:** ремонтная мощность предприятия, локомотивное депо.

*The problems of the restructuring of Ukrainian railways, which was started in the 90s of the last century, are considered. The latest scientific articles on the effective use of complex points for diagnostics and fastening of rolling stock for various repair plants are studied. The basic principle of the implementation of repair resources of locomotive departments, which will ensure efficient maintenance and repair of the rolling stock of Ukrainian railways, is substantiated. Creation of a methodology that will effectively redistribute resources to create reference warehouses capable of servicing the rolling stock of different series for different warehouses. Determination of the parameters by which the dynamics of the volume of costs for the repair of rolling stock is calculated. A graphic representation of the effect of using methodology of resource allocation for the creation of supporting locomotive departments was modelled. Determine the amount of production that determines the priorities for using additional, general or standard equipment.*

**Keywords:** repair capacity of the enterprise, locomotive department.

**Вступ.** Реструктуризація залізничної галузі, що була започаткована в 90-х роках минулого сторіччя, передбачала оптимізацію господарств залізниці тільки в плані узгодження обсягів і розвитку об'єктів інфраструктури, без чіткої програми і кроків щодо її виконання. На місцях це декларувалося як закриття і перепрофілювання деяких підприємств, що зводилося до втрати як людських, так і промислових ресурсів. Останнім часом не вдалося досягти позитивної динаміки зростання ефективності роботи господарств залізниць, технічний стан рухомого складу, як тягового, так і нетягового, досяг критичних меж. Це все відбувається на фоні зношеності основних фондів. Цьому сприяла також недостатня увага до визначення резервів потужності ремонтних цехів локомотивних депо. В нинішніх умовах необхідні рішучі й зважені, науково обгрунтовані заходи зі стабілізації залізничної галузі.

У світі набули розвитку ідеї моніторингу технічного стану із залученням виробників локомотивів і

вагонів до організації великих ремонтів і модернізації рухомого складу, який у дії.

З другого боку, рівень локомотивних депо повинен забезпечувати можливість ремонту рухомого складу, що не приписаний до цього депо.

Для локомотивних депо України цей досвід і взаємодія з виробниками стає реальним шансом стабілізації технічного стану рухомого складу.

Локомотивне депо повинне забезпечувати як основне ремонтне виробництво, так і виробництво в моменти пікових навантажень, використовуючи для цього додаткове обладнання з великими постійними і незначними змінними (пропорційними обсягам виробництва) витратами, а також стандартне обладнання з протилежними характеристиками. Пропорційні обсягу виробництва витрати відповідають витратам на придбання тих ресурсів, які, як правило, є в необмеженій кількості, і, отже, не враховуються в нерівностях, що виражають обмеження на обсяг виробництва. Навпаки, до функцій витрат вони враховуються. Обсяг

виробництва в пікові моменти є нагальним питанням, тому будь-яка комбінація видів обладнання спроможна виконати пікові навантаження і здатна забезпечити непіковий обсяг виробництва. Загалом введення в дію обладнання повинно забезпечувати пікові навантаження, які в багатьох випадках тривають протягом незначного часу роботи. Отже, для обладнання, призначеного для використання тільки в моменти піку, відрахування з капіталу в розрахунку на одиницю продукції можуть бути дуже високими. Прагнучи задовольнити одночасно всі потреби, пікова продукція коштує надто дорого [1-3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У різних галузях науки й техніки набули реалізації математичні методи теорії дослідження операції. Разом з цим у кожному конкретному випадку необхідно враховувати особливості завдань, що вирішуються, і обмеження.

У низці робіт [3-6] досліджено питання ефективної зони дії комплексних пунктів діагностування й закріплення за ремонтними заводами локомотивних депо. У фахових вітчизняних і зарубіжних виданнях наведено результати досліджень щодо оптимізації системи експлуатації рухомого складу.

Незважаючи на великий обсяг досліджень у галузі ремонту тягового рухомого складу, досліджень, що враховують сучасний світовий досвід організації ремонту рухомого складу, проведено небагато. Особливо це стосується питань обґрунтування роботи ремонтного господарства, яке спроможне забезпечити весь спектр ремонтних послуг для локомотивів з іншим депо приписки [7, 8].

**Визначення мети та завдання дослідження.** Мета дослідження полягає в обґрунтуванні політики реалізації ремонтних ресурсів локомотивних депо для

забезпечення ефективного ТО, ПР не тільки ТРС приписки свого депо, але й іншого ТРС. Для реалізації поставленої мети слід визначити основні співвідношення, які даватимуть змогу визначити обсяг виробництва, а також параметри, від яких залежать обсяги витрат на ремонт.

**Основна частина дослідження.**

Розглянемо й проаналізуємо такий випадок. Для наочності нанесемо на графік (рис. 1) величини необхідних обсягів програми ТО та ПР підприємства локомотивного депо. Робота у пікові моменти має тривалість  $a$  та інтенсивність  $A$  (потужність обладнання). Непікове навантаження має тривалість  $b$ , інтенсивність  $B < A$ . Визначимо через  $x_1$  і  $x_2$  обсяги потужності двох категорій обладнання, які вимірюються у тих самих одиницях, що  $A$  і  $B$ . Множина допустимих значень  $(x_1$  і  $x_2)$  визначається з таких умов:

$$x_1 \geq 0 \quad x_2 \geq 0, \quad (1)$$

$$x_1 + x_2 \geq A,$$

звідки також випливає

$$x_1 + x_2 > B. \quad (2)$$

З нерівності (2) видно, що можливий обсяг сумарної потужності виробництва у непікові періоди  $b(x_1 + x_2)$  перебільшує необхідний обсяг виробництва  $bB$ . Тобто виробничі потужності у звичайний час перевищують дійсно необхідний обсяг виробництва. У зв'язку з цим слід розрізняти виробничий потенціал і виробничу продукцію, бо обмеження та постійні витрати пов'язані з потужностями, а змінні витрати – з обсягом фактично виконаної роботи (кількості ТО та ПР ТРС).

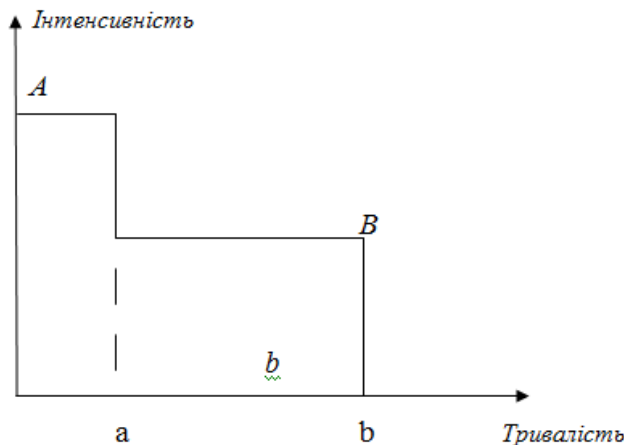


Рис. 1. Обсяги програми ТО та ПР

При піковому навантаженні виробничі потужності будуть використовуватися повністю, піковий обсяг виробництва  $aA$  буде дорівнювати максимально можливому виконанню  $a(x_1 + x_2)$ . Якщо через  $g_1, g_2$  позначити вартість одиничної потужності вказаних типів обладнання, то сума капіталовкладень в обладнання буде

$$G_E = g_1 x_1 + g_2 x_2 . \quad (3)$$

З другого боку, якщо  $c_1, c_2$  являють собою дисконтовані змінні експлуатаційні витрати, то поточні витрати на виконання пікового обсягу визначатимуться величиною

$$G_A = a(c_1 x_1 + c_2 x_2) . \quad (4)$$

У непікові періоди підприємство при повному використанні потужностей буде

мати надлишковий обсяг виробництва. Тому замість того, щоб виконувати обсяг ремонту

$$b(x_1 + x_2) > Bb , \quad (5)$$

воно буде виконувати обсяг ремонту

$$b(u_1 + u_2) = Bb , \quad (6)$$

де  $u_1 \leq x_1, u_2 \leq x_2$ .

І дисконтовані експлуатаційні витрати у непікові періоди становитимуть

$$G_B = b(c_1 u_1 + c_2 u_2) . \quad (7)$$

Таким чином, ремонтному господарству локомотивного депо необхідно мінімізувати таку функцію сумарних дисконтованих загальних витрат:

$$G = (g_1 + ac_1)x_1 + (g_2 + ac_2)x_2 + b(c_1 u_1 + c_2 u_2) \quad (8)$$

за чотирма змінними  $x_1, x_2, u_1, u_2$ , для яких дотримуються умови

$$\left. \begin{aligned} x_1 \geq 0 \quad x_2 \geq 0 \quad 0 \leq u_1 \leq x_1 \quad 0 \leq u_2 \leq x_2 \\ x_1 + x_2 = A \\ u_1 + u_2 = B \end{aligned} \right\} . \quad (9)$$

У цьому випадку маємо справу одночасно зі змінними, що виражають обладнання, і змінними, що являють собою експлуатаційні витрати, коли необхідно знайти сумарний оптимум за витратами на придбання обладнання і на його експлуатацію.

Існує також можливість відокремити завдання оптимізації експлуатаційних витрат від завдань оптимального вибору обладнання та вирішити це останнє завдання без урахування фактичного обсягу виробництва.

Оптимізація за експлуатаційними витратами полягає в очевидній перевазі на користь додаткового обладнання, яке більш економічне з точки зору змінних пропорційних поточних витрат. Це означає, що слід за можливості збільшити  $u_1$  та

зменшити  $u_2$  аж до досягнення однієї з двох можливих меж  $u_1 = x_1$   $u_2 = 0$ .

Кожна з цих рівностей у поєднанні із рівнянням, яке виражає обсяг виробництва у непікові періоди ( $u_1 + u_2 = B$ ), дає змогу виключити обидві змінні  $u_1$  та  $u_2$ . Якщо, крім цього, урахувати строгу рівність ( $x_1 + x_2 = A$ ), яка виражає обсяг виробництва при піковому навантаженні, то функцію витрат  $G$  можна в остаточному підсумку виразити як функцію тільки однієї із змінних, які характеризують обладнання. Однак  $G$  має два різних вирази, з яких один  $G'$  відповідає випадку  $u_1 = x_1$ , а другий  $G''$  – випадку  $u_2 = 0$ . Вираз  $G'$  буває при  $x_1 \leq B$ , а  $G''$  – при  $x_1 \geq B$ :

$$\left. \begin{aligned} G' &= [g_1 - g_2 + (a+b)(c_1 - c_2)]x_1 + Ag_2 + c_2(aA + bB) \\ G'' &= [g_1 - g_2 + a(c_1 - c_2)]x_1 + Ag_2 + c_2aA + c_1bB. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Можливо усунути дискретність функції витрат, якщо розглядати тільки площину ( $x_1, u_2$ ), виключивши величини  $x_2$  та  $u_1$ , першу – за допомогою рівняння для пікового навантаження, а другу – за допомогою рівняння у непікові періоди.

Тобто

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= A - x_1 \\ u_2 &= B - u_1. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Вираз для функції витрат:

$$G = [g_1 - g_2 + a(c_1 - c_2)]x_1 + b(c_1 - c_2)u_1 + Ag_2 + (aA + bB)c_2. \quad (12)$$

Множина допустимих розв'язків визначається площиною чотирикутника OACD, включаючи і його сторони (рис. 2).

При визначенні оптимальної точки необхідно розрізняти три випадки.

Коли прямі  $G = const$  мають негативний кутовий коефіцієнт, що відповідає на підставі  $c_1 - c_2 < 0$  умові

$$g_1 + ac_1 < g_2 + ac_2, \quad (13)$$

яка означає, що одиниця потужності додаткового обладнання забезпечує

виконання плану підприємства при піковому навантаженні з меншими витратами, ніж одиниця стандартного обладнання.

З другого боку, так як обидва коефіцієнти при  $x_1$  і  $u_1$  негативні, то градієнт функції мети (зменшення витрат) спрямований у бік кута DCA.

Таким чином, оптимальною точкою буде точка С. Оптимальний розв'язок включає тільки додаткове обладнання, бо обсяг виробництва проходить через пік.

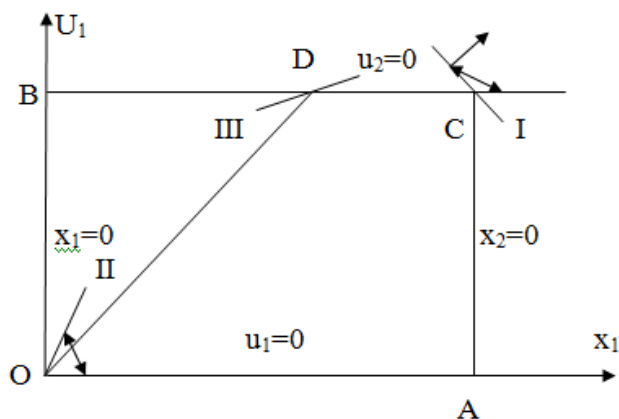


Рис. 2. Вибір стратегії забезпечення ремонтних потужностей

Коли прямі  $G = const$  мають позитивний кутовий коефіцієнт, причому кут нахилу перебільшує  $45^\circ$ , що відповідає умові

$$g_1 + c_1(a + b) > g_2 + c_2(a + b), \quad (14)$$

яка означає, що одиниця додаткового обладнання забезпечує весь обсяг виробництва (при піковому та непіковому навантаженнях) з більшими витратами, ніж одинична потужність стандартного обладнання. Тому із наведеної вище нерівності випливає:  $g_1 + ac_1 > g_2 + ac_2$ .

Оптимальною точкою є точка O, а оптимальний розв'язок включає лише стандартне обладнання, зважаючи проходження обсягу виробництва через пік.

Коли прямі  $G = const$  мають позитивний кутовий коефіцієнт, але кут нахилу менший, ніж  $45^\circ$ :

$$0 < g_1 - g_2 + a(c_1 - c_2) < b(c_2 - c_1). \quad (15)$$

У цьому випадку оптимальною точкою є точка D. Оптимальний розв'язок включає як додаткове обладнання, розмір якого визначається в залежності від величини непікового навантаження і яке використовується у будь-який час, так і стандартне обладнання, яке використовується разом із додатковим, для

забезпечення виробництва лише у періоди максимального завантаження.

Припустимо, що додаткове обладнання для забезпечення ремонту коштує  $c_1$ , амортизаційні відрахування складають  $\alpha$ , %, загальні відрахування за період експлуатації  $\beta T$  ( $\beta$  – загальні відрахування, %;  $T$  – термін експлуатації). Тоді вартість додаткового обладнання становитиме

$$c' = c_1(100\% + \alpha\% + \beta T\%). \quad (16)$$

Наведені витрати на утримання обладнання з урахуванням амортизації становитимуть  $g' = \frac{g}{\alpha}$ , де  $g$  – загальні надходження на утримання обладнання. Звідки сумарні витрати на додаткове обладнання становитимуть

$$\sum c_2 = c' + h \frac{g}{\alpha}. \quad (17)$$

Прийемо, що витрати на стандартне обладнання  $c_2 = c_1$ , але на величину  $x$  зменшуються витрати на його утримання при зростанні загальних нарахувань на величину  $u$ .

З урахуванням цього сумарні витрати на стандартне обладнання становитимуть

$$\sum c^2 = (1-x)c^1 + \frac{h(1+y)g}{\alpha} \quad (18)$$

Для вирішення питання щодо величини  $h$  прирівняємо вирази (17) і (18)

$$c^1 + \frac{hg}{\alpha} = (1-x)c^1 + \frac{h(1+y)g}{\alpha}$$

Отримаємо вираз

$$h = \frac{x}{y} \left( \frac{c^1 g}{\alpha} \right)$$

Як видно з наведеного,  $h$  залежить прямо пропорційно від  $x$  і обернено пропорційно від  $y$ .

Графічна залежність  $h = f(x, y)$  при  $\frac{c^1 g}{\alpha} = 1$  наведена на рис. 3.

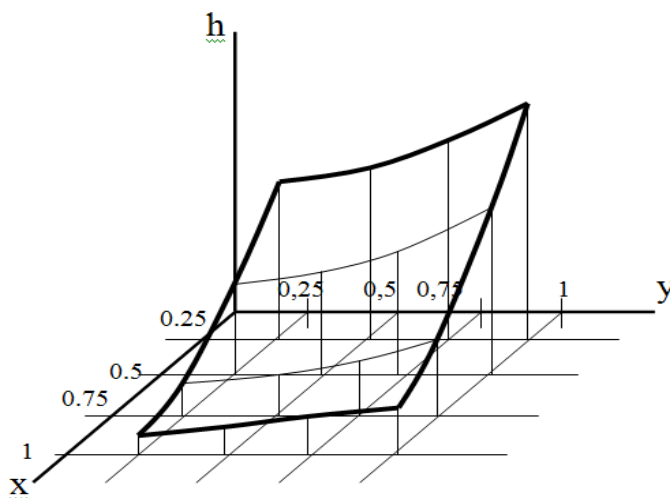


Рис. 3. Залежність  $h = f(x, y)$

### Висновки

1. У залежності від співвідношень вартості одиночної потужності ( $g_1, g_2$ ) і дисконтованої зміни експлуатаційних витрат ( $c_1, c_2$ ) і тривалості використання обладнання ( $a, b$ ) можна визначити обсяг виробництва, який визначає пріоритети використання додаткового, сумісного або стандартного обладнання.

2. Динаміка обсягів витрат на ремонт  $h$  залежить від параметрів  $x$  і  $y$ . Конкретні

значення сумарних витрат коректуються на величину  $\left( \frac{c^1 g}{\alpha} \right)$  згідно з динамікою  $h$ , що подана на рис. 3.

3. При реструктуризації ремонтних господарств залізниць використання цієї методики дасть змогу ефективно перерозподіляти ресурси на створення опорних депо, які спроможні проводити ТО, ПР ТРС різних серій для різних депо.

### Список використаних джерел

1. Пичугина, Т. С. Модель возведения комплекса объектов [Текст] / Т. С. Пичугина, П. Ю. Баранов, С. А. Пичугин. – Харьков: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1985. – 136 с.
2. Оптимальный план отрасли [Текст] / И. Я. Бирман, В. Ф. Пугачев, В. А. Волконский [и др.]. – М.: Экономика, 1970. – 431 с.

3. Модель формування парку тягового руху рухомого складу в локомотивних депо в умовах реформування залізниць України [Текст] / О. С. Крашенінін, А. П. Фалендиш, С. Г. Жалкін, О. О. Шапатіна // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 97. – С. 5-9.
4. Falendysh A. Software analysis for modeling the parameters of shunting locomotives chassis [Text] / Falendysh A., Volodarets M., Hatchenko V., Vykhopen I. / MATEC Web of Conferences. – 2017 – 116.
5. Моделювання парку ТРС на перехідний період поступової його зміни [Текст] / М. В. Паламарчук, О. С. Крашенінін, Ю. В. Кривошея [та ін.] // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2009. – Вип. 20. – С. 61-68.
6. Концепція розвитку і реструктуризації локомотивного депо [Текст] / О. С. Крашенінін, А. П. Фалендиш, О. О. Шапатіна, М. М. Одегов // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 27. – С. 133-136.
7. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 45387 Комп'ютерна програма «Розрахунок структури парку тягового рухомого складу на перехідний період його зміни» [Текст] / О. С. Крашенінін, С. А. Матвієнко : заява 02.07.2012 ; реєстрація 03.09.2012. – К., 2012.
8. Крашенінін, О. С. Методика оцінки терміну виробництва нового ТРС для заміни експлуатованого ТРС, ресурс якого наблизився до граничного [Текст] / О. С. Крашенінін, Ю. В. Гринів, М. В. Максимов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 133. – С. 247-250.
9. Сытник, В. Ф. Математические модели в планировании и управлении предприятием [Текст] / В. Ф. Сытник, Е. А. Карагодова. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1985. – 214 с.
10. Петраков, Н. Я. Экономико-математические исследования затрат и результатов [Текст] / Н. Я. Петраков. – М.: Наука, 1976. – 270 с.
11. Овчаров, Л. А. Прикладные задачи теории массового обслуживания [Текст] / Л. А. Овчаров. – М.: Машиностроение, 1969. – 324 с.

---

Крашенінін Олександр Семенович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99.

E-mail: Alsem1512@gmail.com.

Сулежко Дмитро Едуардович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (095) 414-11-71. E-mail: dmitriys1113@gmail.com.

Krashenin Oлександр, doct. of techn. sciences, professor, Department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-19-99. E-mail: Alsem1512@gmail.com.

Sulezhko Dmytro, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (095) 414-11-71. E-mail: dmitriys1113@gmail.com.

Стаття прийнята 10.11.2017 р.

УДК 624.21

**МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПРОГОНОВИХ БУДОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ  
АВТОДОРОЖНЬОГО ШЛЯХОПРОВОДУ**

Кандидати техн. наук О. В. Лобяк, Є. Ф. Орел, магістрант В. А. Сандул

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ПРИ  
РЕКОНСТРУКЦИИ АВТОДОРОЖНОГО ПУТЕПРОВОДА**

Кандидаты техн. наук А. В. Лобяк, Е. Ф. Орел, магистрант В. А. Сандул

**SIMULATION OF BRIDGE SPAN BEHAVIOR DURING  
THE RECONSTRUCTION OF HIGHWAY OVERCROSSING**

Candidate of techn. sciences A. Lobiak, Y. Orel, master student V. Sandul

*Удосконалено методику комп'ютерного моделювання роботи балкової прогонової будови шляхопроводу при реконструкції за схемою прибудови залізобетонної накладної плити. Методика використовує кроково-ітераційний алгоритм за участю аналітичних залежностей і скінченно-елементного моделювання. Розрахунки передбачають послідовне зведення споруди за трьома стадіями з урахуванням нелінійних залежностей деформування бетону і повзучості, а також аеродинамічного впливу від високошвидкісного поїзда. Облік повзучості бетону оснований на використанні узагальненої кінетичної кривої деформування.*

**Ключові слова:** *накладна плита, прогонова будова, аеродинамічний вплив, стадії зведення, скінченні елементи, повзучість.*

*Проведено развитие методики компьютерного моделирования работы балочного пролетного строения путепровода при реконструкции по схеме устройства железобетонной накладной плиты. Методика использует шагово-итерационный алгоритм с участием аналитических зависимостей и конечно-элементного моделирования. Расчеты предусматривают последовательное возведение сооружения по трем стадиям с учетом нелинейных зависимостей деформирования бетона и ползучести, а также учет аэродинамического влияния от высокоскоростного поезда. Учет ползучести бетона основан на использовании обобщенной кинетической кривой длительного деформирования.*

**Ключевые слова:** *накладная плита, пролетное строение, аэродинамическое воздействие, стадии возведения, конечные элементы, ползучесть.*

*Improvement of the computer simulation method of the work of the beam span structure of the overpass bridge during reconstruction according to the scheme of the device of the reinforced concrete slab was carried out. The method uses a step-iterative algorithm with analytic dependencies and finite-element simulation. The calculations include the sequential construction of the facility in three stages, taking into account the nonlinear dependencies of concrete deformation and creep, and aerodynamic effects of the high-speed train. The creep of concrete is based on the use of a generalized kinetic curve of long-term deformation. The aerodynamic load from the high-speed train to the beam span of the overpass, located in close to the railroad, is presented as a running wave with changing positive and negative pressure, centered near the head and tail of the train. The intensity of the impact depends on the speed and the aerodynamic shape of the train, the shape of the structure, the distance between the train and the structure and its location to the train.*



*Modeling of concrete behavior is performed using exponential diagrams. To obtaining an accurate simulation model, taking into account initial damages, a reduction of the concrete class was changed according to the data of the non-destructive strength test with the simultaneous exclusion of the stretched concrete behavior. The obtained finite element model and modeling method of beam span structures made possible to obtain the true bearing capacity of the bridge during reconstruction, and assign a rational reinforcement structure for the loads NK-80 and A-11. The proposed technical activities could be used in the design of engineering structures of the Ukrainian road network, including the case of the aerodynamic effect of the high-speed train.*

**Keywords:** slip plate, superstructure, modeling, stage construction, finite element, creep.

**Вступ.** За даними Державного агентства автомобільних доріг України, загальна протяжність мережі автошляхів України більш ніж 172 тис. км. Крім того, у перспективі очікується як активне будівництво нових, так і реконструкція існуючих автомобільних доріг для можливості пропуску транспортних потоків з усе більшою інтенсивністю, а це призведе до збільшення навантаження на штучні споруди дорожньої мережі, до яких належать автодорожні шляхопроводи. Одночасно відбувається постійна переробка норм і збільшення нормативних навантажень, що зрештою потребує підсилення прогонових будов. Крім того, у мостових конструкціях що експлуатуються постійно, виникають різні дефекти та пошкодження, пов'язані як з впливом зовнішнього середовища, так і з фізичним зносом.

Так само потреба в збільшенні швидкості на всіх видах транспорту для прискорення перевезень пасажирів і вантажів визначається вимогами підвищення ефективності суспільного виробництва та продуктивності праці. У цьому розумінні при експлуатації шляхопроводів через високошвидкісну залізницю важливим питанням при проектуванні є адекватне врахування аеродинамічного впливу на конструкції, розташовані в безпосередній близькості від залізничної колії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині на дорогах України більш ніж 90 % мостів мають конструкцію прогонових будов, виконану із

застосуванням залізобетонних балок довжиною до 24 м. Переважна більшість з них не відповідає експлуатаційним вимогам, споживчим властивостям і потребам сучасного транспорту згідно з державними нормами [1], зокрема за вантажопідйомністю, габаритом мостового полотна, безпекою та комфортністю руху.

Існує кілька способів збільшення несучої здатності залізобетонних прогонових будов мостів та шляхопроводів при реконструкції [2]: прибудова накладної плити з монолітного залізобетону з утворенням температурно-нерозрізної схеми прогонових будов; нарощування перерізу нижньої розтягнутої арматури; прибудова шпренгельної системи із сталевих профілів; прибудова системи з композитних матеріалів.

Найбільш поширеним способом підсилення прогонових будов є застосування монолітної залізобетонної плити, включеної до спільної роботи з наявними балками. Ефект у цьому випадку досягається за рахунок збільшення робочої висоти перерізу, а отже, підвищення граничних зусиль. Для збільшення раціональності накладної плити прогони, на яких вона влаштовується, необхідно перетворити з розрізної схеми в нерозрізну систему. Це рішення призводить до зменшення додатних згинальних моментів у середній частині прогонів, а від'ємні моменти, що виникають у приопорних зонах накладної плити, можуть бути сприйняті додатковою арматурою. Також при влаштуванні нерозрізних систем вдається позбутися труднощів при експлуатації деформаційних швів.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Набутий досвід у питанні посилення мостів за схемою накладної плити свідчить, що числова оцінка ефекту збільшення несучої здатності прогонової будови буде залежати від прийнятих технологічних схем ремонту та поточного технічного стану конструкції [3]. Як продовження цих досліджень передбачається, що накладна плита при реконструкції шляхопроводів сприймає другу частину постійних навантажень і тимчасові навантаження, а розрахунок прогонової будови повинен виконуватися в нелінійній постановці з урахуванням послідовності зведення споруди. При цьому на кожному етапі монтажу розрахунок

повинен виконуватися для відповідної конструктивної схеми прогонової будови, що містить змонтовані до цієї стадії елементи [4]. Актуальним розвитком цього напрямку є наше дослідження, що включає в розрахунок прогонових будов шляхопроводу, розташованих в безпосередній близькості від залізничної колії, також аеродинамічний вплив від високошвидкісного поїзда.

**Основна частина дослідження.** Відповідно до прийнятих передумов пропонується методика розрахунку балкових прогонових будов з накладною плитою, яка враховує три стадії монтажу споруди (рис. 1).

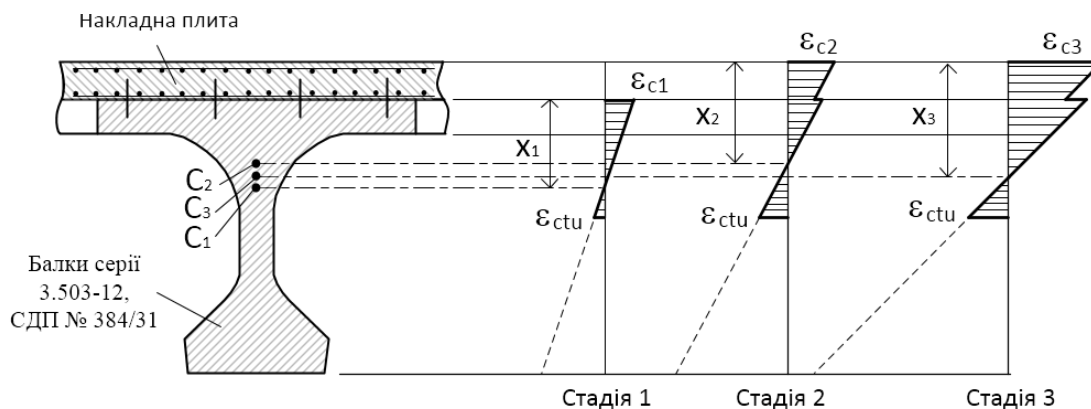


Рис. 1. Стадії роботи прогонової будови при реконструкції за схемою прибудови накладної плити

Перша стадія розрахунку передбачає навантаження наявних елементів прогонової будови першою частиною постійних навантажень: власною вагою, попереднім натягом, вагою накладної плити. На другій стадії в роботу включається накладна плита, переріз сприймає додаткові навантаження від ваги дорожнього одягу, тротуарних блоків, захисного шару та огорож. Третя стадія передбачає поєднання постійних і тимчасових навантажень. Оцінювання несучої здатності в запропонованій постановці ведеться окремо для наявних елементів прогонової будови та елементів

підсилення з урахуванням перерозподілу зусиль між елементами перерізу, нелінійної залежності деформування бетону і повзучості.

Сучасне проектування транспортних споруд припускає застосування програмних комплексів як основного інструменту комп'ютерного моделювання [5, 6]. Запропонована методика повною мірою реалізується засобами програмного комплексу «Ліра-САПР» [7, 8]. Велика бібліотека скінченних елементів (СЕ), підтримка нелінійних законів роботи матеріалів і потужні інструменти аналізу

забезпечують необхідну функціональність при числовому аналізі конструкцій з монолітного залізобетону.

Аеродинамічний вплив від високошвидкісного поїзда на прогонову будову шляхопроводу (рис. 2), розташовану в безпосередній близькості від залізничної колії, можна подати у вигляді рухомої хвилі зі змінним додатним та від'ємним тиском негативного впливу, зосередженим

поблизу голови і хвоста поїзда. При цьому інтенсивність впливу буде залежати від швидкості поїзда, аеродинамічної форми поїзда, форми конструкції, відстані між поїздом і конструкцією та її розташування відносно поїзда. Ці дії можуть бути замінені еквівалентними навантаженнями  $q_c$ , які слід використовувати при розрахунках зазначених конструкцій за першою і другою групами граничних станів.

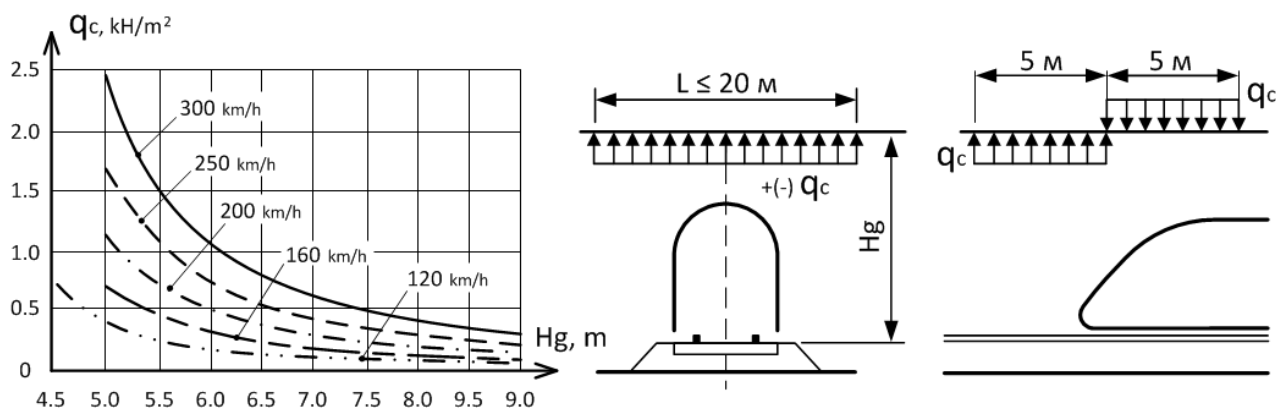


Рис. 2. Величина аеродинамічного впливу для горизонтальних поверхонь вище рейкової колії

Численні експериментальні дослідження свідчать, що в конструкціях із застосуванням бетону, які перебувають під тривалою дією навантажень, виникають пружно-пластичні деформації, які в кілька разів можуть перевищувати початкові, умовно пружні деформації. Найбільш гострою проблема повзучості є для транспортних споруд із сталевих та залізобетонних конструкцій. У зв'язку з цим питання прогнозування тривалого деформування прогонових будов і синхронного перерозподілу зусиль залишаються актуальними. В основу національних будівельних норм України, гармонізованих з Eurocode 2, покладений феноменологічний підхід, який базується на даних експериментів і встановлює залежність між деформаціями і часом через коефіцієнт повзучості  $\varphi(t, t_0)$ . Відповідно

до цієї методики граничні деформації повзучості визначаються коефіцієнтом, що залежить від середньої міцності бетону, його віку та відносної вологості, а розвиток повзучості в часі  $t$  залежить від відносної вологості і розмірів перерізу.

$$\varepsilon_{c,t} = \sigma_c / E_c [1 + \varphi_0 \beta(t, t_0)], \quad (1)$$

де  $\beta(t, t_0)$  – коефіцієнт, що описує розвиток повзучості в часі;

$t_0$  – вік бетону на момент першого завантаження.

При врахуванні повзучості також може розглядатися методика, основана на колоїдно-хімічному поданні механізму тривалого деформування, що містить алгоритм управління повзучістю через структурні характеристики бетону [9].

Прикладом запропонованого багато-стадійного моделювання слугить розрахунок автодорожнього шляхопроводу довжиною 58,6 м (рис. 3). Шляхопровід має габарит Г-11.7+0,82+0,81 м, побудований за

балковою розрізною бездіафрагменною схемою 3×18 м.

Відстань між внутрішніми гранями поруччя становить 13,77 м, шляхопровід складається з проїзної частини шириною 11,7 м (рис. 4).

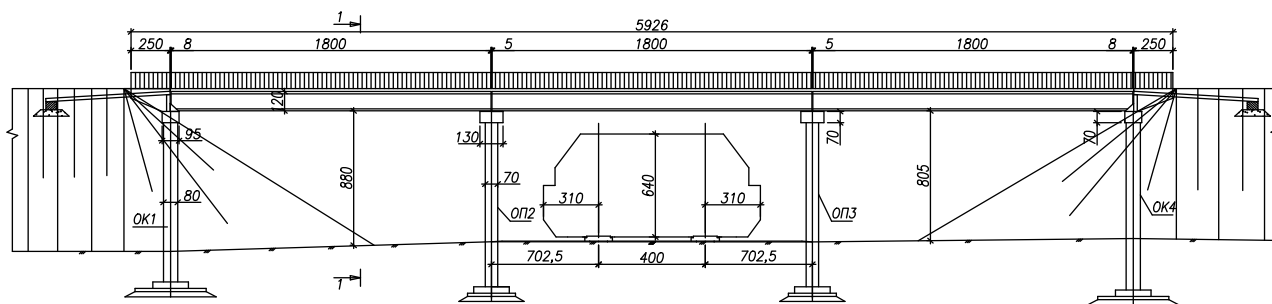


Рис. 3. Схема автодорожнього шляхопроводу

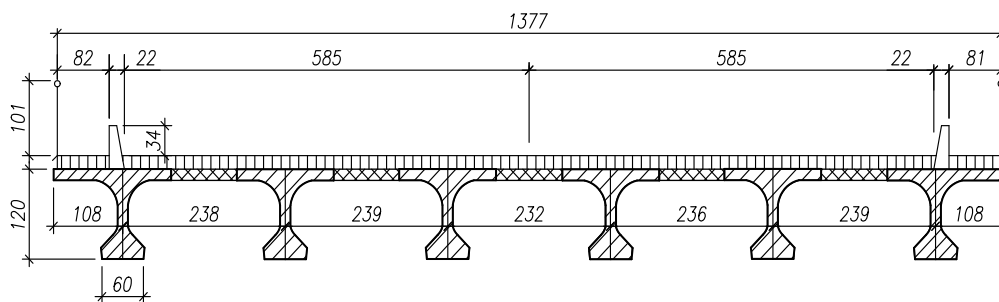


Рис. 4. Переріз 1-1 прогонової будови шляхопроводу

Початково шляхопровід розраховувався для навантаження Н-30 і НК-80, рік будівництва – 1975. У поперечному перерізі прогонової будови складаються із шести двотаврових попередньо напружених залізобетонних балок, виготовлених за типовим проектом серії 3.503-12, СДП № 384/31.

Поперечне об'єднання балок здійснене по монолітних швах. Обпирання балок прогонових будов здійснюється на гумово-металеві опорні частини. Мостове полотно складається з багатошарової конструкції проїзної частини з асфальтобетонним покриттям, парапетного залізобетонного огороження висотою 0,34 м і металевих зварених поручневих огорожень висотою 1 м.

На підставі аналізу результатів обстеження шляхопроводу зроблено такі висновки: відсутня відповідність проектних навантажень навантаженням від смуг А11 згідно з діючими будівельними нормами; занижена висота огорожень; несучу здатність додатково знижує наднормативна товщина дорожнього одягу; неприпустиме порушення герметичності деформаційних швів та локальне руйнування захисного шару бетону.

Для відновлення експлуатаційної надійності та довговічності шляхопроводу та приведення його транспортно-експлуатаційних характеристик у відповідність до діючих будівельних норм прийнято рішення щодо реконструкції зі

збереженням наявних балок прогонових будов.

Згідно з прийнятим варіантом реконструкції, ремонт прогонових будов припускає розбирання конструкції мостового полотна до верху плити балок, прибудову залізобетонної монолітної накладної плити, заміну опорних частин, ремонт поверхні балок, улаштування нової конструкції мостового полотна, установлення металевих бар'єрних та поручневих огорожень, улаштування елементів водовідводу і дренажу, улаштування деформаційних швів типу «Thorma Joint». У наявних балках прогонових будов проводиться відновлення захисного шару бетону та закладення відколів сумішшю «EMACO S88C» з подальшим нанесенням матеріалу «MASTERSEAL 588».

Накладна плита товщиною 120-245 мм включається до спільної роботи з наявними полицями балок прогонової будови за допомогою анкерів на цементно-епоксидному розчині SikaGrout 311. Технологічно прибудова плити проводиться без попереднього розвантаження прогонових будов.

Розрахункова схема прогонової будови складена з фізично нелінійних СЕ пластин, що моделюють роботу накладної плити, стрижневих СЕ балок, «підвішених» до вузлів плити за допомогою першої групи жорстких вставок, а також другої групи жорстких вставок – для передачі зусиль попереднього натягу арматури балок.

Характеристики СЕ, що визначають роботу залізобетону, складені з урахуванням нелінійних діаграм деформування бетону і сталі. Відомо, що робота бетону у фізично нелінійних задачах описується нелінійним законом, а арматури – діаграмою з фізичною площиною текучості. Однак використання повних діаграм у ПК «Ліра-САПР» не реалізовано – виключена можливість застосування спадної частини діаграми деформування бетону та фізичної текучості сталі. Також не реалізована можливість прямого впливу на характеристики елементів, що мають

початкові ушкодження. Моделювання роботи матеріалів можливе тільки за допомогою експонентних діаграм, використання яких визначає роботу неушкоджених матеріалів на першому відрізку повних діаграм деформування [10]. У зв'язку з цим для формування більш точної моделі з урахуванням початкових ушкоджень виконувалося зниження класу бетону із одночасним усуненням його з роботи на розтягання.

Тимчасові навантаження прийняті за схемами А-11 і НК-80. Результати розрахунків для сполучень навантажень (РСН), що враховують аеродинамічний вплив, подано у вигляді ліній зусиль (моментів) для різного положення смуг навантаження А11 у поперечному напрямку проїзної частини: для крайнього положення (РСН 1) із прив'язкою 1,5 м від бордюру до осі візка крайньої смуги; проміжного положення (РСН 2) із прив'язкою 1,8 м від бордюру до осі візка крайньої смуги; центрального положення (РСН 3) з прив'язкою 2,1 м від бордюру до осі візка крайньої смуги (рис. 5).

Закон зміни напружень по висоті на останній стадії навантаження визначає частку згинального моменту, яку сприймає накладна плита. Згинальний момент згину, який сприймають балки, визначається різницею повного моменту і моменту, що припадає на накладну плиту.

Як показують розрахунки, моделювання послідовності монтажу прогонової будови приводить до зменшення впливу накладної плити на несучу здатність споруди після реконструкції. Частка повного згинального моменту, що виникає від усіх постійних навантажень і сприймається накладною плитою, складає 3 %, те саме від навантаження за схемою А-11 (з урахуванням пішоходів) – 14 %, для навантаження НК-80 – 11 %.

Результати розрахунків також визначені у вигляді мозаїки підібраної площі арматури (рис. 6). У результаті найбільша площа арматур досягає 20,1 см<sup>2</sup>, що відповідає сітці Ø16 крок 100 класу А400С2.

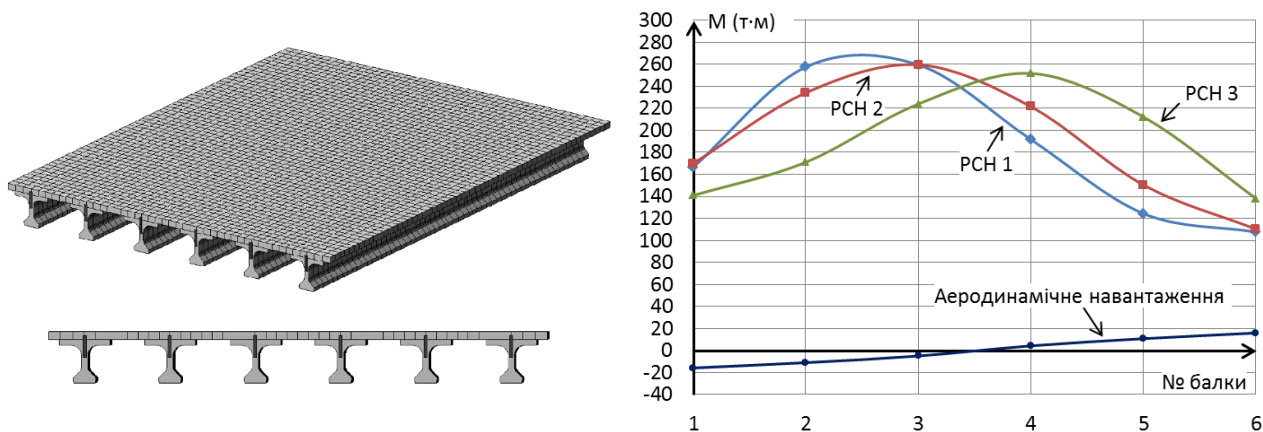


Рис. 5. Скінченно-елементна модель прогонової будови та лінії зусиль у балках

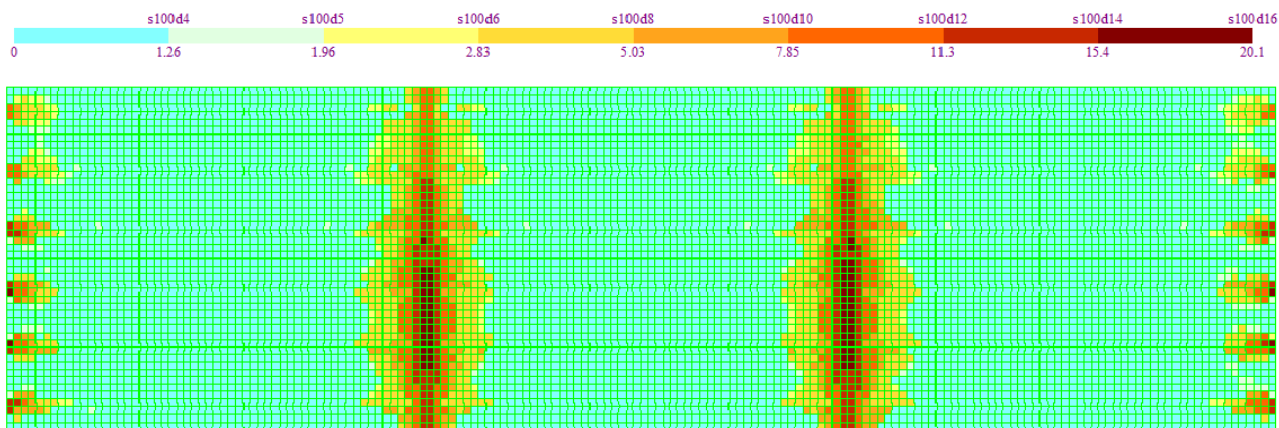


Рис. 6. Повздовжня арматура біля верхньої грані накладної плити

**Висновки.** Розроблена скінченно-елементна модель і на її основі методика моделювання балкових прогонових будов дали змогу встановити справжню несучу здатність моста при реконструкції та призначити раціональну конструкцію підсилення для відповідності

навантаженням НК-80 та А-11. Запропоновані технічні заходи можуть бути запроваджені для використання при проектуванні штучних споруд дорожньої мережі України та зокрема у випадку врахування аеродинамічного впливу від високошвидкісного поїзда.

### Список використаних джерел

1. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://dbn.at.ua/load/normativy/dbn/dbn\\_v\\_2\\_3\\_22\\_2009/1-1-0-345](http://dbn.at.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_3_22_2009/1-1-0-345).
2. Мости: конструкції та надійність: довідник [Текст] / Й. Й. Лучко, П. М. Коваль, М. М. Корнієв [та ін.]; за ред. В. В. Панасюка і Й. Й. Лучка; Нац. академія наук України. Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка. – Львів: Каменяр, 2005. – 989 с.

3. Експлуатація і реконструкція мостів [Текст] / Н. Е. Страхова, В. О. Голубев, П. М. Ковальов, В. В. Тодиріка. – К.: Транспортна академія України, 2002. – 403 с.
4. Лобяк, А. В. Уточненна методика моделювання пролетних строєний мостов при усилєнии накладной железобетонной плитой [Текст] / А. В. Лобяк, В. В. Сердюк // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 138. – С. 244-251.
5. Ramyasri. N and Rangarao.V, Study On Behaviour of Prestressed Concrete Bridge with & Without Soil Interaction. International Journal of Civil Engineering and Technology, 8(1), 2017. – P. 456-463.
6. Ramya. T and K. Shyam Chamberlin, Soil Interaction Studies on Prestressed Concrete Bridge Using Finite Element Method. International Journal of Civil Engineering and Technology, 8(1), 2017. – P. 639-645.
7. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2013 [Текст]: учеб. пособие / Д.А. Городецкий, М. С. Барабаш, Р. Ю. Водопьянов [и др.]; под ред. акад. РААСН А. С. Городецкого. – М., 2013. – 376 с.
8. Барабаш, М. С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства [Текст] / М. С. Барабаш. – К., 2014. – 265 с.
9. Alexey Lobiak, Glib Vatulia, Yevhen Orel. Simulation of performance of circular CFST columns under short-time and long-time load / 6th International Scientific Conference “Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings” (Transbud-2017). MATEC Web of Conferences. Volume 116, 2017, 02036 (2017).
10. Городецкий, А. С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – К.: Факт, 2007. – 394 с.

---

Лобяк Олексій Вікторович, канд. техн. наук, доцент, в.о. завідувача кафедри будівельної механіки та гідравліки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-70. E-mail: Lobiak@ukr.net.  
Орел Євген Федорович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-59. E-mail: Orel@kart.edu.ua.  
Сандул Валентин Анатолійович, магістрант ІІІІК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту.

Lobiak Alexey, cand. of techn. sciences, Associated Professor, Head of Building Mechanics and Hydraulics Department Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-70. E-mail: Lobiak@ukr.net.  
Orel Yevhen Fedorovich, cand. of techn. sciences, Associated Professor of Track and Track Facilities Department Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-67. E-mail: Orel@kart.edu.ua.  
Sandul Valentine, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport.

Стаття прийнята 10.11.2017 р.

УДК 005:656.072

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ СУПУТНИКОВОЇ НАВИГАЦІЇ ПРИ РОЗВИТКУ ПАСАЖИРСЬКОГО КОМПЛЕКСУ В УМОВАХ ШВИДКІСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Кандидати техн. наук В. В. Кулешов, Г. В. Шаповал, інженер А. В. Кулешов, магістранти С. О. Громов, Є. М. Лисенко

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ ПРИ РАЗВИТИИ ПАССАЖИРСКОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Кандидаты техн. наук В. В. Кулешов, А. В. Шаповал, инженер А. В. Кулешов, магистранты С. А. Громов, Е. Н. Лысенко

## IMPROVEMENT OF SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS IN THE DEVELOPMENT OF PASSENGER COMPLEX UNDER THE CONDITIONS OF HIGH SPEED TRANSPORT

Ph.D. (Candidates of Techn. Scien.) V. Kuleshov, A. Shapoval, Engineer A. Kuleshov, master student S. Gromov, Ye. Lysenko

*Розглянуто впровадження на залізничному транспорті України «Автоматизованого робочого місця ведення контрольних GPS-точок» (АРМ РКТ) для роботи з множиною контрольних точок, за якими здійснюється прив'язка геодезичного місцезнаходження рухомих одиниць до об'єктів інфраструктури залізничної мережі в умовах розвитку систем супутникової навігації. У зв'язку зі змінами в роботі пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях для зручності навігації користувачів залізничних послуг запропоновано додатковий комплекс господарських об'єктів. Розроблений комплекс моделей тривалості відправлення на напрям, обіг пасажирського швидкісного поїзда, потрібної кількості составів пасажирського швидкісного поїзда власності оператора вагонів. Запропонована технологія забезпечує скорочення тривалості знаходження вагонів на станції, тобто має ресурсозберігаючу спрямованість.*

**Ключові слова:** вагон, навігація, модель, пасажир, перевезення, станція, супутник, система, технологія, точки.

*Рассмотрено внедрение на железнодорожном транспорте Украины «Автоматизированного рабочего места ведения контрольных GPS-точек» (АРМ РКТ) для работы с множеством контрольных точек, по которым осуществляется привязка геодезического местонахождения подвижных единиц к объектам инфраструктуры железнодорожной сети в условиях развития систем спутниковой навигации. В связи с изменениями в работе пассажирского комплекса при внедрении скоростных перевозках для удобства навигации пользователей железнодорожных услуг предложен дополнительный комплекс хозяйственных объектов. Разработан комплекс моделей продолжительности отправления на направление, обращения пассажирского скоростного поезда, необходимого количества составов пассажирского скоростного поезда собственности оператора вагонов. Предложенная технология обеспечивает сокращение продолжительности нахождения вагонов на станции, т.е. имеет ресурсосберегающую направленность.*

**Ключевые слова:** вагон, навигация, модель, пассажир, перевозка, станция, спутник, система, технология, точки.



*In order to work with a set of control points on which the geodetic location of mobile units is linked to the objects of the railway network infrastructure, the introduction of the "Automated work place for control GPS points" (ARM RKT) in the conditions of the development of satellite navigation systems was considered on the Ukrainian railway transport. In the workstation, the types of points with which it implements the robot are shown. ARM RKT uses aerospace images of the Google Maps system. The objects of the ARM RKT polygon are the station; distillation; locomotive depot. Changes in the work of the passenger complex during high-speed transportation have occurred. An additional set of economic objects is proposed for the convenience of navigation of users of railway services. The complex of models of the duration of departure for a direction, the circulation of a passenger high-speed train, the required number of trains of a passenger high-speed train of a wagon operator's property was developed in the article. In the paper, a technology is proposed that provides a reduction in the duration of the wagons in the station, i.e. has a resource-saving focus.*

**Keywords:** navigation, model, passenger, points, station, satellite, system, wagon, technology, transportation.

**Вступ.** Впровадження високошвидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України перебуває в стадії поділу пасажирського та вантажного руху. Із загальної експлуатаційної мережі ПАТ «Укрзалізниця» (УЗ) (22,05 тис. км) 67,5 % становлять одноколіїні ділянки, 32,5 % – дво- і триколіїні. Електрифіковано 42,3 % протяжності залізниць, 60,7 % – обладнано пристроями автоматичного регулювання руху поїздів, 62 % – мають безстикovu колію, системами електричної централізації обладнано 72,9 % усіх стрілочних переводів [1].

Навігаційні супутникові системи: США – GPS, європейська – Galileo, російська – ГЛОНАС і китайська – Beidou сьогодні активно застосовуються в багатьох областях.

На залізничному транспорті України впроваджуються автоматизовані робочі місця «Ведення контрольних GPS-точок» (АРМ РКТ). Функції та інтерфейс АРМ РКТ дозволяють виконувати контроль за проходженням контрольних точок локомотивами та іншими рухомими транспортними одиницями, який здійснюється за допомогою бортових пристроїв системи супутникової навігації (СН). В подальшому ця система може надавати багато корисної інформації для підвищення ефективності та оперативного

керування перевізним процесом. Геодезичні координати СН пов'язують контрольні точки із залізничними координатами в Єдину автоматизовану систему керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці (АСК ВП УЗ-Є) [1-3].

Інтерфейс АРМ РКТ включає роботу як з елементами інфраструктури залізниць, так і з картографічними зображеннями поверхні Землі. Контрольні точки мають прив'язуватися до об'єктів інфраструктури залізничної мережі. Інформація по точках містить певні дані щодо цих об'єктів і, відповідно, ці дані мають змінюватися, коли змінюються відповідні атрибути цих об'єктів. В ідеальному випадку такі зміни в точках повинні були б здійснюватися автоматично в рамках коригування певних атрибутів не точок, а тих об'єктів, на які точки посилаються. Але в поточній версії АСК ВП УЗ-Є цей підхід ще не реалізований.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В нормативних документах [1-3] при організації перевезень докладно не враховані застосування методів моделювання роботи пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях в умовах розвитку інформатизації. В роботі [4] проаналізовано вплив технічного оснащення і технології роботи пасажирського комплексу на ефективно

обслуговування составів. На основі побудованого орієнтованого графа розраховано основні параметри сітьової моделі мережі. У статті [5] досліджуються питання удосконалення інформаційно-керуючої системи залізниць в умовах інтероперабельності шляхом формування дворівневої структури управління. У роботах [6-8] розглянуто питання удосконалення інформаційної технології роботи з вагонами різних форм власності з метою оптимізації пропускної спроможності, автоматизованих систем пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях в умовах розвитку систем супутникової навігації. Але не враховується розробка комплексу моделей пасажирського господарства у сучасних умовах. У статтях [9-11] виконано аналіз упровадження швидкісного залізничного руху в Україні, моделювання пасажирських поїздопотоків високошвидкісних залізничних магістралей, дослідження функціонування пасажирської станції на основі теорії систем. У роботі [12] розглянуто кореляцію мережі, моделі випадкових графів, зростання мережі та пріоритетного приєднання, а також динамічні процеси, що відбуваються в мережах. Документ [13] пропонує для підприємств швидкісного руху модель оптимізації стратегічного планування, яка зосереджена на двох ключових рішеннях: розташування станції, лінійного планування перевезень та складу парку. У роботі [14] досліджуються питання впливу на проміжні області між великими містами та створення потенційних транскордонних міжрегіональних послуг. Але не розглядається впровадження на залізничному транспорті автоматизованих робочих місць в умовах розвитку систем супутникової навігації. Тому потребують розв'язання питання удосконалення систем супутникової навігації в умовах розвитку пасажирського комплексу при швидкісних

перевезеннях при застосуванні методів моделювання технології пасажирських швидкісних перевезень, яка ґрунтується на основі використання технічних засобів пасажирських комплексів з оптимізацією їх основних параметрів.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Мета дослідження – удосконалення систем супутникової навігації в умовах розвитку пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях. Реалізація цієї мети можлива при постановці і розв'язанні таких завдань: аналіз проходження коліями УЗ швидкісних поїздів Філії «Українська залізнична швидкісна компанія» УЗ; аналіз варіантів покращення взаємодії АСК пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях з метою підвищення ефективності оперативної роботи; визначення моделей роботи АСК пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях.

**Основна частина дослідження.** На сьогодні парк рухомого складу Філії «Українська залізнична швидкісна компанія» УЗ (УЗШК) складається із 10 електропоїздів виробництва компанії «Hyundai Rotem» (Республіка Корея), двох поїздів локомотивної тяги виробництва ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (КВБЗ), двох двосистемних електропоїздів Екр-1 виробництва КВБЗ.

Мережа маршрутів УЗШК об'єднує Київ з найбільшими промисловими, культурними та курортними центрами України: Запоріжжя, Дніпро, Харків, Львів, Тернопіль, Трускавець та Одеса. В графіку руху УЗШК на 2017 р. передбачені 12 пар швидкісних (до 160 км/год) поїздів категорії «Інтерсіті+». Також, курсують дві пари швидкісних поїздів категорій «Інтерсіті». Аналіз прослідування коліями ПАТ «Укрзалізниця» та маршрутною швидкості поїздів УЗШК за графіком 2017 р. наведено в таблиці.

Аналіз проходження коліями ПАТ «Укрзалізниця» та маршрутної швидкості поїздів УЗШК за графіком 2017 р.

№ поїзда	Сполучення	Періодичність курсування	Категорія поїздів	Час в дорозі, год	Відстань, км	Маршрутна швидкість, км/год
1	2	3	4	5	6	7
711	Костянтинівка – Київ	Щоденно	Інтерсіті+	6,48	676	104,3
712	Київ – Костянтинівка	Щоденно	Інтерсіті+	6,40	676	105,6
719	Харків – Київ	Щоденно	Інтерсіті+	4,73	489	103,4
720	Київ – Харків	Щоденно	Інтерсіті+	5,52	489	88,6
721	Харків – Київ	Щоденно	Інтерсіті+	4,68	489	104,5
722	Київ – Харків	Щоденно	Інтерсіті+	4,62	489	105,8
723	Харків – Київ	Щоденно	Інтерсіті+	4,65	489	105,2
724	Київ – Харків	Щоденно	Інтерсіті+	4,63	489	105,6
725	Харків – Київ	Щоденно	Інтерсіті+	4,67	489	104,7
726	Київ – Харків	Щоденно	Інтерсіті+	4,65	489	105,2
727	Харків – Київ	За вказівкою	Інтерсіті+	5,02	489	97,4
728	Київ – Харків	За вказівкою	Інтерсіті+	4,68	489	104,5
731	Запоріжжя – Київ	Щоденно	Інтерсіті+	7,20	658	91,4
732	Київ – Запоріжжя	Щоденно	Інтерсіті+	7,12	658	92,4
733	Покровськ – Дніпро – Київ	Щоденно	Інтерсіті+	8,15	735	90,2
734	Київ – Дніпро – Покровськ	Щоденно	Інтерсіті+	8,13	735	90,4
735	Запоріжжя – Київ	Крім вівторка та суботи	Інтерсіті+	7,20	636	88,3
736	Київ – Запоріжжя	Крім вівторка та суботи	Інтерсіті+	7,13	636	89,2
739	Кривий Ріг Гол. – Київ	Щоденно	Інтерсіті	5,48	454	82,8
740	Київ – Кривий Ріг Гол.	Щоденно	Інтерсіті	5,48	454	82,8
705	Київ – Пшемисль	Щоденно	Інтерсіті+	7,62	685	89,9
706	Пшемисль – Київ	Щоденно	Інтерсіті+	7,18	685	95,4
715	Київ – Тернопіль - Пшемисль	Щоденно	Інтерсіті+	7,22	715	99,0
716	Пшемисль – Тернопіль - Київ	Щоденно	Інтерсіті+	9,05	715	79,0

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7
743	Київ – Львів	Щоденно	Інтерсіті+	5,47	578	105,7
744	Львів – Київ	Щоденно	Інтерсіті+	5,45	578	106,1
745	Дарниця - Львів	За вказівкою	Інтерсіті+	5,63	592	105,2
746	Львів - Дарниця	За вказівкою	Інтерсіті+	6,27	592	94,4
763	Дарниця, Київ – Одеса	Щоденно	Інтерсіті+	7,48	623	83,3
764	Одеса – Київ, Дарниця	Щоденно	Інтерсіті+	7,42	623	84,0
Середній показник				6,18	586,5	96,1

У рамках комплексу автоматизованих робочих місць (АРМ) пасажирського господарства Укрзалізниці ведеться розклад руху пасажирських та приміських поїздів. Однак проведення логічного контролю повідомлень про рух поїздів виконується через АРМ ДСП, ДНЦ дільниць, працівників служби Д та пасажирського господарства. Вимоги до документування відповідають загальним вимогам до документування АСК ВП УЗ-Є.

АРМ для ведення розкладу руху пасажирських поїздів призначена для підтримки розкладу руху в актуальному стані, для проведення логічного контролю повідомлень про рух пасажирських та приміських поїздів. Для коригування розкладу руху передбачено чотири режими, поданих на рисунку: введення нового поїзда, редагування поїзда, вилучення, сервіс (перегляд даних про поїзд) [3].

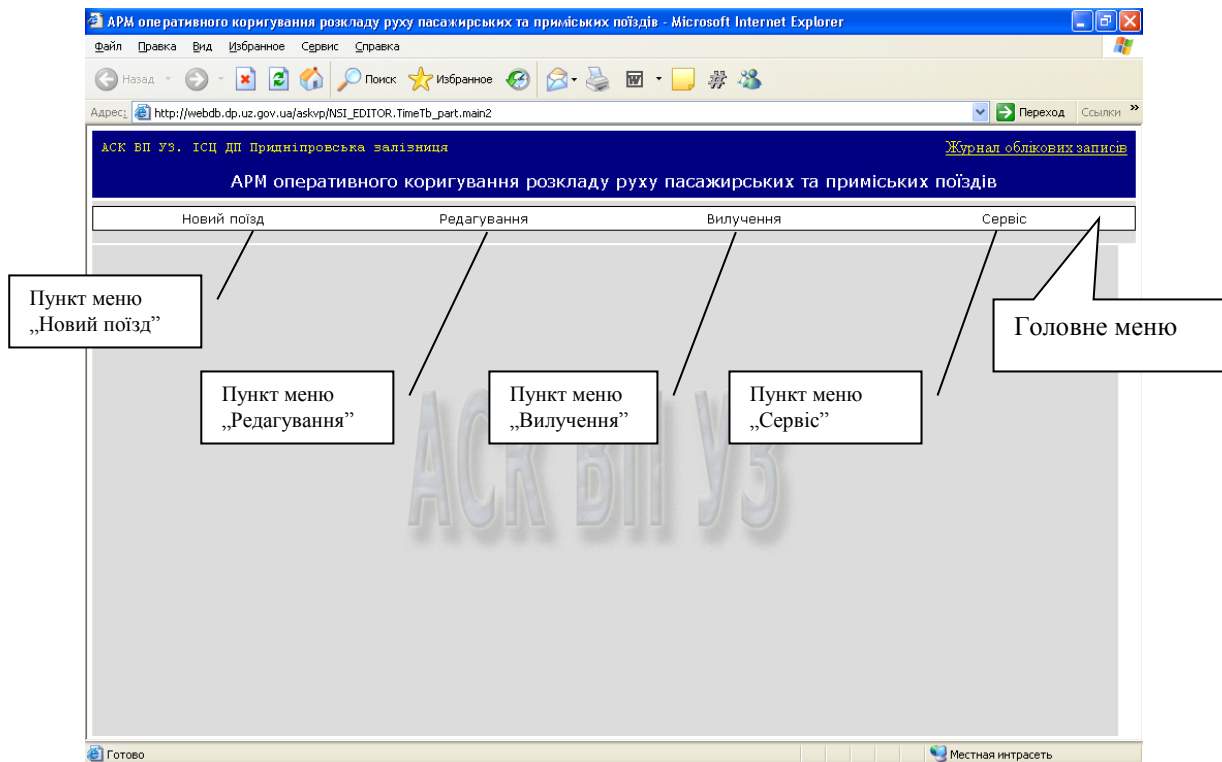


Рис. Головне вікно АРМ ведення розкладу руху пасажирських та приміських поїздів

АСК пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях потребує удосконалення АРМ персоналу пасажирських та пасажирських технічних станцій з метою підвищення ефективності оперативної роботи з пасажирськими швидкісними поїздами; організації інформаційної підтримки та безперебійного забезпечення оперативними даними про розклад руху пасажирських швидкісних поїздів та матеріального забезпечення пасажирського господарства залізниць, УЗШК та інших операторських компаній; забезпечення оперативного коригування нормативно-довідкової інформації стосовно пасажирських швидкісних поїздів для проведення логічних контролів повідомлень про рух поїздів.

Удосконалення АСК пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях є одним із напрямків підвищення ефективності пасажирської технічної станції. Вихідною інформацією, яка необхідна для функціонування системи, є дані про зміни стану та місцезнаходження пасажирських вагонів і составів.

На залізничному транспорті України впроваджене «Автоматизоване робоче місце ведення контрольних GPS-точок» (АРМ РКТ) для роботи з множиною контрольних точок, за якими здійснюється прив'язка геодезичного місцезнаходження рухомих одиниць до об'єктів інфраструктури залізничної мережі. АРМ реалізований за WEB-технологією в середовищі єдиного корпоративного порталу ПАТ «Укрзалізниця» (ЄКІП УЗ).

Основою інтерфейсу АРМ РКТ є картографічне зображення земної поверхні. Зображення в робочій ділянці повинно мати змогу масштабуватися та пересуватися. Контрольні точки, які вже мають геодезичні координати, відбиваються на зображенні відповідними загальноприйнятими значками [8].

Робота АРМ РКТ здійснюється в робочій ділянці екрана (на карті). Ця ділянка повинна мати такі властивості:

- пересування карти в робочій ділянці шляхом «перетягування зображення» нічим не обмежено. Але в ній відображаються та/або коригуються тільки ті точки, які обмежені типами та полігоном доступу користувача. При цьому не має значення, який полігон обраний у відповідному пункті меню – користувач бачить і може редагувати усі точки, на які має права, навіть тоді, коли він вийшов за межі обраного у відповідному пункті меню полігона;

- підведення курсора миші до будь-якої точки («червоної» або «синьої») ініціює появу спливаючої підказки з описом основних характеристик цієї точки;

- точки, які відображаються червоним кольором (доступні для коригування), можуть «перетягуватися» по карті з одного місця на інше. Для них також можливе «перетягування» кінцевого маркера азимута напрямку прямого проходження. Всі ці дії приводять до зміни координатних даних за обраною точкою. Ці ж дії для «синіх» точок ігноруються (не виконуються);

- клік правою клавішею миші по будь-якій «червоній» точці ініціює спливаюче меню з пунктами «редагувати точку», «дезактивувати точку» та «видалити точку». Ця ж дія для «синіх» точок ігнорується;

- вибір пункту «редагувати точку» ініціює появу спеціальної форми, в якій користувач може змінити деякі залізничні дані щодо точки. Більш детально цю форму доцільно розглянути далі, при розгляді даних, що характеризують точки. Вибір будь-якого з інших двох пунктів веде до запиту підтвердження цієї дії і, у випадку підтвердження, – до відповідної зміни даних щодо точки;

- клік правою клавішею миші по будь-якій точці на карті, не зайнятій «червоною» або «синьою» контрольною точкою, інтерпретується як бажання користувача створити у цьому місці нову контрольну точку. Відповідно цей клік ініціює

спливаюче меню з переліком типів точок, які користувач може створити (цей тип належить множині типів точок, обраних ним для коригування). Вибір одного з наведених типів ініціює ще одне спливаюче меню з вибором об'єкта-володаря точки (для типів точок даної версії АРМ РКТ – це вибір станції). Вибір об'єкта-володаря веде до появи форми для створення нової контрольної точки даного типу. Фактично це та сама форма, що і вищезгадана форма для редагування залізничних даних щодо точки (відмінність тільки в режимі (особливостях) її відпрацювання).

Крім того, зображення в робочій ділянці АРМ може масштабуватися за допомогою коліщата миші. Але для зручності роботи з контрольними точками в цій ділянці повинен бути і стандартний об'єкт для відображення та дискретної зміни масштабу, а також стандартний значок, що показує розмір поточного масштабу (відрізок із зазначенням відстані, яка йому відповідає).

Необхідно враховувати, що контрольні точки різних типів мають деякі особливості свого коригування і можуть мати різних користувачів, які зацікавлені у їхній наявності.

Робоча ділянка відводиться для картографічного зображення земної поверхні та точок. Меню АРМ РКТ включає пункти: «Полігон»; «Точки»; «Налаштування».

Пункт меню «Полігон» забезпечує розгортання дерева полігона УЗ: «УЗ» - «Залізниця» - «Дирекція» - «Станція».

Згідно з поточним вибором полігона, в робочій ділянці екрана відображається карта відповідного фрагмента земної поверхні (з відповідною підгонкою масштабу зображення).

Пункт меню «Точки» забезпечує можливість обрання типів точок, які мають відображатися на карті. Для відображення можна помітити декілька типів точок (більше одного). Завершення вибору фіксується екранною кнопкою «Показати».

Перелік обраних типів точок відразу відбивається у ділянці відображення параметрів. За умовчанням (при початку роботи АРМ) вважається, що жодний тип точок не обраний.

Відповідно до поточного вибору точки обраних типів відбиваються в робочій ділянці екрана АРМ. Причому стандартні значки точок мають синій колір, а азимути їх напрямків не відображаються (тільки локації точок).

Пункт меню «Налаштування» включає два підпункти: «Похибка позиціонування» та «Точки для редагування». Вибір підпункту «Похибка позиціонування» дозволяє користувачу обрати радіус кола (з центром в точці). Похибка встановлюється в метрах і може змінюватися користувачем в заданому (фіксованому) діапазоні. За умовчанням значення цього радіуса приймається рівним 5 м (на поточний момент це мінімальна похибка позиціонування трекерів, що встановлюються на тяговому рухомому складі (ТРС)). Значення цього радіуса відбивається в ділянці відображення параметрів. Відповідні до обраного радіуса кола навкруги точок відображаються напівпрозорим блакитним кольором, але тільки для тих точок, які можуть редагуватися.

Підпункт «Точки для редагування» призначений саме для вибору тих типів точок, що підлягають редагуванню. Щодо оформлення робота з цим підпунктом аналогічна вищенаведеній роботі з пунктом «Точки», але має певні особливості:

- перелік типів точок, що можна обрати для редагування, не може бути більше того переліку, який обраний в меню «Точки» на поточний момент роботи АРМ;

- цей перелік не може бути більше обмежень, що обумовлені рівнем доступу конкретного користувача до АРМ РКТ. Зокрема, для користувачів, які не мають доступу до коригування будь-яких типів точок, цей пункт меню («Редагування») може бути взагалі неактивним. Він може стати неактивним і в тому випадку, коли

доступних для коригування даним користувачем типів точок немає серед обраних ним в пункті «Точки».

Точки, що можуть редагуватися (їх типи, звичайно, відбиваються в ділянці відображення параметрів), наносяться на карту червоним кольором. Крім того, для них на карті відображається коло похибки і напрямок азимута прямого проходження.

У зв'язку із змінами в роботі пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях [1] для зручності навігації в АРМ РКП користувачів залізничних послуг необхідно додати комплекс господарських об'єктів:

- УЗШК;
- регіональні філії-залізниці;
- виробничі підрозділи-дирекції залізничних перевезень;
- агент – юридична особа, що від імені перевізника здійснює окремі його функції на підставі укладеного між ними договору;
- договірний перевізник – юридична особа, що уклала з пасажиром (відправником) договір перевезення, відповідно до якого зобов'язалася доставити пасажирів, довірений відправником багаж і товаробагаж з пункту відправлення в пункт призначення, а також видати багаж і товаробагаж у пункті призначення або передати пасажирів, багаж і товаробагаж наступному перевізникові;
- оператор вагонів – юридична особа, що має пасажирські або багажні вагони на праві власності або іншому праві та бере участь, на основі договору з перевізником, у здійсненні перевізничного процесу з використанням зазначених вагонів;
- перевізник – договірний перевізник і всі наступні перевізники, що беруть участь у перевезенні пасажирів, багажу і товаробагажу;

- наступний перевізник – юридична особа, що прийняла від договірного перевізника зобов'язання щодо подальшого перевезення пасажирів, багажу і товаробагажу в пункт призначення або зобов'язання щодо передачі пасажирів, багажу і товаробагажу наступному перевізникові;

- керуючий інфраструктурою – особа, що надає перевізникам послуги з використання інфраструктури;

- фактичний перевізник – юридична особа, що не уклала договір перевезення з пасажиром або якій договірний або наступний перевізник довірив здійснювати залізничне перевезення на певній ділянці.

Усі перелічені об'єкти для зручності використання доцільно організувати як дерево, коренем якого є УЗ, і далі: РФ-залізниця - ВП-дирекція - станція - елемент інфраструктури залізничного транспорту. Пасажирський комплекс повинен мати зв'язок як із примикаючими перегонами, вагонним та локомотивним депо, так і з іншими елементами залізничної інфраструктури (вокзали, мийно-екіпірувальні лінії, пасажирські технічні станції тощо).

Вимоги до документування відповідають загальним вимогам документування АСК ВП УЗ-С. АРМ для ведення розкладу руху пасажирських поїздів призначений для підтримки розкладу руху в актуальному стані, для проведення логічного контролю повідомлень про рух пасажирських і приміських поїздів [3-4].

Модель тривалості проходження по напрямку пасажирського швидкісного поїзда власності УЗШК або іншого оператора вагонів визначають «зворотним» розрахунком часу виходячи з підрахунку часу руху по перегону й розгону-уповільнення

$$F(T_{nc_i}) = f \left[ \frac{L_i}{\mu_1 \cdot v_{x_i}} + (K_{nc} \cdot \mu_2 + 1)(t_{cm}^{nc} + t_p^{nc} + t_y^{nc}) \right] \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $L_i$  – довжина ділянки обігу  $i$ -го пасажирського швидкісного поїзда, км;

$K_{nc}$  – кількість станцій зі стоянками пасажирських швидкісних поїздів;

$t_{cm}^{nc}, t_p^{nc}, t_y^{nc}$  – тривалість стоянок, розгону, уповільнення пасажирських швидкісних поїздів, год;

$\mu_1$  – коефіцієнт, що враховує підвищення швидкості пасажирських швидкісних поїздів;

$\mu_2$  – коефіцієнт, що враховує скорочення кількості стоянок пасажирських швидкісних поїздів.

При обмеженнях

$$\{60 \leq v_{x_i} \leq 160; 1 \leq \mu_1 \leq 2; 0,5 \leq \mu_2 \leq 1; 0 \leq K_{nc} \leq 3.$$

Наприклад, для швидкісного поїзда Інтерсіті+ № 719 Харків – Київ, що курсує щоденно,

$$T_{719}^{nc} = \frac{586,47}{1,33 \cdot 96,14} + (2 \cdot 0,76 + 1)(0,03 + 0,02 + 0,02) = 4,77 \text{ год.}$$

Як бачимо, похибка складає 0,9 %.

Модель обігу пасажирського швидкісного поїзда власності УЗШК або іншого оператора вагонів

$$F(T_{об_i}) = f \left[ \frac{L_i}{v_{марш_i}^{непар}} + \frac{L_i}{v_{марш_i}^{пар}} + t_{прписис} + t_{об} \right] \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $v_{марш}^{непар}, v_{марш}^{пар}$  – маршрутна швидкість відповідно: у непарному та парному напрямках, км/год;

$t_{прписис}$  – тривалість простою пасажирського швидкісного поїзда на станції приписки, год;

$t_{об}$  – тривалість простою пасажирського швидкісного поїзда на станції обігу, год.

При обмеженнях

$$\{100 \leq L_i \leq 1500; 50 \leq v_{марш_i}^{непар} \leq 160; 50 \leq v_{марш_i}^{пар} \leq 160.$$

Модель необхідної кількості составів пасажирського швидкісного поїзда власності УЗШК або іншого оператора вагонів

$$F(N_i) = f \left( \frac{T_{об_i}}{24} \right) \rightarrow \min, \quad (3)$$

де  $T_{об}$  – обіг пасажирського швидкісного поїзда, год;  $N_i$  – необхідна кількість складів пасажирського швидкісного поїзда.

При обмеженнях

$$0,5 \leq T_{об_i} \leq 1.$$



**Висновки.** Інформаційну технологію АСК пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях можливо побудувати на функціональній основі з метою чіткого, своєчасного та якісного обслуговування пасажирів. При цьому виділяються основні функції з обслуговування пасажирів: квитково-касова; довідково-інформаційна; сервісна; побутова, а також господарська діяльність з підтримки в належному стані пасажирської технічної станції, будівель та устаткування вокзалу.

Робота пасажирської станції та пасажирської технічної станції потребує

розробки Єдиного технологічного процесу роботи пасажирського комплексу.

Проблемні питання, що виникають при взаємодії пасажирської станції, пасажирської технічної станції, УЗШК та інших операторських компаній, потребують посади маневрового диспетчера-розпорядника або ДСПІ пасажирської технічної станції.

У зв'язку із змінами в роботі пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях для зручності навігації користувачів залізничних послуг запропоновано додатковий комплекс господарських об'єктів.

### *Список використаних джерел*

1. Соглашение о международном пассажирском сообщении (СМПС) с изменениями и дополнениями на 1 мая 2017 года (действует с 1 ноября 1951 г.) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.uz.gov.ua/passengers/smpps/>. – Загл. с экрана.
2. Концепція Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки (Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 31 грудня 2004 р. № 979-р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukraine.uaravno.net/data/base23/ukr23446.htm>. – Загол. з екрану.
3. Єдина автоматизована система керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki>. – Загол. з екрану.
4. Берестов, І. В. Вибір раціональної технології обслуговування составів у пасажирському комплексі [Текст] / І. В. Берестов, Г. В. Шаповал, Ю. В. Валуйська // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип.137. – С. 46-54.
5. Калашнікова, Т. Ю. Удосконалення інформаційно-керуючої системи залізниць в умовах інтегрованості [Текст] / Т.Ю. Калашнікова, Є.М. Кушкін, Є.Д. Куценко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 146. – С. 61-65.
6. Кулешов, В. В. Удосконалення автоматизованих систем пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях в умовах розвитку інформатизації [Текст]/ В. В. Кулешов, Д. М. Чеботарьов // Вагонный парк: міжнародний професійний журнал. – Харків: Залізничне видавництво «Рухомий склад», 2017. – № 3-4 (120-121). – С. 44-48.
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. Кулешов, В. В. Удосконалення моделі пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях в умовах розвитку систем супутникової навігації [Текст] / В. В. Кулешов, А. В. Кулешов, М. В. Мазур // Локомотив-Інформ: міжнародний професійний журнал. – Харків: Залізничне видавництво «Рухомий склад», 2017. – № 7-8(133-134). – С. 50-54.

9. Лючков, Д. С. Анализ внедрения скоростного железнодорожного движения в Украине [Текст] / Д. С. Лючков, Ю. Л. Бердник // Вагонный парк. – 2010. – № 12. – С. 28-30.
10. Розсоха, О. В. Моделювання пасажирських поїздопотоків високошвидкісних залізничних магістралей [Текст] / О. В. Розсоха, В. М. Солонець // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 5-13.
11. Дослідження функціонування пасажирської станції на основі теорії систем [Текст] / О. М. Ходаківський, О. М. Огар, Т. Ю. Калашнікова, Ю. В. Хоменко // Зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХП», 2009. – Вип. 8. – С. 69-73.
12. Newman, M. The structure and function of complex networks. SIAM Review, 2003. – 45. – P. 167-256.
13. Hugo M. Repolho, Richard L. Church, António P. Antunes. Optimizing station location and fleet composition for a high-speed rail line// Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. - Vol. 93, 2016. - P. 437-452.
14. Roger Vickerman. High-speed rail and regional development: the case of intermediate stations// Journal of Transport Geography. - Vol. 42, 2015. - P. 157-165.

---

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.

Шаповал Ганна Василівна, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.

Кулешов Антон Валерійович, інженер виробничого підрозділу «Харківське відділення» філії «Головний інформаційно-обчислювальний центр» ПАТ «Українська залізниця». Тел.: (063) 670-96-97.

E-mail: antonkuleshov@yahoo.com.

Громов Сергій Олександрович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

Лисенко Євгенія Миколаївна, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) 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.

Shapoval Ganna Vasilivna, PhD. Sc., assistant professor of railway stations and junctions Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.

Kuleshov Anton Valerievich, engineer of the production unit «Kharkiv branch» of the branch «Main information and computer center» PJSC «Ukrainian railway». Tel.: (063) 670-96-97. E-mail: antonkuleshov@yahoo.com.

Gromov Sergey Aleksandrovich, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42.

Lysenko Yevheniya Mykolayivna, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42.

Стаття прийнята 10.11.2017 р.

УДК 625.16

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ  
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОЛІСНИХ ПАР РУХОМОГО СКЛАДУ**

Магістрант К. М. Саркісян, д-р техн. наук О. В. Устенко

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ  
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОЛЕСНЫХ ПАР ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Магистрант К. М. Саркисян, д-р техн. наук А. В. Устенко

**ANALYSIS OF METHODS AND EXPERT EVALUATION OF OPERATIONAL  
CONTROL OF THE TECHNICAL STATE OF CHARGED PARTS OF MOBILE  
COMPOSITION**

Magistran K. M. Sarkisian, dr. tech. sciences A. V. Ustenko

*Наведено класифікацію методів оперативного контролю технічного стану колісних пар рухомого складу. Розглянуто системи оперативного діагностування за певними параметрами та методами, за допомогою яких проводиться діагностування колісних пар, оцінюються їх переваги та недоліки. Розроблена класифікація діагностичних методів і систем на загальний спектр несправностей або тільки окремих (тріщини, повзуни, відколи й ін.). Показано застосування методів і систем діагностування колісних пар в режимі експлуатації.*

**Ключові слова:** дефекти, діагностика, колісні пари, технічний стан, класифікація.

*Приведена классификация методов оперативного контроля технического состояния колесных пар подвижного состава. Рассмотрены системы оперативного диагностирования по определенным параметрам и методам, с помощью которых проводится диагностирование колесных пар, оцениваются их преимущества и недостатки. Разработана классификация диагностических методов и систем на общий спектр неисправностей или только отдельных (трещины, ползунки, сколы и др.). Показано применение методов и систем диагностирования колесных пар непосредственно в эксплуатации.*

**Ключевые слова:** дефекты, диагностика, колесные пары, техническое состояние, классификация.

*Classification of methods of diagnostics of wheel-sets of rolling stock is given. The systems of operative diagnosis by certain parameters and methods with the help of which wheel pairs are diagnosed, their advantages and disadvantages are considered. A classification of diagnostic methods and systems for a general spectrum of faults or only individual ones (cracks, sliders, chips, etc.) has been developed. The application of methods and systems for the diagnostics of wheel pairs is introduced. The improvement of existing and implementation of modern methods and systems of diagnostics and non-destructive testing is one of the main tasks of the repair enterprises of the country. The applied techniques of maintenance require the involvement of large human resources, which has a very negative impact on its quality. The existing and innovative diagnosis systems of wheel-sets for our country is classified. These systems run all the operations in a non-stop mode, allowing to ease the heavy work of the personnel, and thus reduce the probability of passing the faults (defects).*

**Keywords:** defects, diagnostics, wheel-sets, technical condition, classification.

**Вступ.** На сьогодні старіння наявного та впровадження нового швидкісного рухомого складу потребує впровадження сучасних систем оперативного контролю їх фактичного технічного стану, що дозволить скоротити ймовірність виникнення відмов в експлуатації. Колісні пари рухомого складу є найважливішими елементами екіпажної частини, від надійності яких залежить безпека руху поїздів. Візуальний контроль стану колісних пар, який проводиться локомотивною бригадою на шляху прямування, не є об'єктивним та не дозволяє виявляти дефекти прихованого характеру.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Завданням розробки методів оперативного контролю колісних пар присвячено безліч робіт вітчизняних і зарубіжних учених. Довгий час знос колісних пар виявлявся візуально і контактним вимірювальним інструментом. Починаючи з 2000-х років з'являються перші автоматичні системи оперативного контролю колісних пар на основі контактних елементів [1], вони характеризувалися високою точністю вимірювання. Однак контроль здійснювався при проходженні рухомого складу при швидкості 5-10 км/год. Використання нових матеріалів і технологій дозволило згодом удосконалювати системи контролю колісних пар. Стали з'являтися системи, що використовують п'єзоелектричні датчики [2], лазерні системи, що сканують колісну пару по колу кочення [3], або акустичні датчики, встановлені безпосередньо на рухомому складі [4]. Упроваджені бортові системи, що фіксують дефекти втоми бандажів колісних пар [5] або товщину гребеня під час руху [6]. Таким чином, нині на залізницях світу використовується кілька типів автоматизованих систем контролю колісних пар, кожна з яких має свої переваги і недоліки. Загальним їх недоліком є низька ефективність контролю

на високих швидкостях руху. З огляду на світову тенденцію розвитку швидкісного залізничного руху завдання вдосконалення систем автоматизованого контролю колісних пар в умовах швидкісного руху є актуальним.

**Визначення мети і завдань дослідження.** Проведення аналізу існуючих методів оперативного контролю колісних пар рухомого складу, наведення основних переваг та недоліків, виконання їх класифікації.

**Основна частина дослідження.** У ритмічному розвитку інфраструктури пасажироперевезень, де досягнення максимальної швидкості і безпеки руху рухомого складу висунуто на перший план, з'являється потреба в створенні експертно-інформаційних технологій оперативного контролю вузлів рухомого складу та модернізації вже наявних. В основу роботи систем оперативного контролю стану колісних пар закладають функції не тільки проведення безперервного діагностування вузлів, але і прийняття рішення про можливість подальшої експлуатації цього вузла.

Автоматизована система контролю колісних пар з використанням контактних методів дозволяє проводити вимірювання колісних пар рухомого складу в процесі руху поїзда зі швидкістю до 10 км/год (рис. 1). Вимірювальну ділянку довжиною 20 м 10-вагонний швидкісний поїзд проходить за 3 хв. Функціональність системи дозволяє одночасно виміряти відстань між поверхнею контакту колеса і гребеня, а також виміряти гребінь за допомогою важелів на коливальних опорах. У момент проходження вимірювальної ділянки сигнал від рухомого колеса надходить на стаціонарний пост, де сигнали від колісних пар з несправностями розшифровуються і заносяться в базу даних депо [1, 3].

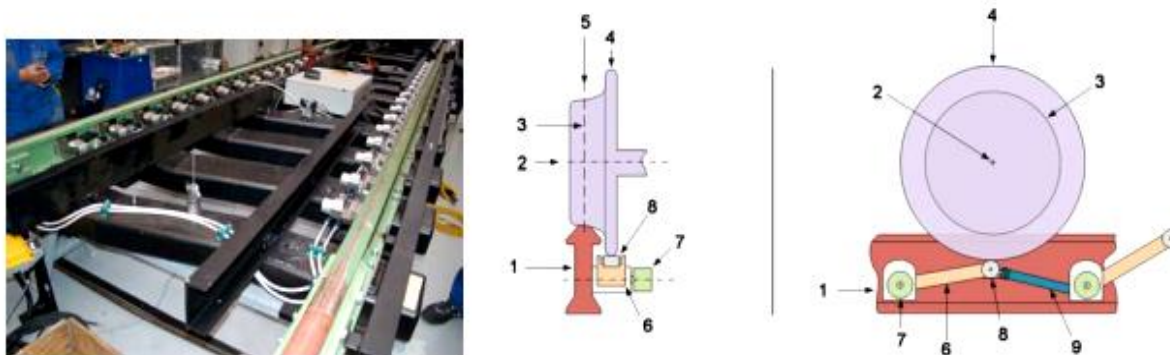


Рис. 1. Принцип роботи механізму вимірювання кола [1]:

1 – рейка; 2 – колісна вісь; 3 – поверхня катання; 4 – гребінь; 5 – вимірювальний контур; 6 – плече вимірюваного важеля; 7 – датчик кутових переміщень; 8 – вимірювальний ролик; 9 – пневматичний циліндр

Даний метод є простим і надійним, але залежність достовірності результатів механічних контактних елементів від умов зовнішнього середовища і зносів знижує його ефективність.

Діагностичний комплекс «ДИСК-БКВ-Ц» дозволяє в процесі експлуатації і руху рухомого складу через діагностичний пост фіксувати дефектні колісні пари за допомогою акустичних датчиків. Принцип роботи системи простий і полягає в такому: колісний центр з будь-яким дефектом викликає удари по рейці, нетипові для

справного, чим викликає певні імпульси. При русі рухомого складу через діагностичний пост сигнали, що надходять від руху поїзда, фіксуються і переводяться в електричний сигнал, що надходить на стаціонарний пост (рис. 2) для розшифровки і побудови діаграми.

Автоматизовані системи, які проводять операції за допомогою лазерних променів (рис. 3), здатні фіксувати виникнення несправності задовго до їх прояву на стаціонарних системах, застосовуваних в депо.

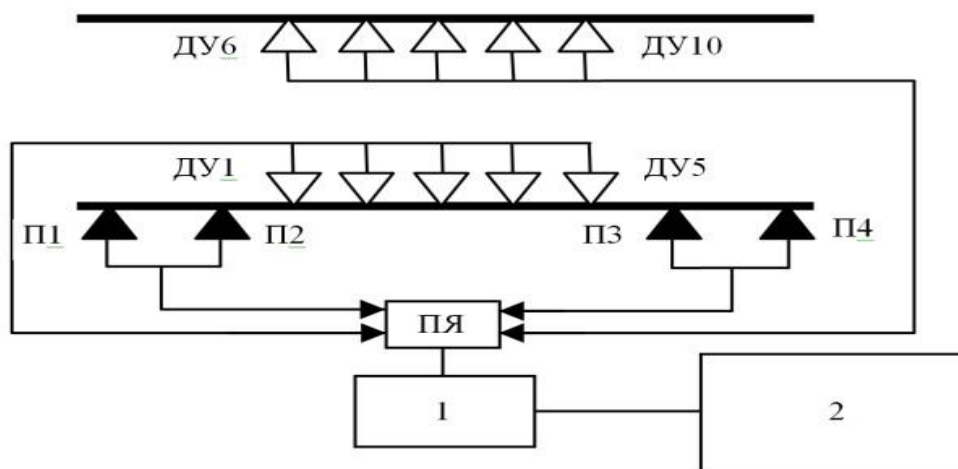


Рис. 2. Структурна схема апаратури «Диск» [7]:

1 – постова апаратура; 2 – стаціонарна апаратура

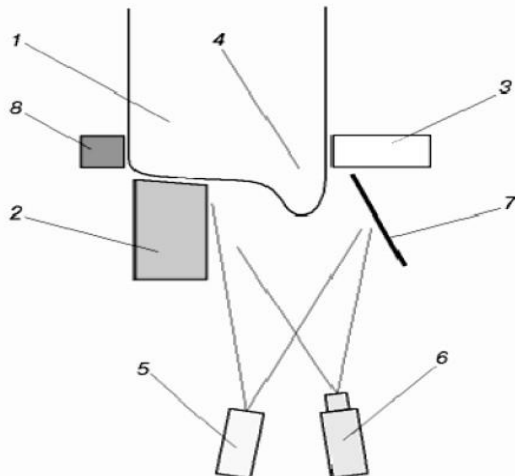


Рис. 3. Схема розташування обладнання системи «EVA» [7]:  
1 – колесо; 2 – напрямна плита; 3 – захисна рейка; 4 – гребінь; 5 – лазер; 6 – камера;  
7 – дзеркало; 8 – датчик положення колеса

Негативними аспектами подібних систем є помилки при діагностуванні в сонячні дні, при попаданні променів світла на об'єкт.

Почали застосовувати вузькосмугові фільтри, що частково вирішило проблему. Іншим негативним аспектом системи є потреба у зміні геометрії рейки при проведенні діагностичних операцій в освітлюваних місцях і при попаданні променів світла безпосередньо на об'єкт, що вкрай негативно позначається на міцності рейкового полотна. Щоб

компенсувати модифікації полотна, почали застосовувати захисні елементи, після чого знизилася швидкість проведення вимірювань до 15 км/год [2,7].

Діагностичний комплекс контролю геометричних параметрів колісних пар дає можливість проводити діагностику на відкритому повітрі (рис. 4), без потреби істотного зниження швидкості (до 60 км/год). Комплекс систем дозволяє перевіряти в невинному режимі основні параметри колісних пар (товщина гребеня і обода).

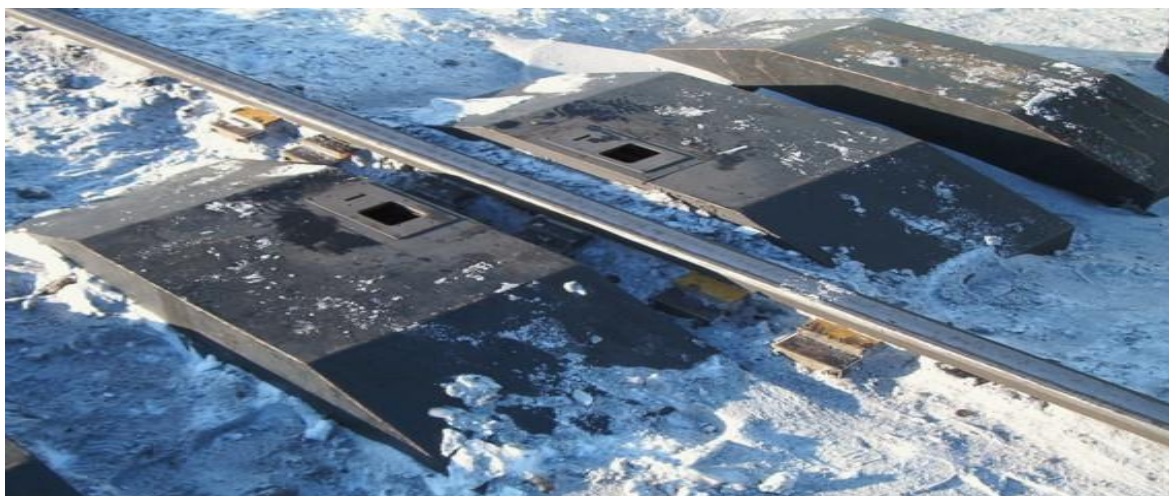


Рис. 4. Вимірювальні датчики ДККГП КП

При проходженні ділянки датчики, встановлені по обидва боки головки рейки, заміряють колісну пару і відправляють дані на пост, де вони розпізнаються і заносяться в базу для співвідношення з попередніми перевірками.

Перевагою даної системи є відсутність серйозних обмежень в швидкості руху поїздів, що позитивно позначається на графіку руху та експлуатаційної роботи в цілому.

Використання різного роду датчиків, встановлених безпосередньо на візку або колісній парі (рис. 5), дозволяє проводити діагностичні операції і отримувати

конкретний звіт про задану колісну пару, дозволяє більш детально оцінювати її стан, аналізуючи дані в реальному часі за допомогою радіопередавачів, установлених на рухомому складі. Такі засоби діагностування мають кілька недоліків, одним з яких є потреба великих фінансових вкладень на придбання датчиків та встановлення їх на кожну колісну пару, іншим, більш серйозним, виступає їх неточність через підвищену запиленість в місцях їх установлення, що знижує рівень інформації і потребує додаткових перевірок, несе за собою фінансові витрати [8].

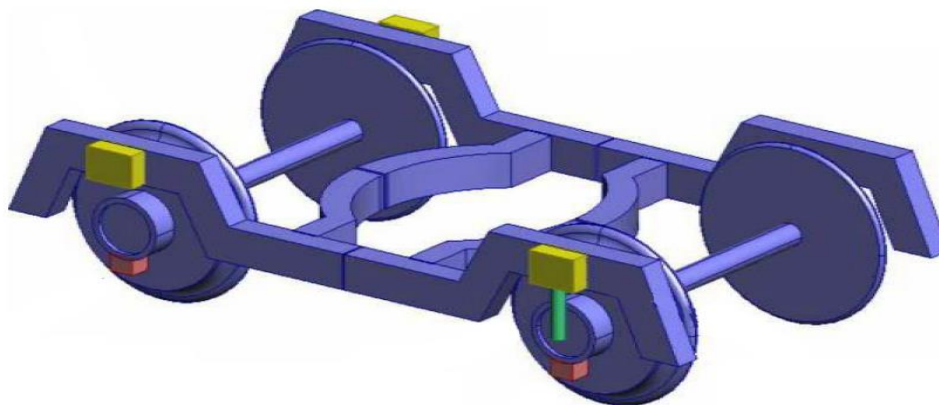


Рис. 5. Положення датчика на візку і колісній парі [8]

Кількість діагностичної інформації визначається не тільки технічними властивостями самого засобу технічної діагностики як способу вимірювання параметра (рис. 6), а більшою мірою тим, як цей технічний засіб використовується, якою є технологія, алгоритм діагностування. Оптимальні розв'язання завдань технічної діагностики можуть бути отримані тільки в результаті аналізу безлічі станів, в яких об'єкт діагностування може перебувати в період експлуатації.

У зв'язку з цим потрібні спеціальні методи для теоретичного аналізу безлічі можливих станів технічних об'єктів.

Подібні методи ґрунтуються на дослідженні аналітичних описів або графоаналітичних уявлень основних властивостей об'єкта діагностування, які можуть бути подані їх діагностичною моделлю (рис. 7). Діагностична модель може містити безліч різних діагностичних ознак.

Частина характеристик  $R$  і всі параметри  $F$ ,  $E$ ,  $V$ , наведені в діагностичній моделі, можуть бути використані як діагностичні параметри, тобто утворюють робочий діагностичний простір, а потім, природно, виникає проблема їх вимірювання, оцінки й виявлення ознак.

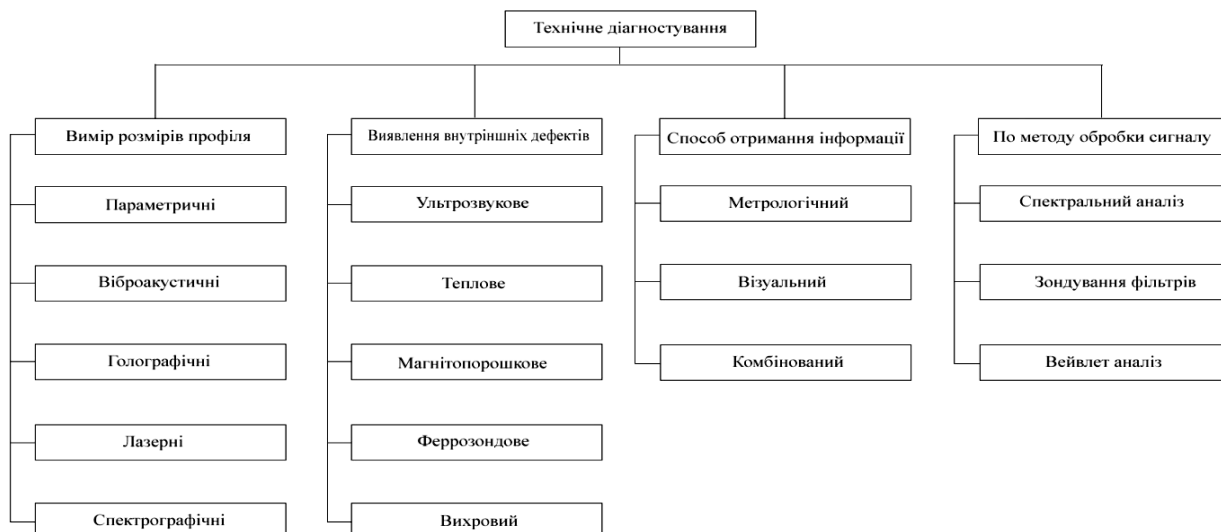


Рис. 6. Класифікація методів технічного діагностування рухомого складу



Рис. 7. Діагностична модель колісної пари

Для оцінки методів контролю стану колісних пар проводилося анкетування за методом Дельфі [9]: методика, що дозволяє за допомогою опитувань або інтерв'ю отримати максимальне узгодження для визначення правильного рішення. Щоб отримати більш точні результати дослідження, було опитано 20 фахівців у галузі діагностики і неруйнівного контролю

локомотивів. Для оцінювання ефективності методів оперативного контролю колісних пар рухомого складу застосовувалася шкала в балах від 1 до 5.

При аналізі отриманих даних опитаних була здійснена статистична обробка даних, визначено середнє значення, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт варіації. Результати аналізу анкетних даних наведені в таблиці.



Ефективність методів оперативного контролю колісних пар

№ п/п	Метод контролю	Середнє значення	Середньоквадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації
1	Параметричний	2,84	0,69	24,22
2	Віброакустичний	3,58	0,51	14,17
3	Голографічний	3,89	0,32	8,10
4	Лазерний	3,95	0,23	5,81
5	Спектрографічний	3,84	0,37	9,75
6	Ультразвуковий	3,74	0,45	12,11
7	Тепловий	2,63	0,50	18,83
8	Магнітопорошковий	2,53	0,51	20,31
9	Ферозондовий	2,79	0,71	25,57
10	Вихровий	2,84	0,69	24,22

Визначальним параметром при оцінці ефективності методів оперативного контролю взяли середнє значення кожного методу контролю. Отримавши результати аналізу анкет, визначили, що найбільшим середнім значенням оцінки при оперативному контролі технічного стану колісних пар рухомого складу є лазерний метод, менш ефективними ж, на думку опитаних, висунути: голографічний, спектрографічний, ультразвуковий, віброакустичний, параметричний, вихровий, ферозондовий, тепловий та магнітопорошковий.

**Висновки.** З огляду на проведений аналіз та експертну оцінку сучасних методів контролю стану колісних пар рухомого складу їх можна класифікувати за критеріями вимірювання розмірів профіля, виявлення внутрішніх дефектів, способом отримання інформації та за методом обробки сигналу. Найбільш перспективними методами, що можуть здійснювати контроль параметрів колісних пар швидкісного рухомого складу, нині є лазерні, голографічні та спектрографічні.

#### Список використаних джерел

1. Хаушилд, Г. Автоматическая диагностика колесных пар с помощью системы ARGUS [Текст] / Г. Хаушилд, Ф. Кассиди // Железные дороги мира. – 2001. – №12. – С. 36-42.
2. Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта [Текст] / под ред. В. Ф. Криворудченко, Р. А. Ахмеджанова. – М.: Маршрут, 2005. – 428 с.
3. Руководство по эксплуатации: Система диагностирования колесных пар [Текст]: нормативно-технический материал. – Эркеленц: HEGENSCHIEDT-MFD, 2009. – 103 с.
4. Lamari A. C. Rolling stock bearing condition monitoring systems [Text] / A. Lamari // University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying. - 2008. - № 8 (281). – 116 p.
5. Monje P., Aranguren G., Martinez B., Casado L., Using bogie-mounted sensors to measure wheel rolling and sliding in railway tracks Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers [Text] / P. Monje // Journal of Rail and Rapid Transit. – 2011. - №4 (225). – P. 1-13.
6. Matsumoto A., Sato Y., Ohno H., Tomeoka M., Matsumoto K., Kurihara J., Ogino T., Tanimoto M., Kishimoto Y., Sato Y., Nakai T. A new measuring method of wheel-rail contact forces and related considerations [Text] / A. Matsumoto // Wear. – 2008. - № 10-11 (265) – P. 9-10.

7. Буряк, С. Ю. Диагностирование состояния поверхности катания колеса подвижного состава железных дорог [Текст] / С. Буряк // Наука та прогрес транспорту: Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2013. - № 1 (43). – С. 22-29.

8. Ngigi R. W., Pislaru C., Ball A., Gu F. Modern techniques for condition monitoring of railway vehicle dynamics [Text] // Journal of Physics: Conference Series. – 2012. – № 364. – P. 13.

9. Анализ стратегий и разработка комплексных программ [Текст] / под ред. В. А. Агафонова. – М.: Наука, 1990. – 245 с.

---

Саркісян Карен Мікаелович, магістрант ШПК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (066) 264-19-30. E-mail: nikotin.fmr@gmail.com.

Устенко Олександр Вікторович, професор, д-р техн. наук, декан механіко-енергетичного факультету Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (050) 402-24-11. E-mail: av.ustenko@gmail.com.

Sarkisian Karen Mikaelovich, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (066) 264-19-30. E-mail: nikotin.fmr@gmail.com.

Ustenko Alexander Viktorovich, professor, Dr. Tech. Sciences, Dean, Faculty of Mechanics and Energy of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (050) 402-24-11. E-mail: av.ustenko@gmail.com.

Стаття прийнята 13.11.2017 р.

**УДК 656.22**

## **СУЧАСНІ НАПРЯМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ РУХУ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ СВІТУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ УПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ**

**Д-р техн. наук А. В. Прохорченко, магістранти В. В. Маловічко, О. М. Декарчук, О. М. Красноштан, Н. В. Казмірчук**

## **СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ Поездов на железных дорогах мира и перспективы их внедрения в Украине**

**Д-р техн. наук А. В. Прохорченко, магістранты В. В. Маловичко, А. Н. Декарчук, А. М. Красноштан, Н. В. Казмирчук**

## **MODERN DIRECTIONS OF AUTOMATION OF TRAIN DISPATCHING ON THE RAILWAYS OF THE WORLD AND PERSPECTIVES OF THEIR IMPLEMENTATION IN UKRAINE**

**Dr.Sc. A. Prokhorchenko, master students V. V. Malovichko, O. M. Dekarchuk, O. M. Krasnoshtan, N. V. Kazmirchuk**

*Досліджено існуючі напрями автоматизації диспетчеризації руху поїздів на залізницях світу та можливості їх упровадження на залізничному транспорті України. Проаналізовано досвід створення регіональних диспетчерських центрів управління на залізницях Франції та Німеччини. Досліджено зміни в структурі системи диспетчерського управління в умовах підвищення швидкості руху поїздів. Відповідно до проведеного аналізу*

визначено стратегію удосконалення диспетчеризації руху поїздів для ПАТ “Українська залізниця”.

**Ключові слова:** залізниця, автоматизація, диспетчеризація, поїзд, диспетчерський центр управління.

*Исследованы существующие направления автоматизации диспетчеризации движения поездов на железных дорогах мира и возможности их внедрения на железнодорожном транспорте Украины. Проведен анализ опыта создания региональных диспетчерских центров управления на железных дорогах Франции и Германии. Исследованы изменения в структуре системы диспетчерского управления в условиях повышения скорости движения поездов. Согласно проведенному анализу определена стратегия усовершенствования диспетчеризации движения поездов для ПАО "Украинская железная дорога".*

**Ключевые слова:** железная дорога, автоматизация, диспетчеризация, поезд, диспетчерский центр управления.

*In this work the existing directions of automation of train traffic dispatching on the railways of the world and possibilities of their introduction on the railway transport of Ukraine are investigated. Following the example of countries such as France and Germany, the transformation of the spatial structure of the dispatch control system of trains has been analyzed. The analysis of the experience of creating regional dispatch control centers on the railways of the world is carried out. The changes in the structure of the dispatch control system in conditions of increase of speed of trains' movement are investigated. Formulated principles of the organization of the space of dispatching center premises at the national and regional levels in the conditions of rail transport reform on the model of partial vertical division. A comparative analysis of strategies for the implementation of regional dispatch centers on the basis of estimating the performance of the railway network in relation to the number of regional centers on the network of various EU railway companies is carried out. According to the analysis, the strategy for improving of train dispatching for Ukrainian Railways has been determined. Recommendations on directions of automation of dispatching of train traffic on the railways of Ukraine are given.*

**Keywords:** railway, automation, dispatching, train, dispat control center.

**Вступ.** Розвиток конкуренції на ринку перевезень між різними видами транспорту вимагає від залізничного транспорту постійного пошуку більш ефективних механізмів організації перевезень для зменшення операційних витрат, підвищення власної енергоефективності та продуктивності. Одним із основних механізмів підвищення ефективності операційної діяльності залізничної компанії є автоматизація процесів диспетчеризації перевезень [1, 2]. В умовах відсутності значних капітальних вкладень у розвиток інфраструктури багато проблем можна вирішити лише створивши якісну систему управління рухом поїздів, що дасть змогу підвищити безпеку руху, пропускну спроможність, збільшити швидкість

перевезення вантажів і пасажирів, покращити точність та надійність перевізного процесу. Це в сучасних умовах є визначальним для конкурентоспроможності залізничного транспорту, зокрема в умовах залізничних високошвидкісних або швидкісних пасажирських перевезень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми удосконалення диспетчерського управління на залізничному транспорті як України, так і інших країн із залізницями з подібним технічним оснащенням і організаційною структурою досліджувало багато вчених і практиків [3-5]. Розвиток системи диспетчерського управління на залізницях України, як і всього пострадянського простору, відповідав сучасним тенденціям

організації експлуатаційної роботи залізниць світу. Однак після 1990-х років за відсутності фінансових можливостей залізниці України поступово почали відставати за темпами розвитку систем диспетчеризації від провідних залізниць світу. В умовах розвитку інформатизації та значного підвищення швидкості руху поїздів (упровадження високошвидкісного руху поїздів) більшість залізниць світу почали значні структурні та організаційні зміни у своїх системах диспетчерського управління з метою адаптації до сучасних вимог реалізації перевізного процесу. На залізницях України автоматизація планування перевезень набула високого рівня розвитку (АСК ВП УЗ-Є та АСК ПП УЗ). Однак автоматизація диспетчеризації на рівні оперативного управління рухом поїздів є досить фрагментованою і нерозвиненою. Процес створення сучасних диспетчерських центрів управління (ДЦУ) набув затяжного характеру через відсутність фінансування. Мало уваги приділяється впровадженню сучасних систем диспетчерської централізації та контролю. Повністю відсутній автоматичний контроль руху поїздів на мережі, що призводить до впливу людського фактора на якість оцінювання точності руху поїздів відповідно до нормативного графіка руху. Не автоматизованою залишається низка етапів у процесі управління рухом поїздів – розроблення нормативного графіка руху поїздів, аналіз рівня виконання нормативного графіка руху поїздів з урахуванням причин затримок поїздів тощо. Особливої актуальності вирішення вищенаведених завдань набуває в умовах реформування ПАТ “Українська залізниця” (ПАТ УЗ) за моделлю часткового вертикального розділення. За таких умов пошук стратегій удосконалення диспетчеризації руху поїздів у ПАТ УЗ, що даватимуть змогу в короткі строки підвищити ефективність управління перевезеннями, є актуальним і потребує практичного вирішення.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою цього дослідження є проведення аналізу існуючих напрямів автоматизації диспетчеризації руху поїздів на залізницях світу та можливості їх запровадження на залізничному транспорті України. Відповідно до проведеного аналізу визначити стратегію удосконалення диспетчеризації руху поїздів для ПАТ УЗ.

**Основна частина дослідження.** Відповідно до проведеного аналізу [6, 7] можна навести основні фактори, що спонукають залізничні компанії до автоматизації диспетчеризації руху поїздів, а саме: розвиток інформатизації в конкурентних галузях; значне підвищення швидкості руху поїздів; здійснення експлуатаційної роботи на межі перевантаження залізничної мережі; вимоги до зменшення операційних витрат для підвищення енергоефективності та продуктивності залізничних компаній; зростаючі вимоги до забезпечення безпеки руху.

У всьому світі система диспетчерського управління рухом поїздів на залізничній мережі має ієрархічну структуру відповідно до функціонального призначення та топології мережі. Головною причиною появи ієрархії в системі є її складність. Однак розвиток інформаційно-комунікаційних технологій та елементної бази на цей час дає змогу значно спростити архітектуру систем диспетчеризації руху поїздів [8]. На рис. 1 наведено трансформацію ієрархічної структури системи диспетчерського управління рухом поїздів в умовах підвищення швидкості руху поїздів, запровадження сучасних засобів передачі інформації, цифрових оптоволоконних ліній зв'язку тощо. Відповідно до наведеної схеми на рис. 1 основною зміною на цей час є об'єднання функцій диспетчеризації та віддаленого контролю руху поїздів [9]. За таких умов на всіх залізницях світу можна спостерігати поступовий перехід від трирівневої системи диспетчерського управління до дворівневої – це національний та регіональний рівні.

На залізницях України на цей час функціонує чотирирівнева структура систем диспетчерського управління [10]: на національному рівні диспетчеризацію здійснює Департамент управління рухом; на регіональному – служби перевезень (Д), у межах територіального поділу яких функціонують Дирекції залізничних перевезень (ДН), які у своїй структурі мають диспетчерський апарат, зокрема поїзних диспетчерів (ДНЦ), що здійснюють управління рухом поїздів на дільницях у межах дирекцій і станціях через чергових

по станції, які реалізують диспетчеризацію на лінійному рівні. Однак досвід побудови диспетчерських центрів управління (ДЦУ) на регіональних філіях Донецької залізниці (на цей час ДЦУ перебуває в окупованому місті Донецьк) та Південної залізниці (на цей час діє у місті Харків) ПАТ УЗ дає змогу вважати можливим існування трирівневої системи диспетчерського управління, що передбачає об'єднання на рівні служби перевезень у межах ДЦУ всього диспетчерського апарату дирекцій.

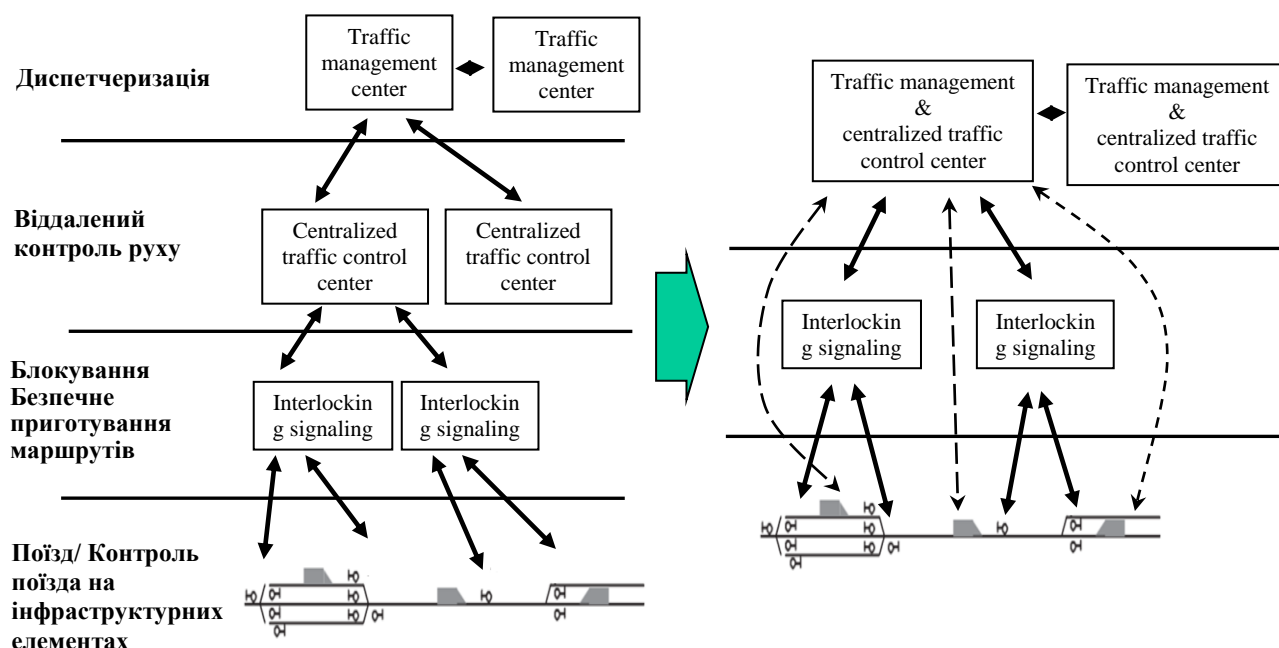


Рис. 1. Трансформація ієрархічної структури системи диспетчерського управління рухом поїздів в умовах підвищення швидкості руху поїздів та впровадження сучасного рівня автоматизації

За прикладом таких країн, як Франція та Німеччина, на рис. 2 наведена трансформація просторової структури системи диспетчерського управління рухом поїздів [11]. Слід констатувати, хоч топології залізничних мереж цих країн є різними, так, у Франції – моноцентрична структура, а у Німеччині – поліцентрична, однак трансформація просторової структури системи диспетчерського управління рухом відбувається за однаковим

принципом – концентрація управління в межах регіональних підмереж на базі операційних центрів. Концепція регіональних диспетчерських центрів передбачає з'єднання інформаційно-керуючих систем і систем СЦБ, а також концентрацію в одному місці – регіональному диспетчерському центрі – основних завдань керівництва експлуатаційним процесом, а саме: планування, диспетчерське регулювання й оперативне управління [12].

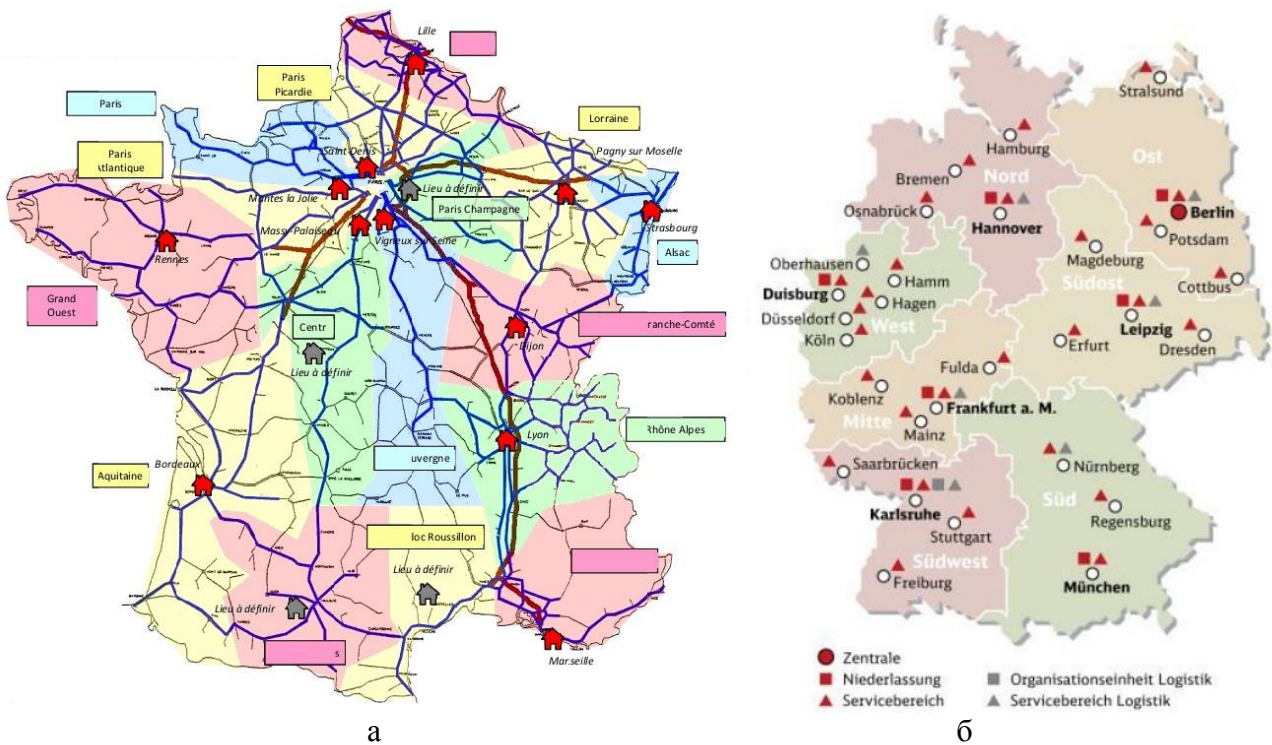


Рис. 2. Трансформація просторової структури системи диспетчерського управління рухом поїздів: а – зони управління на залізницях Франції (16 регіональних операційних центрів); б – зони управління на залізницях Німеччини (7 регіональних операційних центрів)

Сучасні системи диспетчерського управління вимагають функцій, що виходять за межі основних функцій відстеження і керування рухом поїздів на лініях середньої і малої завантаженості, які мають відносно прості конфігурації. Ці розширені можливості містять у собі [6, 13]:

- підвищення рівня автоматизації шляхом контролю великих станцій, що мають більш складні конфігурації;
- збільшення щільності руху через управління групами поїздів (спеціалізований трафік) та дотримання заданих інтервалів часу;
- прогнозування та аналіз збоїв прямування поїздів з можливістю підтримки прийняття рішень щодо корегування руху поїздів для зменшення впливу затримок (автоматичне регулювання руху);
- швидкий інформаційний обмін щодо умов руху між персоналом центрів управління та поїздами;

- поліпшення таких інформаційних послуг, як автоматичне інформування пасажирів у реальному часі відповідно до умов руху.

У класичній постановці диспетчеризації кожна підсистема управляється відокремлено. Ураховуючи неефективність такого підходу, в умовах підвищення швидкості руху поїздів змінюються вимоги, що потребують інтеграції управління всіма підсистемами залізничної інфраструктури в єдиному просторі (рис. 3) [14]. По суті відбувається зміна парадигми від системи управління рухом поїздів на станціях та лініях до інтегрованої операційної системи, що об'єднує управління всіма підсистемами інфраструктурного комплексу на залізничній підмережі або мережі в цілому [14].

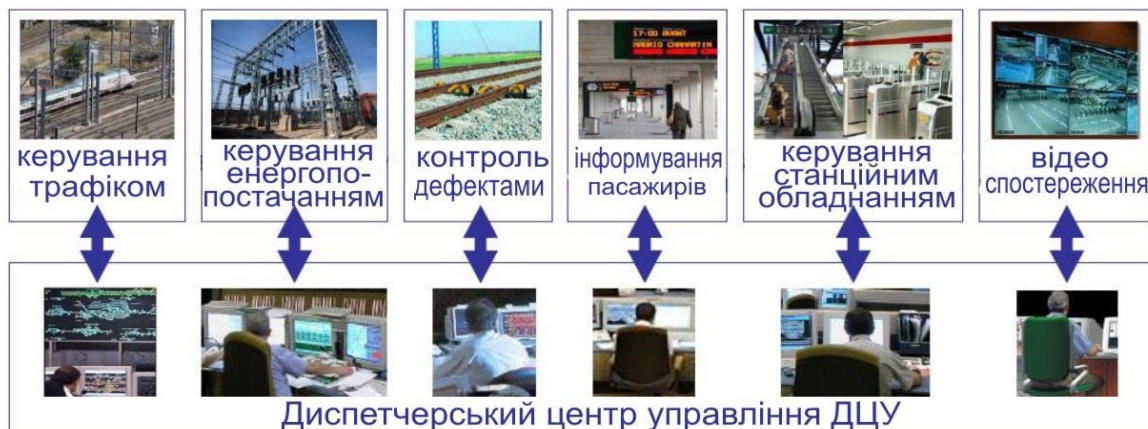


Рис. 3. Трансформація системи диспетчерського управління до інтегрованої інтелектуальної транспортної системи управління (англ., Integrated Intelligent Transport Management System)

В умовах об'єднання функцій управління змінюються вимоги до організації простору у диспетчерському центрі. Одним із прикладів зміни простору приміщень в умовах підвищення швидкості руху поїздів є ДЦУ, що управляє лінією Сінкансен у Японії, усі поїзні диспетчери, керівництво в одній зоні для швидкого прийняття рішень, позаду автоматизовані робочі місця диспетчерів служб з контролю справності СЦБ, інфраструктури, енергопостачання, контролю метеоумов (попередження на лінії виникають через вітер, землетруси тощо) [15]. За таким же принципом організується простір приміщень диспетчерських центрів на національному та регіональному рівнях на залізницях Франції та Німеччини. Для

можливості реалізації нових вимог залізничні компанії реалізують програми, що передбачають побудову нових будівель для організації ДЦУ. На рис. 4 подано фото сучасних будівель у стилі хай-тек регіональних диспетчерських центрів у Франції (місто Діжон) та Німеччині (місто Мюнхен).

Ураховуючи, що залізниці Франції й Німеччини, як і України, реформуються за моделлю часткового вертикального розділення, і у них є незвичні новації в організації простору диспетчерських центрів – це надання на оплатній основі робочих місць для диспетчерів представників незалежних компаній-перевізників, що користуються послугами з допуску до залізничної інфраструктури.



а



б

Рис. 4. Фото сучасних будівель регіональних диспетчерських центрів: а – у Франції (м. Діжон); б – у Німеччині (м. Мюнхен)

В умовах реформування залізничного транспорту за моделлю вертикального розділення, що передбачає розділення функцій управління інфраструктурою та здійснення експлуатаційної діяльності, особливо важливим є побудова інформаційної системи, що передбачає якісний контроль руху поїздів відповідно до нормативного графіка руху поїздів. У таких умовах упроваджується новий підхід до автоматизації диспетчерського управління рухом поїздів, запропонувавши автоматизовані системи управління (АСУ), що дають змогу об'єднати в одному інформаційному полі завдання розроблення корегування та оперативного супроводу графіка руху поїздів, планування

обслуговування і ремонту інфраструктури, аналіз і прийняття рішень в умовах збоїв графіка руху [6, 16]. У такому програмному комплексі можливе в реальному часі безперервне порівняння фактичних даних про рух поїздів з плановим графіком, а при відхиленнях від нього фіксується тривалість відхилення для можливості автоматичного обрахування штрафів за збої під час руху поїзда відповідно до діючих контрактів щодо руху поїзда за встановленими параметрами нитки графіка.

Для прикладу на рис. 5 подана ієрархічна схема взаємодії IT-інструментів для автоматизації диспетчеризації на залізницях Франції [17].

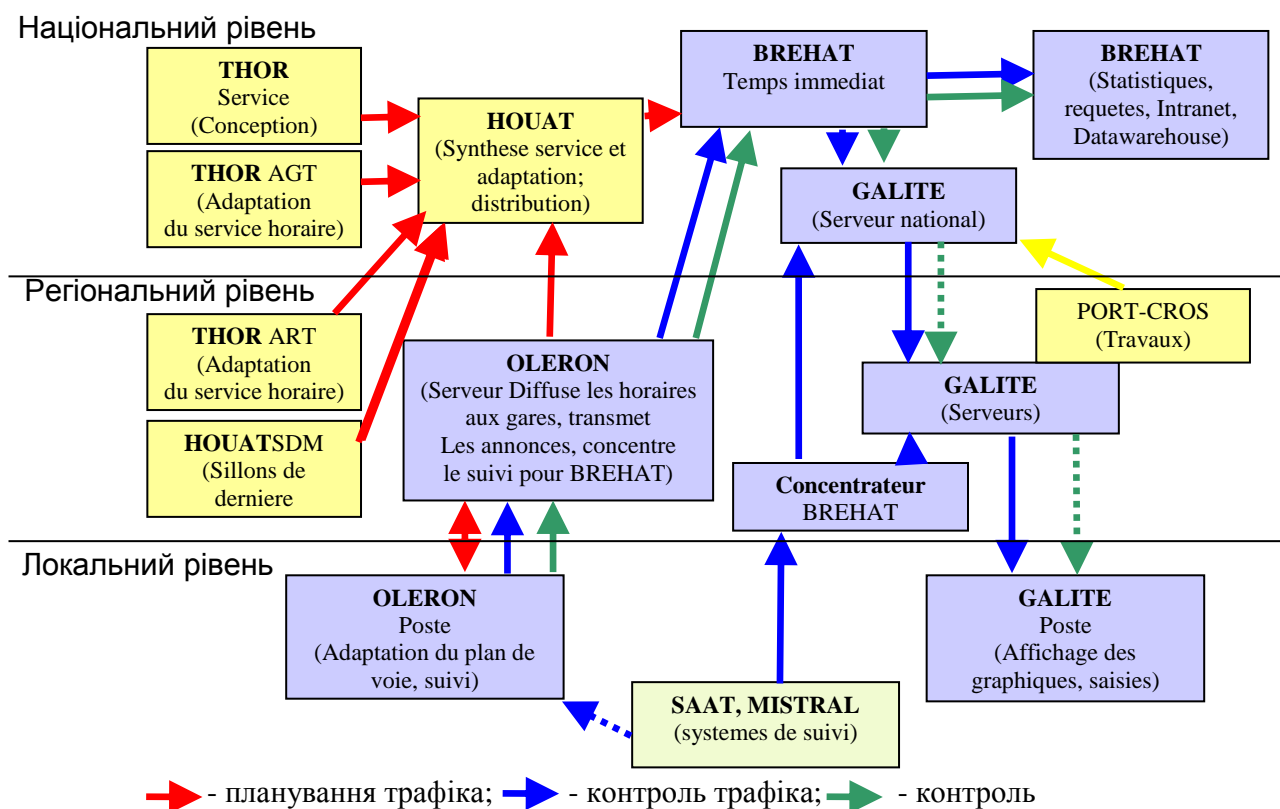


Рис. 5. Ієрархічна схема взаємодії IT-інструментів та баз даних для автоматизації диспетчеризації на залізницях Франції

Важливо відмітити концепцію застосування всіх наявних інструментів – це їх використання на різних ієрархічних

рівнях системи диспетчеризації з вибраними функціями для вирішення відповідних завдань. Така концепція надає



інструментам гнучкості та універсальності. Однією із важливих баз даних для реалізації якісної диспетчеризації є календарна база нормативних графіків руху поїздів – HOUAT (франц., HOraires Utiles A Tous). Ця база є основою для зіставлення фактичного часу руху поїздів з нормативними для визначення відхилень у русі. Це дає змогу створити якісний зворотний зв'язок у системі управління – це автоматичний контроль руху поїздів на мережі (автоматичне знімання інформації про координату поїзда з колії в межах функцій диспетчерської централізації MISTRAL), що дає змогу створити умови для реалізації процедури продажу пропускнуї спроможності залізничної інфраструктури.

Для порівняння вибраних стратегій автоматизації диспетчеризації на рис. 6 наведена діаграма розподілу за різними країнами одного з операційних показників,

що дає змогу оцінити продуктивність ДЦУ. Запропоновано розрахувати показник продуктивності залізничних мережі [18], який вимірюється у поїздо-кілометрах, що припадають на один кілометр мережі відносно кількості регіональних центрів на залізниці відповідної компанії. З діаграми можна зробити висновок, що вибрана стратегія кількості регіональних центрів на залізницях України відповідає сучасним тенденціям у світі. Так, у випадку впровадження ПАТ УЗ програми створення шести регіональних диспетчерських центрів управління відповідно до кількості регіональних філій операційний показник складає 3,4 поїзд.км/1км мережі, що припадає на один ДЦУ. Такий показник лише на 9,3 % менший від Німеччини та на 11,2 % більший за прийнятий план у Нідерландах, де показник продуктивності мережі (поїзд.км/1км мережі) є найбільшим серед країн, що порівнювалися.

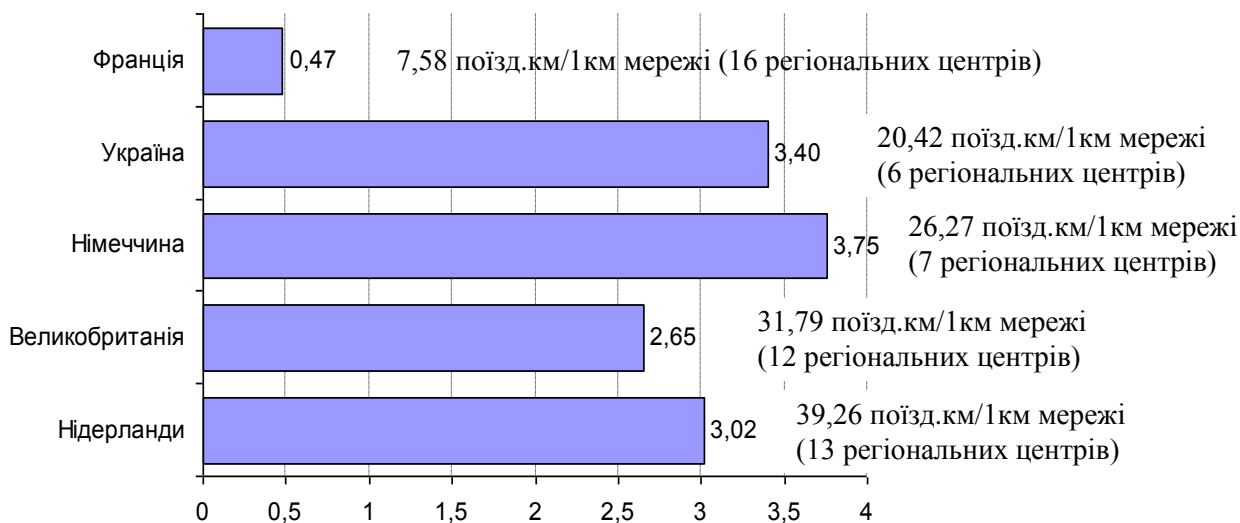


Рис. 6. Продуктивність залізниць у поїздокілометрах вантажного і пасажирського руху у розрахунку на кількість регіональних центрів

Низькі значення цього показника у Франції не зменшують ефективності прийнятої стратегії диспетчеризації з утворення 16 регіональних диспетчерських центрів, так як Франція єдина серед порівнюваних країн має малий за обсягами

вантажний рух та експлуатує спеціалізовану високошвидкісну залізничну мережу розгорнутою довжиною більш ніж 2 тис. км за денним режимом, на якій високошвидкісні поїзди розвивають швидкість до 320 км/год.

**Висновки.** Відповідно до вищепроведеного аналізу сучасних напрямів автоматизації диспетчеризації руху поїздів на залізницях світу можна сформулювати рекомендовані напрями автоматизації диспетчеризації руху поїздів на залізницях України: для побудови якісного зворотного зв'язку в системі управління першочерговим завданням є створення технічних можливостей для автоматичного ведення графіка виконаного руху поїздів на основі знімання інформації про координату поїзда з колії або за можливості за допомогою системи глобального позиціонування GPS з кабіни локомотива; реалізація функцій аналізу руху поїздів (створення календарної бази нормативних графіків руху поїздів); створення ІТ-інструментів для можливості використання на різних ієрархічних рівнях системи диспетчеризації з урахуванням функцій, що об'єднують управління всіма підсистемами залізничної інфраструктури (важливим є перехід від цифр і таблиць до графічного інтерфейсу користувача – візуалізація залізничних мап, ГРП тощо);

реалізація функцій ефективної підтримки прийняття рішень щодо прогнозування наслідків затримок поїздів та зменшення їх впливу на експлуатаційну роботу ліній та мережі в цілому.

У межах побудови сучасної системи диспетчерського управління ПАТ УЗ слід здійснити перехід від вирішення низькорівневих задач віддаленого управління стрілками і сигналами до автоматизованого планування, аналізу та передбачення можливих збоїв у русі поїздів для можливості зменшення їх впливу, а може й уникнення затримки інших поїздів. Це дасть змогу підвищити ефективність функціонування холдингу ПАТ УЗ в умовах реформування за моделлю вертикального розділення, де диспетчеризація стає платформою взаємодії всіх учасників перевізного процесу, що охоплює завдання від подачі заявки, розроблення нитки графіка до автоматичного приготування маршруту руху поїзда формування у диспетчерській централізації, контролю та аналізу його графіка руху.

### *Список використаних джерел*

1. Блохин, Е. П. Тренажер для обучения машинистов безопасным и экономичным способам вождения поездов [Текст] / Е. П. Блохин, Г. В. Евдомаха, К. И. Железнов // Залізничний транспорт України. – К.: ДП «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України», 1997. – Вип. 2-3. – С. 25-28.
2. Panchenko, S. Improvement of the accuracy of determining movement parameters of cuts on classification humps by methods of video analysis [Text] / S. Panchenko, I. Siroklin, A. Lapko, A. Kameniev, S. Zmii // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 4(3). – P. 25-30.
3. Долгополов, П. В. Удосконалення диспетчерського управління на дільниці в умовах швидкісного руху [Текст] / П. В. Долгополов, Р. В. Чікаров // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 53-57.
4. Левин, Д. Ю. Диспетчерские центры и технология управления перевозочным процессом [Текст]: учеб. пособие / Д. Ю. Левин. – М.: Маршрут, 2005. – 760 с.
5. Автоматизация диспетчерского управления как средство повышения пропускной способности железных дорог [Текст] / С. Протцнер, С. В. Власенко, К. Х. Эрхард, Й. Шмидтке // Железные дороги мира. – 2010. – № 9. – С. 36-39.
6. Gunnika Isaksson-Lutteman Future Train Traffic Control. Development and deployment of new principles and systems in train traffic control [Text] / Dissertation for the degree of Licentiate

of Technology in Computer Science. Printed by the Department of Information Technology, Uppsala University, Swedn, 2012. – 130 p.

7. A global vision for railway development [Text] // International Union of Railways (UIC) - Paris, 2015. – 44 p.

8. Efficient rail transport with the Vicos OC operations control system family: Cost-effective operations management [Text] // Siemens AG Industry Sector Mobility Division P.O. Box 3327D-38023 Braunschweig, Germany. – 16 p.

9. Algorithms for railway traffic management in complex central station areas [Text] / A dissertation submitted to the ETH ZURICH for the degree of Doctor Of Sciences presented by Martin Fuchsberger. – 2012. – 145 p.

10. Удосконалення системи диспетчерського керування рухом на залізницях України [Текст] / В. С. Алейник, О. П. Бочаров, Д. В. Ломотько, С. І. Приходько // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2014. – № 1. – С. 3-8.

11. Garde, A. Le Centre National des Opérations Ferroviaires de la SNCF [Text] / Garde Alain // Revue Générale des Chemins de Fer. – 2010. – Vol. 2. – P. 4-14.

12. Jousset Jean-Marc, Système d'information et gestion des circulations ferroviaires, in Revue Générale des Chemins de Fer. – 2004. – Vol. 12. – P. 11-23.

13. Nakamura, H. How to Deal with Revolutions in Train Control Systems [Text] / Hideo Nakamura // Engineering. – 2016. – Volume 2. – Issue 3. – P. 380-386.

14. Automatic railways traffic management in high speed lines [Text] / Francisco José de la Vega, A. Berrios, Luis Díez, Jose Miguel Rubio// 2008. – 10 p.

15. Transportation Engineering 1st Edition: Theory, Practice and Modeling [Text] / Dusan Teodorovic, Milan Janic. Butterworth-Heinemann, 2016. – 900 p.

16. A new diagram forecasting system for the Tokaido-Sanyo Shinkansen [Text] / Kenichi Fukami, Hiroshi Yamamoto // Central Japan Railway Company, 2-6-2 Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan.

17. Royer Christophe et Chezrouse Bernard, L'exploitation ferroviaire: les contraintes du système et la performance des hommes, in Revue Générale des Chemins de Fer, n°162, juin 2007, P. 35-42

18. Ейтутіс, Г. Міжнародний вимір продуктивності залізничного транспорту України як основа вибору напрямів його модернізації [Текст] / Г. Ейтутіс, В. Карпов, О. Никифорок // Економіст. – 2014. – № 5. – С. 63-68.

---

Прохорченко Андрій Володимирович, д-р техн. наук, доцент, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-88.

E-mail: andrii.prokhorchenko@gmail.com.

Маловічко Вячеслав Васильович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Декарчук Олександр Миколайович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Красноштан Олександр Михайлович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Казмірчук Наталія Вадимівна, магістр групи МЗ-Tempus-17/1-ОПУТ, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-88.

E-mail: uermp@ukr.net.

Prokhorchenko Andrii, Doctor of technical science., Associate Professor, Department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-88. E-mail: andrii.prokhorchenko@gmail.com.

Malovichko Viacheslav, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-88. E-mail uermp@ukr.net.

Dekarchuk Oleksandr, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-88. E-mail uermp@ukr.net.

---

Krasnoshtan Oleksandr, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport.  
Tel.(057) 730-10-88. E-mail uermp@ukr.net.

Kazmirchuk Natalya, master student Department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-88. E-mail uermp@ukr.net.

Стаття прийнята 13.11.2017 р.

УДК 656.223

## ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ МАРШРУТІВ ПРЯМУВАННЯ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Канд. техн. наук Д. В. Константинов, студентка І. Ю. Невидюк,  
магістрант Р. М. Островерх

## ФОРМИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ СЛЕДОВАНИЯ Поездов НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ

Канд. техн. наук Д. В. Константинов, студентка И. Ю. Невидюк,  
магістрант Р. Н. Островерх

## FORMATION OF RATIONAL ROUTES FOR TRAINS ON THE RAILWAYS OF UKRAINE

Cand. of techn. sciences D. V. Konstantinov, student I. Y. Nevidyuk,  
master student R. N. Ostroverh

*У роботі було розглянуто питання про раціональну організацію маршрутів прямування поїздів на залізницях України. Запропоновано удосконалення моделі системи підтримки прийняття рішень на основі використання нейро-нечіткого моделювання та генетичного алгоритму, призначеної для формування маршрутів прямування. На основі удосконаленої моделі можливе створення автоматизованої системи управління формуванням оптимальних маршрутів прямування пасажирських і вантажних поїздів.*

**Ключові слова:** маршрут, залізниця, перевезення, моделювання, автоматизація.

*В работе был рассмотрен вопрос про рациональную организацию маршрутов следования поездов на железных дорогах Украины. Предложено усовершенствование модели системы поддержки принятия решений на основе использования нейро-нечеткого моделирования и генетического алгоритма, предназначенной для формирования маршрутов следования. На основе усовершенствованной модели возможно создание автоматизированной системы управления формированием оптимальных маршрутов следования пассажирских и грузовых поездов.*

**Ключевые слова:** маршрут, железная дорога, перевозки, моделирование, автоматизация.

*The paper examined the rational organization of routes for movement passenger and freight trains on the railways of Ukraine. In modern conditions in rail-based passenger and freight traffic are not effective transportation process technologies that limit the ability of the transport sector to respond flexibly to fluctuations in consumer demand and the market of passenger transportation.*

*Therefore, to reduce the loss of transportation is necessary to use organizational technologies, which are based on the concept of flexible adaptive regulation of the transportation process and long-term operational nature in accordance with the principles of logistics. It is possible to implement by creating a common model of transportation, whose task will be to develop a route based on collecting accounting data on time spent on processing stations and the time required to pass driving of each individual based on their capacity. There was offered an improving for model of decision support system based on the use of neuro-fuzzy modeling and genetic algorithm designed to create a route. Based on the improved model there is possible creation of automated formation system of optimum routes for passenger and freight trains.*

**Keywords:** route, railway, transportation, modeling, automation.

**Вступ.** В сучасних умовах в основі залізничних перевезень лежать недостатньо ефективні технології перевізного процесу, які обмежують здатність залізнично-транспортного комплексу гнучко реагувати на коливання попиту споживачів ринку перевезень. Виходячи з цього для зниження збитковості перевезень необхідним є застосування організаційних технологій, в основу яких покладені концепції гнучкого адаптивного регулювання перевізного процесу оперативного та довгострокового характеру відповідно до принципів логістики.

За останні п'ять років українські залізниці отримали збитків тільки від пасажирських перевезень близько 30 млрд грн. Головними причинами цього є застарілий рухомий склад, малі швидкості руху, низькі показники населеності та пасажиропотоків на фоні високих експлуатаційних витрат, що постійно зростають. Єдиним шляхом підтримки пасажирських перевезень і компенсації їх збитків в сучасних умовах розвитку залишається перехресне фінансування пасажирського господарства за рахунок значних прибутків від вантажних перевезень. Однак така система господарювання є неефективною і призводить до суттєвого стримування розвитку залізнично-транспортного комплексу в цілому. Отже, потрібно шукати нові шляхи зниження витрат на організацію пасажирських та вантажних перевезень.

Згідно з Концепцією Державної програми реформування залізничного транспорту від 27 грудня 2006 р. № 651-р

та Програмою реструктуризації галузі одним із основних напрямків розвитку організації пасажирських перевезень є формування та подальше удосконалення гнучких технологій управління перевізним процесом, що є одним з напрямків розв'язання проблеми значної збитковості та покращення ресурсозбереження [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Запропоновані раніше в [2,3] моделі формування раціональних маршрутів прямування поїздів можуть бути ефективно використані для удосконалення системи організації маршрутів як у пасажирських, так і вантажних перевезеннях різних сполучень. Але для взаємного узгодження процесів моделювання та можливості їх практичної реалізації виникає потреба долучити їх роботу до єдиної інтеграційної системи адаптивного управління. Це можливо здійснити через створення загальної моделі організації маршрутів прямування, завданням якої буде розробка оптимальних маршрутів на основі збору звітних даних щодо регульовальної роботи на станціях та аналізу можливих варіантів вибору напрямків прямування з метою прискорення просування поїздів по залізницях. Результатом роботи такої системи буде створення найбільш економічно та технологічно доцільних маршрутів прямування поїздів, що дозволить надати системам пасажирських і вантажних перевезень гнучкості і здатності до адаптації у змінних умовах роботи, які обумовлюються постійним коливанням

попиту. Розробку такої системи доцільно реалізувати на основі використання генетичного алгоритму та нейро-нечіткого моделювання [2, 3].

Одним з важливих завдань удосконалення транспортної системи швидкісних пасажирських перевезень на залізницях України є визначення раціонального напрямку розвитку залізничної мережі високошвидкісних і швидкісних перевезень на основі аналізу світового досвіду функціонування ринку швидкісних перевезень. Подане у [4] теоретичне обґрунтування раціональної топології мережі швидкісних залізничних перевезень може бути покладене в основу формування перспективної мережі маршрутів швидкісних міжрегіональних поїздів. Відповідно до [5, 6] розвиток мереж швидкісних міжрегіональних перевезень на залізницях розвинених країн Європи є одним з найбільш пріоритетних напрямків надання транспортних послуг в сфері пасажирських перевезень, який при якісній організації в умовах використання сучасних транспортних технологій та інфраструктури має величезний фінансовий успіх і привабливість для вибагливих потреб сучасних пасажирів. В сфері вантажних перевезень з досвіду сучасних залізничних мереж розвинутих країн світу [7] та відповідно до вітчизняних програм розвитку питання прискорення просування вантажних поїздів також порушується дуже гостро. Особливо це спостерігається в сфері міжнародних перевезень стосовно просування іноземних вагонів по залізницях України.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою дослідження є формування моделі визначення оптимальних маршрутів прискореного

просування поїздів різних категорій на основі математичних апаратів нечіткої логіки, нейронних мереж та генетичного алгоритму з використанням досвіду моделювання в [2,3]. Завданням дослідження є взаємне функціональне поєднання структур моделей для отримання комплексної моделі, що може бути в перспективі основою системи підтримки прийняття рішень (СППР).

**Основна частина дослідження.** Моделювання маршрутів прискореного прямування поїздів полягає в пошуку оптимальних варіантів їх курсування в межах певної мережі, моделлю якої може бути зважений граф  $G(v,r)$ , де вагами ребер є гени  $h_{ij}^k$  [3]. Завдання пошуку оптимального маршруту курсування поїзда в межах певної мережі полягає у знаходженні деякої сукупності дільниць прямування поїзда від  $i$ -х станцій відправлення до  $j$ -х станцій призначення, послідовне проходження яких поїздом формує загальний маршрут, який порівняно з іншими варіантами є більш ефективним відносно критерію оптимізації, враховуючи, що станції  $i$  та  $j$  є станціями зупинки поїздів на певних напрямках. Тому, враховуючи необхідність формування генотипу (набору оптимальних маршрутів) певної мережі в умовах моделювання на основі генетичного алгоритму відповідно до завдання пошуку певної оптимальної комбінації дільниць в маршруті, доцільно подати як хромосому деякий маршрут, що складається з певної сукупності дільниць  $i-j$  залізничного вузла, де кожний ген відповідно моделює дільницю прямування між певною парою станцій  $i-j$ . Структуру хромосоми подано у вигляді

$$H = \sum_{i,j=1}^v h_{ij} \in \{h_{ij}^1, h_{ij}^2, \dots, h_{ij}^k, h_{ij}^{k+1}, \dots, h_{ij}^m\} \quad h_{ij}^k = \begin{cases} 1 - \text{можливий} \\ 0 - \text{неможливий} \end{cases}, \quad (1)$$

де  $v$  – кількість станцій у вузлі, що моделюється;

$h_{ij}^k$  – ген, що моделює певний варіант слідування від станції відправлення  $i$  до станції призначення  $j$  і набуває значення 1 або 0;

$m$  – загальна кількість генів у певному маршруті;

$k$  – певний ген маршруту із загальної сукупності  $m$ ,  $k \in m$ .

Отже, генотипом графу  $G(R)$  буде набір хромосом  $H \in \{h_{ij}^1, h_{ij}^2, \dots, h_{ij}^k\}$ , кожна з яких відповідно моделює один певний маршрут для певного поїзда. Водночас гени в кожному певному маршруті розташовуються іншим чином, моделюючи іншу послідовність дільниць прямування у маршруті [3].

Початковим етапом розв'язання завдання пошуку оптимальної комбінації в моделі генетичного алгоритму є формування вихідної популяції, що здійснюється шляхом випадкового перебору та розстановки генів і їх значень в заданій сукупності хромосом з поданням їх як двійникової послідовності фіксованої довжини. Кожен ген в хромосомі моделює певну дільницю прямування від станції відправлення  $i$  до станції призначення  $j$  та може набувати значень 1 або 0. Таким чином, в комбінації генів кожної хромосоми подано певний маршрут прямування, гени якого розташовуються послідовно згідно з порядком прямування дільницями маршруту [3].

Оцінювання пристосованості хромосом в популяції або вибір найкращих варіантів здійснюється для кожної хромосоми вихідної популяції за допомогою фітнес-функції. Завдання пошуку оптимального маршруту прискореного прямування полягає у визначенні варіанта з мінімальними витратами часу, що вказує на необхідність спрямування задачі фітнес-функції до пошуку мінімального рішення.

Однак необхідно врахувати деякі особливості формування маршрутів в умовах використання генетичного алгоритму, що є основою системи обмежень:

1. Кінцева станція прибуття  $j$  в останньому гені  $h_{ij}^m$  певної хромосоми-маршруту має збігатись з початковою станцією відправлення  $i$  в першому гені  $h_{ij}^1$  наступної хромосоми-маршруту, що забезпечує можливість формування як послідовних маршрутів, так і замкнених, що особливо актуально для пасажирських перевезень.

2. В межах певної хромосоми-маршруту станція відправлення  $i$  кожного наступного гена  $h_{ij}^{k+1}$  має збігатись зі станцією прибуття  $j$  кожного попереднього гена  $h_{ij}^k$ .

3. Сумарна довжина дільниць прямування обраних генів кожної хромосоми-маршруту  $\sum_{i,j=1}^n l_{ij}^k h_{ij}^k$  не повинна перевищувати максимальну відстань руху між двома суміжними технічними операціями ТО-2 з рухомим складом –  $L_{\max}^{TO-2}$ .

4. Сумарний час прямування по  $i$ - $j$  дільницях обраних генів, згідно з хромосомою-маршрутом  $\sum_{i,j=1}^n t_{ij}^k h_{ij}^k$ , не повинен перевищувати тривалості прямування до встановленого графіком руху поїздів пункту зміни локомотивних бригад  $T_{\max}^{лб}$ .

Визначені умови формують систему обмежень, яка має бути закладена в фітнес-функцію і потребує її структуризації. Ці умови є основою для обмеження сукупності змодельованих маршрутів через перевірку їх виконання та відсіювання тих, що її не пройшли, тобто найменш пристосованих хромосом [3].

$$FF1(H) = \begin{cases} \min, & \text{якщо } i \in h_{ij}^1 = j \in h_{ij}^{1+m} \text{ та } j \in h_{ij}^k = i \in h_{ij}^{k+1} \text{ при } h_{ij}^k = 1, \\ \max & \text{в іншому випадку} \end{cases}, \quad (2)$$

$$FF2(H) = \begin{cases} \min, & \text{якщо } \sum_{i,j=1}^n l_{ij}^k h_{ij}^k \leq L_{\max}^{TO-2} \text{ та } \sum_{i,j=1}^n t_{ij}^k h_{ij}^k \leq T_{\max}^{\text{об}} \text{ при } h_{ij}^k = 1 \\ \max & \text{в іншому випадку} \end{cases}. \quad (3)$$

Завданням моделювання є пошук оптимального маршруту з сукупності змодельованих випадковим чином і перевірених в системі обмежень згідно з (2) та (3). Критерієм пошуку є мінімальні сумарні витрати від прямування за закладеним в хромосомі маршрутом, що складаються з суми витрат на прямування по кожній дільниці відповідно до обраних генів

$$FF3(H) = \min \sum_{i,j=1}^n t_{ij}^k h_{ij}^k, \quad (4)$$

де  $t_{ij}^k$  – рівень витрат часу на прямування, згідно з геном  $h_{ij}^k$ , що визначається витратами часу на обробку по станції

відправлення  $t_{обп}^n$  та витратами часу на прямування між станціями  $t_{ij}^n$  по певній дільниці  $n$ .

$$t_{ij}^k = x_{ij}^n (t_{обп}^n + t_{ij}^n), \quad (5)$$

де  $x_{ij}^n$  – параметр, що визначає рівень ефективності відправлення поїзда на  $n$ -ну дільницю за результатом моделювання, згідно з [2], і визначається як

$$x_{ij}^n = \frac{100\% - X}{100\%}, \quad (6)$$

де  $X$  – відповідно до [2] відповідає задачі визначення рівня доцільності відправлення міжрегіонального поїзда на  $n$ -й напрям.

$$X = (\Delta N^{AB}, t_{ij}^{AB}) \rightarrow D \in \{d_1, d_2, \dots, d_k\}, \quad (7)$$

де  $d_1$  – доцільність призначення 90-99,9 %;  
 $d_2$  – доцільність призначення 80-89,9 %;  
 $d_3$  – доцільність призначення 70-79,9 %;  
 $d_4$  – доцільність призначення 60-69,9 %;  
 $d_5$  – доцільність призначення 50-59,9 %.  
 $d_6$  – доцільність призначення 40-49,9 %;  
 $d_7$  – доцільність призначення 30-39,9 %;  
 $d_8$  – доцільність призначення 20-29,9 %;  
 $d_9$  – доцільність призначення 10-19,9 %;  
 $d_{10}$  – доцільність призначення 0,1-9,99 %.

Обчислення значення параметра  $X$  здійснюється за результатом роботи нейро-нечіткої моделі, структура якої аналогічна поданій у [2].

Таким чином, оцінювання здатності до пристосування хромосом в популяції здійснюється через перевірку їх на виконання трьох зазначених умов. Отже, фітнес-функція має складатися з трьох частин, кожна з яких здійснює обчислення значення виконання певної вимоги згідно з (2), (3) та (4). Тому загальний розв'язок, що містить суму значень відповідно до кожної умови, спрямовується на пошук найменшої величини



$$FF(H) = (FF1(H) + FF2(H) + FF3(H)) \Rightarrow \min . \quad (8)$$

Якщо відомо або задано мінімальне значення функції пристосованості, зупинка алгоритму може бути здійснена після досягнення цього значення, що буде означати знаходження оптимального рішення. Знаходження на даному етапі оптимального розв'язку, що відповідає найменшим витратам на прямування певним маршрутом, є завершенням роботи моделі генетичного алгоритму з огляду на виділення найкращої хромосоми.

Якщо ж у сукупності отриманих розв'язків жоден не відповідає оптимальному значенню, наступним етапом моделювання є селекція хромосом, після чого до хромосом, відібраних за допомогою селекції, застосовуються генетичні оператори. Хромосоми, отримані в результаті використання генетичних операторів до тимчасової батьківської популяції, входять до складу нової початкової популяції, яка бере участь у новій ітерації генетичного алгоритму, для якої знову здійснюється оцінювання здатності до пристосування хромосом в популяції. Поданий цикл операцій

повторюється доти, поки не буде знайдено хромосому з найкращим значенням фітнес-функції. Результатом розв'язання завдання пошуку оптимального маршруту є знаходження хромосоми з мінімальним значенням  $FF(H)$  відносно інших та прокладання маршруту прямування відповідно до її набору генів.

Для навчання нейро-нечіткої мережі в роботі було сформовано навчальну вибірку із 90 експериментальних даних у вигляді  $\langle \text{вхід } (\Delta N^{AB}, t_{ij}^{AB}) - \text{вихід } (d) \rangle$ . Мінімум похибки навчання складає 0,35221% та досягається в районі 84-ї ітерації алгоритму. Після 84-ї ітерації похибка стає сталою, що вказує на втрату моделлю властивостей узагальнення (рис. 1).

Перевіркою на адекватність моделі є проведення її тестування на тестовій вибірці. На рис. 2 подано результати тестування моделі після навчання у вигляді ступеня точності потрапляння значення виходу до області певного варіанта розв'язку.

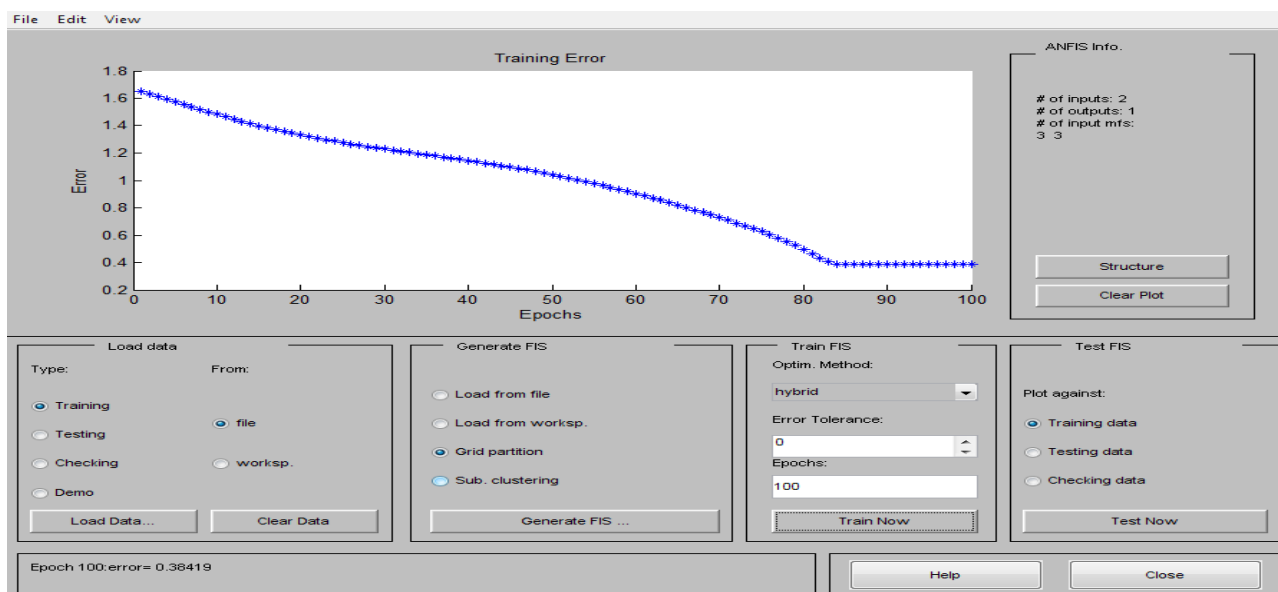


Рис. 1. Крива навчання моделі

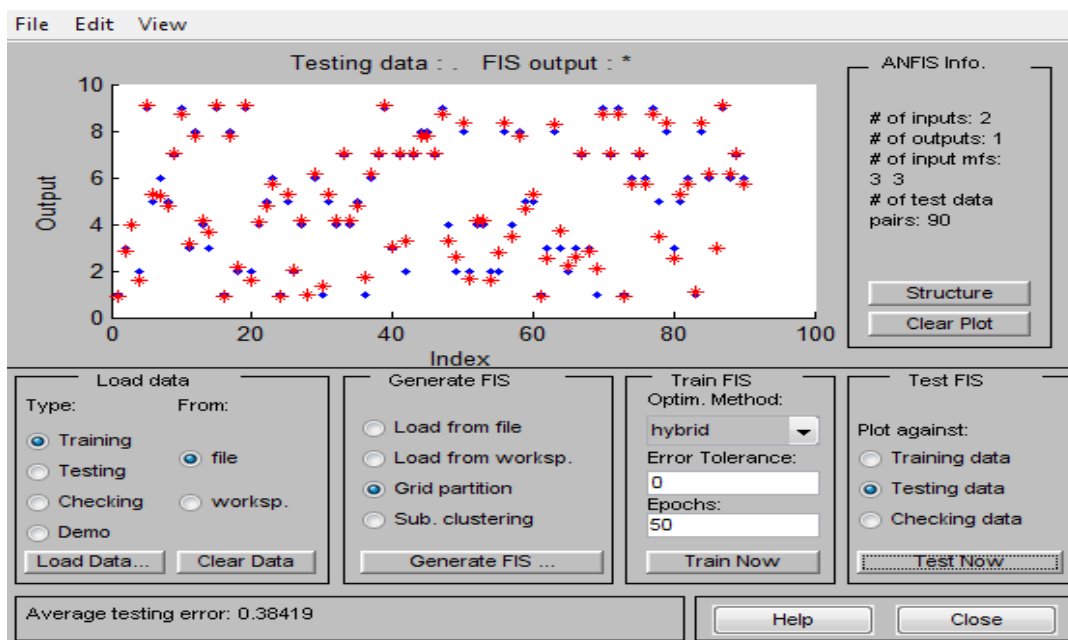


Рис. 2. Результати тестування моделі

Аналіз результатів тестування вказує на досить високий рівень точності роботи тренованої моделі, мінімальний рівень похибки якої не перевищує 0,35 %, а загальний – 5 %. Висока точність роботи зберігається приблизно близько 42 ітерацій, після чого спостерігається втрата точності в певних варіантах розв’язання, що потребує подальшого навчання моделі на нових даних.

**Висновки.** Реалізація на основі запропонованої моделі системи підтримки прийняття рішень для використання на

рівні оперативно-розпорядчого відділу служби перевезень управління залізниці дозволить автоматизувати процес формування маршрутів та удосконалити діючі графіки руху та обороту. В умовах використання нових зразків швидкісного рухомого складу в системі пасажирських перевезень та необхідності прискорення просування вантажних поїздів це надасть можливість знизити експлуатаційні витрати та реалізувати перспективну систему організації руху на основі принципів логістики.

### Список використаних джерел

1. Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту від 27 грудня 2006 р. N 651-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua/>.
2. Константинов, Д. В. Удосконалення процесу просування міжнародних транзитних поїздів залізницями України [Текст] / Д. В. Константинов, І. В. Чорна // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 140. – С. 23-30.
3. Константинов, Д. В. Удосконалення організації маршрутів прямування приміських пасажирських поїздів на залізницях України [Текст] / Д. В. Константинов, Д. О. Бурлакова // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 131. – С. 149-157.
4. Формування моделі розвитку залізничної системи швидкісних перевезень на основі принципів самоорганізації [Текст] / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко, Л. О. Пархоменко [та ін.] // Вісник Національного технічного університету "ХПІ": зб. наук. праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2011. – № 54. – С. 67-70.

5. Fröidh, O. Competition on the tracks – Passengers’ response to deregulation of interregional rail services [Text] / Oscar Fröidh, Camilla Byström // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – October 2013. – Volume 56. – P. 1–10.

6. Fröidh, O. The impact of market opening on the supply of interregional train services [Text] / Oscar Fröidh, Bo-Lennart Nelldal // Journal of Transport Geography. – June 2015. – Vol. 46. – P. 189–200.

7. Murali, P. Modeling strategies for effectively routing freight trains through complex networks [Text] / Pavankumar Murali, Fernando Ordóñez, Maged M. Dessouky // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – September 2016. – Vol. 70. – P. 197-213.

---

Константин Денис Володимирович, канд. техн. наук, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-88.

E-mail: kdv1984@ukr.net.

Невидюк Інна Юріївна, студентка групи 25-VI-ОПУТм Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 0639487709. E-mail: kdv1984@ukr.net.

Островерх Роман Миколаєвич, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 0930620236. E-mail: kdv1984@ukr.net.

Konstantinov Denis Volodimirovich, cand. of techn. sciences, Department of operational work Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-88. E-mail: kdv1984@ukr.net.

Nevidyuk Inna Yuriiivna, student of group 25-VI-OPUTm Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 0639487709. E-mail: kdv1984@ukr.net.

Ostroverh Roman Mikolayevich, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 0930620236. E-mail: kdv1984@ukr.net.

Стаття прийнята 13.11.2017 р.

**УДК 621.336.22**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТРУМОПРИЙМАЧА ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ РУСІ**

**Д-р техн. наук О. В. Устенко, магістри Е. М. Вовк, С. В. Ляшенко, магістрант Д. Ю. Письменний**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОКОПРИЕМНИКОВ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ДВИЖЕНИИ**

**Д-р техн. наук А. В. Устенко, магистры Э. Н. Вовк, С. В. Ляшенко, магістрант Д. Ю. Письменный**

## **INVESTIGATION OF AERODYNAMIC PROPERTIES OF ACCUMULATORS AT HIGH-SPEED MOVEMENT**

**Dr. sc. sciences O. V. Ustenko, master E. M. Vovk, S. V. Lyashenko, master student D. Y. Pysmennyi**

*Розглянуто та проаналізовано проблеми струмознімання при високих швидкостях руху, вплив зустрічного повітряного потоку на струмоприймач, способи регулювання контактного натискання струмоприймача електрорухомого складу. Описано дослідження аеродинамічних сил струмоприймача при використанні аеродинамічної труби та наведено*

найбільш перспективний метод покращення струмознімання. Для підвищення ефективності функціонування українського залізничного транспорту бажано вирішити головні питання, поставлені на сьогоднішній день.

**Ключові слова:** струмоприймач, струмознімання, електрорухомиї склад, високошвидкісний рух, аеродинамічна характеристика.

*Рассмотрены и проанализированы проблемы токосъема при высоких скоростях движения, влияние встречного воздушного потока на токоприемник, способы регулирования контактного нажатия токоприемника электроподвижного состава. Описаны исследования аэродинамических сил токоприемника при использовании аэродинамической трубы и приведен наиболее перспективный метод улучшения токосъема. Для повышения эффективности функционирования украинского железнодорожного транспорта желательны решить главные вопросы, поставленные на сегодняшний день.*

**Ключевые слова:** токоприемник, токосъем, электроподвижной состав, высокоскоростное движение, аэродинамическая характеристика.

*Modern tendencies in the market of transport services for passenger transportation are the relative reduction of the role of railways and the increase of the value of automobile and air transport. High-speed carriage can change the situation in its favor. To enter a high-speed traffic on Ukraine's railways, we need to take into account many different aspects. The article deals with the problem of increasing the quality of the current collection at high velocities by providing a rational aerodynamic characteristic of the collector of the electromagnetic composition. The problems of current collection at high speeds, the effect of counter propagating current on the current collector, and the methods for controlling the contact pressing of a current collector of an electric rolling stock are considered and analyzed. The research of the aerodynamic forces of the current collector using the wind tunnel is described and the most promising method for improving the current collection is given. To improve the efficiency of Ukrainian rail transport, it is desirable to solve the main issues that are posed today.*

**Keywords:** current collector, electric rolling stock, high-speed motion, aerodynamic characteristics.

**Вступ.** Сучасні тенденції на ринку транспортних послуг з перевезення пасажирів полягають у відносному зменшенні ролі залізничного та підвищенні значення автомобільного та повітряного транспорту. Високошвидкісні перевезення зможуть змінити ситуацію на свою користь. Для введення високошвидкісного руху на залізницю України потрібно врахувати багато різних аспектів. У статті розглядається проблема збільшення якості струмознімання при високих швидкостях руху шляхом забезпечення раціональної аеродинамічної характеристики струмоприймача електрорухомого складу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останніми роками проблема

організації високошвидкісного руху в Україні займає одну з головних позицій при вирішенні питання пасажирського перевезення залізничним транспортом. Був проведений аналіз впровадження високошвидкісного руху в Україні [11], також були розглянуті показники, що дозволяють розрахунковим методом спрогнозувати інтенсивність зношування й зміну форми профілю колеса [2]. Але одною з головних проблем є збільшення якості струмознімання при високих швидкостях руху, тому що струмоприймач зазнає аеродинамічного навантаження та за рахунок цього значно зменшується ресурс контактної провладу й самого струмоприймача.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою статті є збільшення якості струмознімання при високих швидкостях руху та забезпечення раціональної аеродинамічної характеристики струмоприймача електрорухомого складу.

**Основна частина дослідження.** Інтеграційні процеси у світі і участь в них України спричиняють подальший розвиток єдиного європейського ринку товарів і послуг взагалі і транспортного ринку зокрема, що служить важливою основою зростання обсягів не тільки вантажних, а й пасажирських перевезень.

Розглянемо світовий досвід упровадження високошвидкісного залізничного руху на залізницях. Європейські та міжнародні стандарти визначають, що швидкісний рух – це такий рух, який забезпечує поїздки між двома пунктами зі швидкостями в інтервалах 141-160 і 161-200 км/год. Високошвидкісні магістралі в порівнянні зі звичайним залізничним рухом потребують значних змін. Необхідне переобладнання колійного господарства, покращення аеродинамічних властивостей рухомого складу, підвищення якості колісних пар [2] та ін. Відомчі нормативи

подають високошвидкісний рух пасажирських поїздів як рух пасажирських поїздів із швидкостями в інтервалах:

- 141-160 км/год – прискорений рух;
- 161-200 км/год – швидкісний рух;
- понад 200 км/год – високошвидкісний рух [1].

При високошвидкісному русі покращення аеродинамічних властивостей потребує не тільки екіпажна частина електрорухомого складу, а також струмоприймач, тому для покращення струмознімання треба зменшити інтенсивне аеродинамічне навантаження на нього.

Струмоприймач електрорухомого складу при високошвидкісному русі підпадає під вплив повітряного середовища. Аеродинамічний вплив визначається швидкістю потоку, що набігає, його щільністю і напрямком відносно струмознімального пристрою.

Аеродинамічна сила  $P_R$ , що діє на струмоприймач при русі в повітряному середовищі, може бути розкладена на дві складові – горизонтальну  $P_{BTX}$  і вертикальну  $P_{BT}$  [3, 4], як показано на рис. 1.

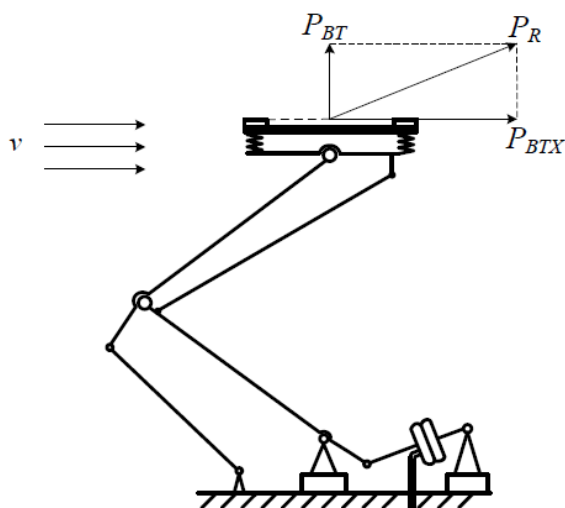


Рис. 1. Вплив зустрічного повітряного потоку на струмоприймач

Вертикальна складова аеродинамічної сили струмоприймача є однією зі складових контактного натискання.

Італійськими фахівцями під керівництвом А. Колліні і Р. Грегорі були проведені дослідження струмоприймача Faiveley CX25 в аеродинамічній трубі Міланського технічного університету, розміром 4x4 м (рис. 2). Авторами також були застосовані засоби обчислювальної гідрогазодинаміки (CFD-аналіз) [5].

Струмоприймач піддавався обдуву при напрямках повітряного потоку  $0^\circ$ ,  $9^\circ$ ,

$18^\circ$ ,  $27^\circ$ ,  $153^\circ$  (на рис. 2) і  $180^\circ$  щодо вертикальної площини при спрямуванні повітряного потоку по нормалі до цієї площини ( $0^\circ$  – «коліно» вперед, назустріч набігаючого потоку). Робоча висота струмоприймача залишалася незмінною. Максимальна швидкість потоку дорівнювала 50 м/с. Вертикальна складова аеродинамічної сили при цьому змінювалася від 60 Н при  $0^\circ$  до 35 Н при  $180^\circ$  щодо початкового положення.

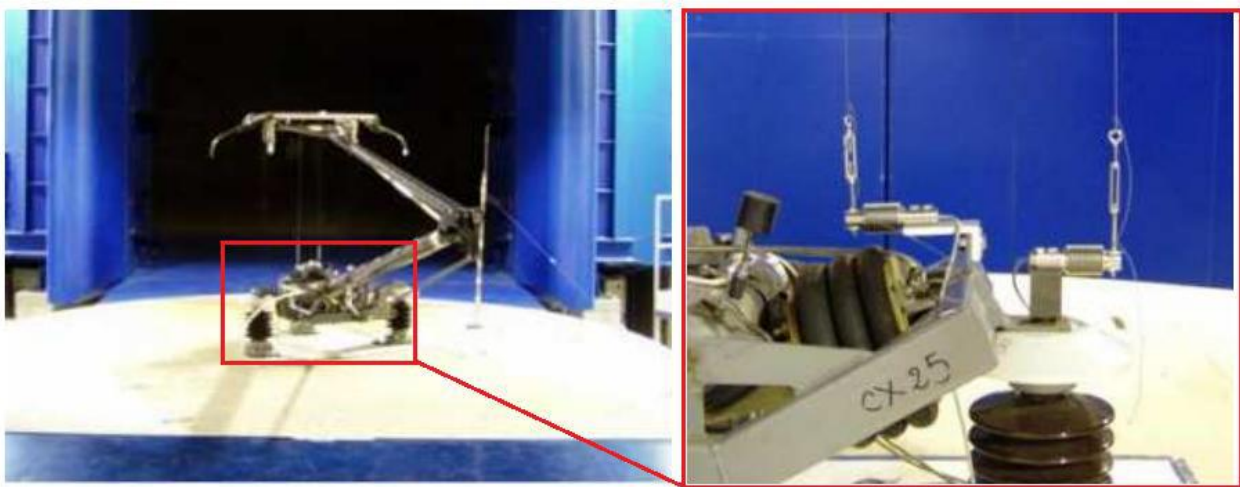


Рис. 2. Дослідження аеродинамічних сил струмоприймача при використанні аеродинамічної труби в Міланському технічному університеті

І. Накакура і І. Мінамі з Central Japan Railway Company, Токуо, проводили дослідження аеродинамічного шуму і вертикальної складової аеродинамічних сил, що створюються пантографом Series 700 швидкісного електропоїзда Shinkansen і прототипу N700. В даній роботі авторами пропонується метод компенсації вертикальної складової аеродинамічних сил шляхом застосування верхнього вузла струмоприймача спеціальної форми [6].

А. Ідо, Т. Куріта і І. Вакабаяші розраховували рівень звукового впливу на струмоприймач [9]. Причому дослідження проводилися як при наявності звукопо-

глинальних екранів, так і при їх відсутності в спектрі частот від 75 Гц до 37,5 кГц.

Професором Г. П. Масловим для оцінки аеродинамічних властивостей струмоприймача використовувалися такі параметри, як  $C_x$  (аеродинамічний коефіцієнт лобового опору) і  $C_y$  (аеродинамічний коефіцієнт підйомної сили) [8]. Дані коефіцієнти прямо пропорційні аеродинамічним силам, які діють на струмоприймач або на його окремі елементи.

Найбільш перспективним напрямком досліджень на даний момент (і в найближчому майбутньому) є застосування методів обчислювальної гідрогазодинаміки

(CFD) з використанням твердотільних тривимірних моделей струмоприймачів і їх окремих елементів, так як в даний час активно розвиваються обчислювальні потужності і комерційні програмні засоби, а також удосконалюються методи розрахунку процесів обтікання газом або в'язкою рідиною твердих тіл, а саме: з'являються гібридні методи, що поєднують в собі як моделювання, так і безпосередній розрахунок ламінарних і турбулентних течій. Також удосконалюються методики задання граничних умов, параметрів середовища, формування розрахункової сітки [5, 7, 11].

Наведені дослідження показують, що асиметричний струмоприймач має різні аеродинамічні характеристики при русі в протилежних напрямках. У деяких випадках ця різниця може привести до збільшення механічного зносу контактних вставок і контактного проводу або до збільшення електричного зносу даних

елементів при русі в одному з напрямків. Щоб цьому запобігти, використовують або систему автоматичного регулювання контактного натискання, або керують аеродинамічними силами за допомогою спеціальних пристроїв. Таким чином, аеродинамічні сили, що діють на струмоприймач, повинні регулюватися [10].

**Висновки.** Таким чином, аеродинамічні сили, що діють на струмоприймач, повинні регулюватися. Всі способи регулювання можна розділити на три групи: покращення аеродинамічних характеристик окремих елементів струмоприймачів, застосування повітророзсікачів і відвідних екранів, встановлених на даху локомотива, установа на струмоприймач спеціальних аеродинамічних пристроїв (гвинтів, екранів, крил).

Всі роботи спрямовані на підвищення якості струмознімання, яке повинно відповідати вимогам надійності, економічності і екологічності.

### *Список використаних джерел*

1. Тимчасова інструкція з організації швидкісного руху пасажирських поїздів. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу. Відомчий нормативний документ. ВНД 32.1.07.000-02. Державна адміністрація залізничного транспорту України [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2002. – 51 с.
2. Харламов, П. О. Обґрунтування профілю колісних пар для високошвидкісного транспорту [Текст] / П. О. Харламов, А. А. Деміденко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 166. – С. 180-184.
3. Маслов, Г. П. Повышение качества токосъёма при интенсивном аэродинамическом воздействии на контактные подвески и токоприёмники электрического транспорта [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / Г. П. Маслов. – Омск, 1993. – 532 с.
4. Маслов, Г. П. Влияние форм элементов токоприемника на его аэродинамическую характеристику [Текст] / Г. П. Маслов, М. А. Дятлова // Инновационные проекты и новые технологии в образовании, промышленности и на транспорте: материалы науч.-практ. конф., посвященной 110-летию Омского государственного университета путей сообщения. – Омск: ОмГУПС, 2010. – С. 31-35.
5. Gregoire R. Some considerations on the aerodynamics of high speed pantograph: CFD and wind tunnel tests [Text] / R. Gregoire, A. Collina, F. Resta et. al. // BBAA VI International Colloquium on: Bluff Bodies Aerodynamics & Applications. – Milano, Italy. 20 – 24 July 2008. – P. 66-69.

6. Nakakura Y. Development of pantograph for the Series N700 Shinkansen [Text] / Y. Nakakura, K. Sakanoue, Y. Minami et. al. // WCRR Lille 2011. – France. 22 – 26 May 2011. – P. 1118-1127.
7. Collina, A. A feasibility study of an aerodynamic control for a high speed pantograph [Text] / A. Collina, A. Facchinetti, F. Resta // Decision and Control, 2005 and 2005 European Control Conference. – Zurich. 2007. – P. 1-6.
8. Маслов, Г. П. Аэродинамические показатели токоприемников скоростного электрического подвижного состава [Текст] / Г. П. Маслов, М. А. Дятлова // Известия Транссиба: науч.-техн. журнал. – 2010. – № 1. – С. 20-25.
9. Ido, A. Development of Technologies for Minimizing Environmental Impacts [Text] / A. Ido, T. Kurita, Y. Wakabayashi // Proceedings of 7th World Congress on Railway Research. – Munich, Germany. 2006. – P. 810-820.
10. Чепурко, А. Е. Повышение качества токосяема за счет применения новых аэродинамических устройств токоприемников электроподвижного состава [Текст] / А. Е. Чепурко, В. Н. Яковлев // Инновационное развитие железнодорожного транспорта России: материалы всероссийской науч.-практ. конференции; Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск: ОмГУПС, 2012. – С. 128-135.
11. Collina, A. An Application of Active Control to the Collector of an High-Speed Pantograph: Simulation and Laboratory Tests [Text] / A. Collina, A. Facchinetti, F Fossati et. al. // Decision and Control, 2005 and 2005 European Control Conference. CDC-ECC'05. 44th IEEE Conference on. – Seville, Spain. 12 – 15 Dec. 2005. – P. 4602-4609.
12. Аналіз перспектив впровадження високошвидкісного руху в Україні [Текст] / О. В. Лаврухін, О. О. Шапатіна, С. В. Газасв [та ін.] // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 163. – С. 4-10.

---

Устенко Олександр Вікторович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99.

E-mail: a.v.ustenko@gmail.com.

Письменний Дмитро Юрійович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (095) 414-11-71. E-mail: dima30655@gmail.com.

Вовк Едуард Миколайович, магістр інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (067) 563-02-96. E-mail: dima30655@gmail.com.

Ляшенко Сергій Васильович, магістр інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (095) 414-11-71. E-mail: dima30655@gmail.com.

Ustenko Oleksandr, doct. of techn. sciences, professor, Department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-19-99. E-mail: a.v.ustenko@gmail.com.

Pysmennyi Dmytro, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (095) 414-11-71. E-mail: dima30655@gmail.com.

Vovk Eduard Mikolajovych, sciences, pg., Department of maintenance and repair of rolling stock, the Ukrainian State University for Transportation. Tel.: (067) 563-02-96. E-mail: VovkEduard77@gmail.com.

Lyashenko Sergiy Vasilovich, sciences, pg., Department of maintenance and repair of rolling stock, the Ukrainian State University for Transportation. Tel.: (095) 414-11-71. E-mail: Sergiy818@gmail.com.

Стаття прийнята 14.11.2017 р.



УДК 656.22

**ДИСПЕТЧЕРСЬКЕ КЕРУВАННЯ РУХОМ ПРИ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ НАСИЧЕНОСТІ ПОЇЗДІВ НА ДІЛЬНИЦІ**

Канд. техн. наук О. А. Малахова, магістранти А. М. Уманець, П. М. Яблонський

**ДИСПЕТЧЕРСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ НАСЫЩЕННОСТИ Поездов НА УЧАСТКЕ**

Канд. техн. наук О. А. Малахова, магистранты А. Н. Уманец, П. Н. Яблонский

**DISPATCH CONTROL OF THE MOVEMENT AT THE DIFFERENTIATION OF THE CONSUMPTION OF TRAINS AT THE SITE**

Cand. of Tech. Sc. O. A. Malakhova, gs of ESIRAT A. Umanets, P. Yablonskyu

*У роботі показано, що основним завданням при управлінні рухом є забезпечення безпеки. Від правильного планування роботи дільниці залежить можливість безперебійного відправлення поїздів та задоволення вимог пасажирів. Ефективність використання залізничних ліній та управлінських рішень поїзного диспетчера багато в чому залежить від насичення їх поїздами. В роботі показано, що збільшення щільності потоку викликає різницю величин інтервалів між поїздами на вході та виході з дільниці.*

**Ключові слова:** диспетчер, поїзд, розклад, рух, керування.

*В работе показано, что основной задачей при управлении движением является обеспечение безопасности. От правильного планирования работы участка зависит возможность бесперебойного отправления поездов и удовлетворения требований пассажиров. Эффективность использования железнодорожных линий и управленческих решений поездного диспетчера во многом зависит от насыщенности их поездами. В работе показано, что увеличение плотности потока вызывает разницу величин интервалов между поездами на входе и выходе с участка.*

**Ключевые слова:** диспетчер, поезд, расписание, движение, управление.

*The paper shows that the main task in traffic management is security. The main dispatching management tool is the train schedule. From the correct planning of the site depends on the possibility of uninterrupted departure of trains and meeting the requirements of passengers. The efficiency of the use of railway lines and managerial decisions of the train controller largely depends on the saturation of their trains. To prevent oversaturation of sections by trains, that is, exceeding the maximum number of trains that can simultaneously be on the site, it is necessary to regulate the saturation of sections by trains. This task should be solved at the stages of shift-day and current planning of train work. It is also shown that an increase in the flux density causes a difference in the values of the intervals between the trains at the entrance and exit from the site. The minimum interval for driving on high-speed sections is calculated, which must correspond to the braking distance.*

**Keywords:** dispatcher, train, schedule, traffic, control.

**Вступ.** Управління рухом і забезпечення безпеки – це завжди важливі і складні завдання на залізниці. Впровадження швидкісного руху на залізницях України сформувало перед працівниками транспорту нові завдання з організації руху поїздів. Одним з основних завдань розвитку залізничного транспорту в умовах структурної реструктуризації і зниження інвестицій в розвиток їх основних засобів та інфраструктури є питання забезпечення безпеки руху.

Основними причинами порушень безпеки руху на залізничному транспорті є несправність колії, проїзд заборонених сигналів, злами і падіння на колії деталей вагонів і відмови його буксового вузла, порушення правил приймання і відправлення поїздів, зіткнення автотранспортних засобів з поїздами. У всіх випадках причини аварійності пояснюються недостатньою надійністю основних технічних засобів транспорту, а також помилковими діями оперативного персоналу, як на лінійному рівні, так і на рівні диспетчерського керування, і, набагато рідше, непередбаченим впливом зовнішнього середовища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним з основних документів, що регламентують перевезення на високошвидкісних магістралях, порядок використання інфраструктури та порядок дії управлінського персоналу на європейських залізницях, є директива 96/48 ЄЕС [1].

Загальна мета даного документа полягає у забезпеченні узгодженості функціонування структурних підсистем, призначених для використання на високошвидкісних магістралях. Крім того, головним чином існують єдині операційні інтерфейси між залізничними підприємствами та диспетчерським апаратом, де можливе використання програмних продуктів за єдиним протоколом.

Аналіз публікацій з даної проблематики дозволяє підкреслити актуальність теми дослідження. Так, у [2]

приділяється увага плануванню пропуску поїздів диспетчером. Зокрема, шляхом введення обмеженої кількості зупинок поїздів для схрещень та обгонів у процесі пропуску по дільниці. Можливою є мінімізація загальної тривалості часу між реальним і очікуваним часом відправлення поїзда на високошвидкісній залізничній магістралі. У роботі [3] показано, що при пропуску поїздів можуть мати місце затримки і відхилення від графіків руху внаслідок внутрішніх або зовнішніх збоїв. Затримки можуть перерости в операційні конфлікти між сусідніми поїздами, що може порушити організацію пропуску поїздів і погрожуватиме експлуатаційній безпеці. Однак, в даних роботах не визначений мінімальний час стоянки поїздів та інтервал попутного відправлення при звичайних експлуатаційних подіях та при збоях.

Останнім часом було розроблено досить багато імітаційних моделей та оптимізаційних середовищ, здатних розв'язувати завдання управління рухом поїздів в реальному часі. Так, у [4] запропонована структура для оцінки ухвалення рішення диспетчером в умовах неповноти вхідної інформації за допомогою системи ROMA у поєднанні з імітаційним середовищем EGTRAIN. Рішення поїзних диспетчерів під час експлуатаційних збоїв описані у [5]. Порядок відправлення поїздів при виникненні збоїв пропонується проводити із застосуванням моделі цілочисельного програмування, яка сформульована таким чином, щоб мінімізувати загальну затримку поїздів та кількість скасованих поїздів при зберіганні обмежень пропускової спроможності станцій. Питанням складання прогнозного розкладу відправлення швидкісних поїздів присвячена робота [6]. Для планування порядку відправлення швидкісних поїздів запропоновано модель Rail Scheduling and Rolling Stock (RSch-RS). Але в даних роботах не висвітлені питання щодо змінно-добового планування відправлення

поїздів та їх пропуску з максимальним використанням пропускної спроможності.

**Мета та завдання дослідження.**

Метою роботи є удосконалення диспетчерського керування рухом поїздів на дільницях на основі розробки методичних рекомендацій щодо підвищення якості та безпеки руху. Для досягнення поставленої мети необхідне розв'язання таких завдань:

- встановити закономірності поїзної роботи на дільницях при різній насиченості поїздами;

- дослідити вплив різних чинників на пропуск поїздів по дільницях.

**Викладення основного матеріалу.**

Згідно з [7], рухом поїздів на дільниці повинен керувати тільки один працівник – поїзний диспетчер, який відповідає за виконання графіка руху поїздів на дільниці, що він обслуговує.

Основним інструментом диспетчерського управління служить графік виконаного руху, призначений для виконання основних функцій поїзного диспетчера: контролю, планування і регулювання руху поїздів, на якому поїзний диспетчер відзначає всі дані про рух, а також усі порушення нормальної роботи на дільниці та їх причини.

Дії поїзного диспетчера, як активні, так і пасивні, виконуються паралельно, постійно накладаючись одна на одну. При відхиленні поїздів від графіка з різних причин поїзному диспетчеру в короткий час доводиться розв'язувати складні багатоваріантні завдання. Щоб досягти хороших результатів, диспетчер повинен весь час бути «попередом поїздів», постійно плануючи порядок їх пропуску. Водночас він повинен передбачати всі експлуатаційні події: схрещення, обгони, затримки при русі «по видаленню» тощо. Для цього він подумки продовжує на своєму графіку лінії ходу поїздів, визначаючи час звершення

цих подій і намічаючи регульовальні заходи.

На ці операції поїзний диспетчер витрачає від 25 до 35 відсотків свого робочого часу. Звільнивши його від них, можна значно підвищити ефективність його роботи або збільшити протяжність дільниці.

Ефективність використання залізничних ліній та управлінських рішень поїзного диспетчера багато в чому залежить від насичення їх поїздами. Зміна насиченості дільниць поїздами призводить до суттєвих змін використання пропускної спроможності та дільничної швидкості руху. При збільшенні на дільницях числа поїздів зростає їх взаємний вплив один на одного. У цих умовах виникнення навіть незначних перешкод руху викликає істотне зниження середньої швидкості проходження всіх поїздів. Тому важливим завданням є визначення допустимого насичення дільниць поїздами і встановлення впливу перенасичення на показники експлуатаційної роботи.

При збільшенні насиченості дільниці поїздами машиністи знижують швидкість для забезпечення безпеки руху. Для визначення оптимальних умов руху поїздів досліджено зв'язок між швидкістю руху по дільниці і щільністю потоку поїздів.

Нехай  $x$  – довжина дільниці. Розглянемо малий відрізок цієї дільниці між точками  $x$  і  $x + dx$ . Зміна числа поїздів на цьому відрізку за час  $dt$  може бути знайдена як різниця між кількістю поїздів, що прибувають в точку  $x$  і відправляються з точки  $x + dx$ , тобто  $ndt - \left( n + \frac{dn}{dx} dx \right) dt$ .

Аналогічним чином розраховується залежність між швидкістю та зміною щільності моментів часу відправлення. На рис. 1 наведено вплив щільності потоку на швидкість руху поїздів.

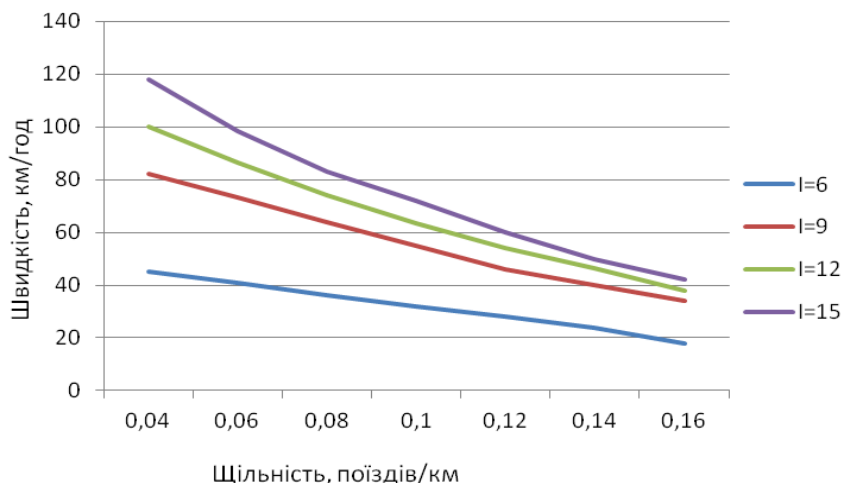


Рис. 1. Вплив щільності потоку поїздів на швидкість руху, середній інтервал між поїздами на вході і виході з дільниці

Нехай швидкість руху  $V$  в точці  $x$  визначається тільки щільністю  $\lambda$  в  $x$ :  $V = V(\lambda(x, t))$ . Нехай також  $V' = \frac{dV}{d\lambda}$ .

Прийmemo середнє прискорення  $\frac{dV}{dt}$  таким, що відповідає середній швидкості потоку  $V$ . Тоді маємо

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d\bar{V}}{dx} \frac{dx}{dt}$$

Припустимо, що  $\frac{dx}{dt} = V$ , тоді

$$\frac{dV}{dt} = V' \frac{d\lambda}{dt} + V'' \left( \frac{d\lambda}{dx} \right). \quad (1)$$

Якщо  $n = \lambda V$ , маємо

$$\frac{d\lambda}{dt} = -\frac{dn}{dx} = -\lambda \frac{dV}{dx} - V \frac{d\lambda}{dx}. \quad (2)$$

Тоді рівняння (2) перетворюється до такого вигляду:

$$\frac{d\lambda}{dt} = -\lambda V' \frac{dV}{dx}.$$

Якщо припустити, що  $\lambda(V')^2 = C^2 \lambda^m$ , або  $V' = C^2 \lambda^{(m-1)/2}$ , то

$$\frac{d\lambda}{dt} = -C^2 \lambda^m \frac{d\lambda}{dx}, \quad (3)$$

де  $C$  – невід'ємна константа з розмірністю швидкості.

Рівняння у вигляді

$$V = V_0 \left\{ 1 - \left( \frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^{(m+1)/2} \right\}, \quad (4)$$

де  $\lambda_0$  – максимальна щільність потоку, при досягненні якої всі поїзди на дільниці зупиняються;

$V_0$  – швидкість вільного руху поїздів, але ця величина не реалізовується навіть при невеликій щільності поїздів для дільниць, на яких відбувається обмеження швидкості  $V_l$ . На такій дільниці можна виразити ефект обмеження швидкості лінійною функцією.

Отримані результати доводять, що збільшення щільності потоку викликає різницю величин інтервалів між поїздами на вході та виході з дільниці.

Перенасичення дільниці поїздами приводить до того, що збільшення поїздів на вході дільниці викликає зменшення дільничної швидкості та невиконання нормативів графіка руху. Своєчасна зміна щільності потоку поїздів на дільницях дозволяє ефективно керувати перевізним процесом.

Досягнення максимальних розмірів руху поїздів і виконання нормативів графіка при поточному плануванні можливо тільки при створенні оптимальних умов роботи дільниць.

Оптимальні умови роботи дільниць характеризуються максимальним числом поїздів, які одночасно можуть перебувати на дільниці.

Максимальне число поїздів, які одночасно можуть перебувати на дільниці при паралельному двокільному графіку, можна розрахувати за формулою [8]

$$N = \left[ \frac{L}{\left(\frac{I}{60}\right)V_x} \right], \quad (5)$$

де  $N$  – максимальне число поїздів, які одночасно можуть знаходитися на дільниці;

$L$  – довжина дільниці, км;

$I$  – мінімальний міжпоїзний інтервал;

$V_x$  – ходова швидкість поїздів, км/год.

Для недопущення перенасичення дільниць поїздами, тобто перевищення максимальної кількості поїздів, які одночасно можуть перебувати на дільниці, необхідно регулювати насичення дільниць поїздами. Це завдання повинно розв'язуватись на стадіях змінно-добового і поточного планування поїзної роботи.

На дільницях з високошвидкісним рухом необхідно враховувати особливості розмежування поїздів блок-дільницями.

В процесі проведення попередніх випробувань рухомого складу, що обслуговують високошвидкісний рух, виявлено збільшення гальмівних шляхів в залежності від температури диска. Уточнення довжин гальмівних шляхів проводилося за результатами випробувань в процесі підконтрольної експлуатації при негативних температурах зовнішнього повітря [1]. Значення гальмівних шляхів наведено у таблиці.

З урахуванням гальмівного шляху на швидкісних магістралях досліджено вплив різних чинників на максимальне число поїздів, які одночасно можуть перебувати на дільницях різної довжини (рис. 2).

Дослідження впливу швидкості на максимальне число поїздів, які одночасно можуть перебувати на дільницях різної довжини, показало, що при збільшенні швидкості більше 200 км/год на дільниці не може знаходитися більше одного поїзда.

Таблиця

Гальмівний шлях

Швидкість початку гальмування, км/год	Гальмівний шлях, м, не більше
140	985
160	1160
200	1660
220	2015
250	2610

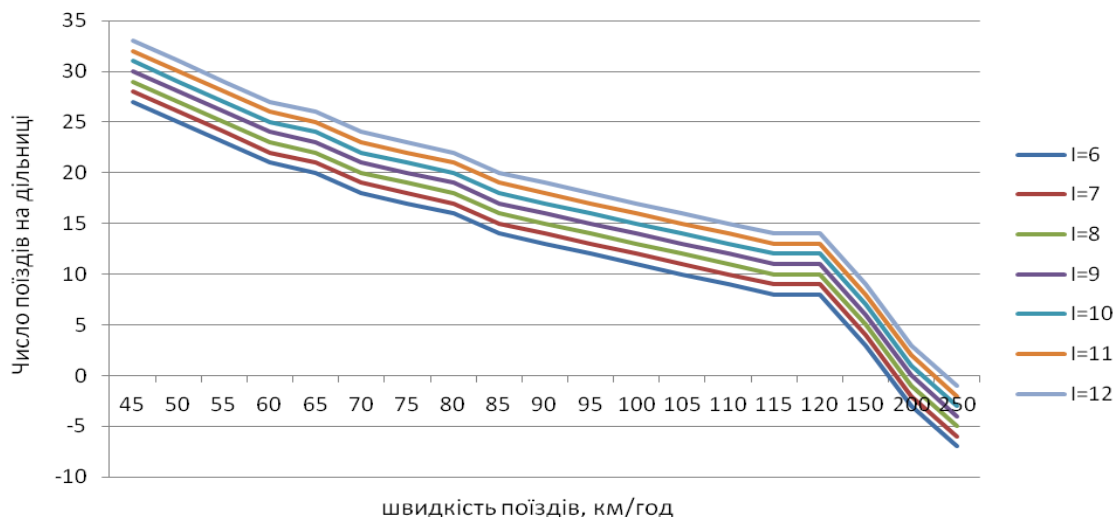


Рис. 2. Залежність максимального числа поїздів, які одночасно можуть знаходитися на ділянці ( $N$ ), від максимально допустимої швидкості

**Висновки.** В роботі наведено роль диспетчерського апарату у виконанні графіка руху поїздів. Планування пропуску поїздів по ділянці впливає на можливість безперервного відправлення та повного задоволення вимог пасажирів. Збільшення кількості поїздів призводить до ускладнень в плануванні пропуску поїздів. Таким чином, в роботі розраховані залежності

максимального числа поїздів, які одночасно можуть знаходитися на ділянці, від швидкості руху. Виконані розрахунки показали, що для поїздів, які рухаються зі швидкістю 200 км/год, збільшується гальмівний шлях та для забезпечення безпеки необхідно, щоб поїзди були розмежовані інтервалом у 25 хв.

### Список використаних джерел

1. Directive 96/48/EC -Interoperability of the trans - European high speed rail system // Technical Specification for Interoperability «Operations and traffic management. Sub – System. – 1996. – 155 p.
2. Yang, L. Collaborative optimization for train scheduling and train stop planning on high-speed railways [Text] / L.Yang, J. Qi Shukai Li, Y.Gao // Omega. – 2016. – Volume 64, – P. 57-76.
3. Zhuang H. High-Speed Railway Train Timetable Conflict Prediction Based on Fuzzy Temporal Knowledge Reasoning [Text] / H. Zhuang, L. Feng a, Ch. Wena, Q. Peng, Q. Tang // Engineering 2. – 2016. – №2. – P. 366-373.
4. Ahn, Y. Stability analysis of railway dispatching plans in a stochastic and dynamic environment [Text] / Y. Ahn, T. Kowada, H. Tsukaguchi, U. Vandebona //Journal of Rail Transport Planning & Management. – 2013. – Vol. 3. – Issue 4. – P. 137-149.
5. Quaglietta E. Real-time high-speed train rescheduling in case of a complete blockage [Text] / E. Quaglietta, Fr. Corman, Rob M.P. Goverde // Transportation Research Part B: Methodological. – 2015. – Vol. 78. – P. 182-201.
6. Espinosa-Aranda, J.L. Train Scheduling and Rolling Stock Assignment in High Speed Trains[Text] / J. L. Espinosa-Aranda, R. García-Ródenas, L. Cadarso, Á. Marín // Procedia - Social and Behavioral Sciences. – 2014. – Vol. 160. – P. 45-54.

7. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України ЦД 0058 [Текст]: наказ Укрзалізниці від 31.08.2005 р. № 507-Ц. – 458 с.

8. Аунг, Х. З. Создание необходимых условий для организации движения поездов на железнодорожном транспорте Республики Мьянма [Текст] / Х. З. Аунг // Материалы научно-практической конференции «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерений (УКИ-10)» ИПУ РАН. – М.: МИИТ, 2011. – С. 523-528.

---

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.

Уманець Андрій Миколайович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 067-571-33-33. E-mail: uermp@ukr.net.

Яблонський Павло Миколайович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 095-918-90-89. E-mail: palnik1404@gmail.com.

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.

Umanets Andriy, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport, group M3-TEMPUS-ОПУТ-16-2. Tel.: 067-571-33-33. E-mail: uermp@ukr.net.

Yablonskyu Pavlo, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport, group M3-TEMPUS-ОПУТ-16-1. Tel.: 095-918-90-89. E-mail: palnik1404@gmail.com.

Стаття прийнята 15.11.2017 р.

**УДК 656.027(477)**

## **АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ПО УКРАЇНІ В УМОВАХ ШВИДКІСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**Канд. техн. наук Л. О. Пархоменко, магістранти В. Ю. Серпокрилов, Д. М. Коваленко**

## **АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПАССАЖИРОПОТОКОВ В УКРАИНЕ В УСЛОВИЯХ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОК**

**Канд. техн. наук Л. А. Пархоменко, магистранты В. Ю. Серпокрилов, Д. М. Коваленко**

## **ANALYSIS OF DYNAMICS OF PASSENGER TRAFFIC IN UKRAINE IN CONDITIONS OF SPEED TRANSPORTATION**

**PhD L. Parkhomenko, master students V. Y. Serpokrylov, D. M. Kovalenko**

*Проаналізовано існуючі підходи до розвитку пасажирських перевезень на залізницях України. Доведено, що спостерігається стійка тенденція до зростання обсягів перевезення пасажирів за рахунок упровадження і подальшого розвитку швидкісних пасажирських магістралей на мережі. Також надано кількісну оцінку динаміки зростання, яка становить близько 8 %. Крім того, надано детальний аналіз зміння обсягів пасажиропотоків по окремих напрямках, що може бути основою для збільшення кількості пар пасажирських поїздів швидкісного руху.*

**Ключові слова:** швидкісні залізничні перевезення, динаміка пасажиропотоку, населеність швидкісних поїздів.

*Проведен анализ существующих подходов к развитию пассажирских перевозок на железных дорогах Украины. Доказано, что имеет место устойчивая тенденция к росту объемов перевозок пассажиров за счет внедрения и дальнейшего развития скоростных пассажирских магистралей на сети. Также предоставлена количественная оценка динамики роста, которая составляет около 8 %. Кроме того, предоставлен детальный анализ изменения объемов пассажиропотоков по отдельным направлениям, который может быть основой для увеличения количества пар пассажирских поездов в скоростном движении.*

**Ключевые слова:** скоростные железнодорожные перевозки, динамика пассажиропотока, населенность скоростных поездов.

*The study analyzed the existing approaches to the development of passenger transportations on the railways of Ukraine. It is proved that there is a steady tendency to increase passenger turnover due to the introduction and further development of high-speed passenger lines on the network. A quantitative estimate of growth dynamics is also provided, which is about 8%. In addition, a detailed analysis of changes in the volume of passenger traffic in certain areas is provided, which may be the basis for increasing the number of pairs of passenger trains of high-speed traffic. Based on the analysis, it was determined that the most suitable direction of development of the system of high-speed passenger rail passenger transportation in Ukraine is a mixed variant of the development of a network of high-speed connections on the basis of modernization of existing railway lines for the possibility of passenger trains up to 200 km/h.*

**Keywords:** high-speed rail transportation, dynamics of passenger traffic, population of high-speed trains.

**Вступ.** Одним з важливих завдань удосконалення транспортної системи швидкісних пасажирських перевезень на залізницях України є визначення раціонального напрямку розвитку залізничної мережі високошвидкісних і швидкісних перевезень на основі аналізу світового досвіду функціонування ринку швидкісних перевезень [1].

На концептуальному рівні розвиток мереж високошвидкісних магістралей (ВШМ, англ. High Speed Rail або HSR) поділяється на декілька підходів [2, 3]. 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 наявних залізничних ліній для можливості руху пасажирських поїздів до 200 км/год (Німеччина, Італія). Цей підхід передбачає застосування пасажирських поїздів, що здатні рухатися коліями звичайної залізничної мережі. Таким чином, у сучасних умовах функціонування швидкісного пасажирського руху в Україні є доцільним проведення аналізу пасажиропотоків у сучасних умовах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання організації пасажирських перевезень вивчали такі вчені і практики: Пазойський Ю. О. [4], Рябуха Л. С., Бутько Т. В. [5], Шубко В. Г., Прохорченко А. В., Малахова О. А. Але останнім часом в Україні швидкими



темпами розвивається мережа ВШМ, що потребує додаткових досліджень структури і параметрів пасажирських потоків.

**Мета та завдання дослідження.**

Виходячи із вищезазначеного метою цього дослідження є аналіз динаміки пасажиропотоків та населеності швидкісних поїздів для кількісної оцінки впливу сезонного фактора. Ці дослідження можуть бути покладені в основу розвитку топології ВШМ в Україні.

**Основний матеріал.** Для вибору концепції розвитку швидкісного та високошвидкісного руху пасажирських

поїздів на залізницях України необхідним є проведення досліджень ринку пасажирських перевезень та аналізу ефективності курсування звичайних і швидкісних пасажирських поїздів у межах існуючої моделі експлуатації залізничної мережі.

Проведений аналіз кількості відправлених пасажирів на залізничному транспорті за період 2012-2017 рр. свідчить про сталу тенденцію до зростання інтенсивності пасажиропотоку із середньою величиною в 1,04 % протягом 2015-2017 рр. (рис. 1).



Рис. 1. Кількість відправлених пасажирів на залізницях України за 2012-2017 рр.

На фоні незначного зростання кількості перевезених пасажирів загострюється конкуренція між залізничним і автомобільним транспортом. Погіршення життєвого рівня населення України, зменшення його реальних доходів, різке підвищення тарифів зумовили зниження пасажирообігу на 10,5 %, у тому числі на морському – на 50 %, на авіаційному – на 32,8 %, автомобільному – на 34,97 %. Лише на залізничному транспорті обсяг перевезень збільшився завдяки перерозподілу пасажиропотоку на 8 % через повільніше зростання тарифів, ніж на інших видах транспорту. Так, залізничний транспорт протягом останніх п'яти років збільшив кількість перевезених

пасажирів на 8 %, тоді як автомобільний транспорт втратив 7 % (рис. 2).

Досвід залізниць світу показує, що найбільш значне підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту можливе при впровадженні швидкісного руху пасажирських поїздів. Слід зазначити, що в економічно розвинених країнах основна конкуренція відбувається між залізничним і авіаційним транспортом. Так, частка залізничного транспорту після введення швидкісного руху пасажирських поїздів (250 км/год) зросла на 21 %. Комерційний успіх високошвидкісних мереж світу ґрунтується на зменшенні тривалості поїздки (до 3 год у дорозі), що дає змогу конкурувати з автомобільним і авіаційним

транспорт [6, 7]. Високошвидкісні залізниці більш вигідні, ніж звичайні, якщо не враховувати вартість будівництва інфраструктури. Причиною є те, що багато експлуатаційних витрат, таких як штат, мають фіксовані витрати на годину, у той час як дохід від квитка оснований на

відстані. Пасажири також платять більше за кілометр за високу швидкість. Таким чином, експлуатаційне співвідношення доходу і вартості є більшим для високошвидкісних систем, а отже, якщо існує потенційний попит на перевезення, то доходи будуть випереджати витрати.



Рис. 2. Зміни загальної частки кількості перевезених пасажирів за 2014-2016 рр.

Порівнюючи світовий досвід з умовами функціонування ринку залізничних пасажирських перевезень в Україні, слід зазначити, що на залізницях України встановлені низькі маршрутні швидкості, рівень сервісу в пасажирських поїздах є низьким, що поглиблює вплив конкуренції з боку автомобільного транспорту. Для підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту на ринку пасажирських перевезень перспективним є впровадження швидкісного руху поїздів до 160 км/год на базі наявної модернізованої інфраструктури з можливістю в перспективі збільшення швидкості. З цією метою проведено аналіз ефективності швидкісних пасажирських поїздів Хундай і Шкода (швидкість до 160 км/год), що почали курсувати з 2012 р. на мережі залізниць України. Аналіз кількості перевезених пасажирів швидкісними поїздами Хундай і Шкода (швидкість до 160 км/год) за напрямками на залізницях України наведено в таблиці.

Обсяги перевезень пасажирів швидкісними поїздами збільшилися, тому у

зв'язку з підвищеним попитом було б доцільно призначити додаткові рейси на деякі напрямки. Усього за 9 місяців 2017 р. послугами швидкісних поїздів скористалися понад 3,8 тис. пасажирів. Це на 5 % більше, ніж за аналогічний період минулого року. Позитивна динаміка пов'язана зі збільшенням запропонованих місць за рахунок придбання у червні 2014 р. двох швидкісних міжрегіональних електропоїздів подвійного живлення моделі ЄКР-1 вітчизняного виробництва ПАТ «Крюківський вагобудівний завод». Крім того, усе більш привабливими умовами поїздки стають вартість і гнучка тарифна політика, час у дорозі, комфорт. Необхідно відзначити, що в поточному році стабільно зростає і кількість проїзних документів, оформлених на поїзди через Інтернет: з 36 (у 2015 р.) до 83 % (на сьогодні) від загальної кількості проданих квитків. Високим попитом користуються регіональні поїзди Шкода, але через низькі тарифи на проїзд ці поїзди за всіма напрямками є нерентабельними.

## Аналіз кількості перевезених пасажирів швидкісними поїздами Хундай і Шкода

Напрямок	Період					
	3 червня 2012 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2016 р.	9 міс. 2017 р.
Харківський	321,0	718,1	677,1	990,5	1154,4	965,7
Дніпропетровський	58,9	468,3	444	841,9	1011,5	904,6
Донецький	181,7	448,4	144,9	280	340,2	295,9
Львівський	75,7	182,8	248,6	525,9	634,6	233,4
Одеський	-	-	41,3	265,8	378,2	364,9
Тернопільський	-	-	43	174,5	228	201,2
Криворізький	-	-	2,6	26,6	21,8	104,2
Міжнародний (до Перемишля)	-	-	-	-	9,6	430,8
Харків-Вінниця	-	-	-	-	29,1	377,7
Інтерсіті	286,6	259,5	-	-	-	-
Кримський	-	159	2	-	-	-
Усього	923,9	2236,1	1603,5	3105,2	3807,4	3878,4

Позитивну динаміку демонструють і перевезення пасажирів швидкісними поїздами Інтерсіті+ сполученням № 715/716 Київ – Перемишль. Пасажирські перевезення залізничним транспортом з України в ЄС за період січень – серпень 2017 р. збільшилися порівняно з аналогічним періодом минулого року майже у 12 разів – до 377,7 тис. пасажирів.

За допомогою залізничного транспорту України можна було б налагодити швидкісне сполучення між усіма державами Європи. Цьому сприяє транс'європейська залізнична магістраль Е-30, що бере початок у Берліні і перетинає Україну за маршрутом Мостиська – Львів – Київ. Вона ж на території Польщі перетинається зі швидкісними магістралями Е-59 і Е-65. Маючи розгалужену транспортну інфраструктуру і перебуваючи на перехресті

найважливіших напрямків світової торгівлі між Європою, Азією та іншими континентами, Україна має всі передумови для сталого розвитку транспортної галузі в рамках виваженої державної політики.

**Висновки.** На підставі проведеного аналізу визначено, що найбільш прийнятним напрямком розвитку системи швидкісних залізничних пасажирських перевезень в Україні є змішаний варіант розвитку мережі швидкісних сполучень на основі модернізації існуючих залізничних ліній для можливості руху пасажирських поїздів до 200 км/год. Це підтверджує проведений аналіз щодо динаміки обсягів перевезень та населеності швидкісних поїздів, зростання якої становить 8 %. Для впровадження швидкісних перевезень на нових напрямках доцільно створити модель розвитку топології швидкісного руху на мережі ПАТ УЗ.

### Список використаних джерел

1. Формування моделі розвитку залізничної системи швидкісних перевезень на основі принципів самоорганізації [Текст] / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко, Л. О. Пархоменко [та ін.] // Вісник Національного технічного університету "ХПІ": зб. наук. праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2011. – № 54. – С. 67-70.

2. Vickerman, R. High-speed rail in Europe: experience and issues for future development [Text] / R. Vickerman // The Annals of Regional Science, 1997. – 31. – P. 21-38.
3. Givoni, M. Development and impact of the Modern High-Speed Train: A Review [Text] / M. Givoni // Transport Review, 2006. – Vol.26, No.5. – P. 593-611.
4. Пазойский, Ю. О. Организация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте (в примерах и задачах) [Текст] / Ю. О. Пазойский, Л. С. Рябуха, В. Г. Шубко; под ред. В. Г. Шубко. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
5. Пасажирські перевезення (залізничний транспорт) [Текст]: навч. посібник / Т. В. Бутько, О. А. Малахова, А. В. Прохорченко, Д. В. Константінов; за ред. Т. В. Бутько; УкрДАЗТ. – Харків: Райдер, 2014. – 260 с.
6. Phang, S.-Y. Strategic development of airport and rail infrastructure: the case of Singapore [Text] / S.-Y. Phang // Transport Policy. – 2003. – №10. – P. 27-33.
7. Ginés de Rus Economic Analysis of High Speed Rail in Europe [Text] / Ginés de Rus, Ignacio Barrón, Javier Campos, Philippe Gagnepain, Chris Nash, Andreu Ulied, Roger Vickerman // Fundación BBVA, 2009 Plaza de San Nicolás, 4. 48005 Bilbao. – 140 p.

---

Пархоменко Лариса Олексіївна, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.  
Серпокрилов Віталій Юрійович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту.  
Коваленко Дмитро Михайлович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту.

Parkhomenko Larysa., Ph.D. Department of Management of Operational Work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.  
Serpokrylov Vitalii Yuriiiovych, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport.  
Kovalenko Dmytro Mykhailovych, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport.

Стаття прийнята 15.11.2017 р.

**УДК 656.22**

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ВІДПРАВЛЕННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ РОЗКЛАДІВ**

**Канд. техн. наук Г. М. Сіконенко, магістрант О. Л. Шарий**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОТПРАВЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ РАСПИСАНИЙ**

**Канд. техн. наук Г. М. Сіконенко, магістрант А. Л. Шарый**

## **DEFINITION OF TIME OF PASSENGER TRAINING WITH THE USE OF THEORY OF SCHEDULES**

**Cand. tech Sciences G. M. Sikonenko, master student O. L. Sharyi**

*Розглянуто стратегічні напрямки розвитку перевезень пасажирів залізничним транспортом в Україні та країнах світу. Приділено увагу організації руху поїздів на високошвидкісних магістралях. Для підвищення ефективності функціонування українського залізничного транспорту запропоновано визначати час відправлення поїздів з*

використанням теорії розкладів, що допоможе врахувати попит пасажирів на перевезення, наявність рухомого складу та ниток графіка руху для задоволення попиту.

**Ключові слова:** перевезення, розклад, відправлення, поїзд, пасажир.

*Рассмотрены стратегические направления развития перевозок пассажиров железнодорожным транспортом в Украине и странах мира. Уделено внимание организации движения поездов на высокоскоростных магистралях. Для повышения эффективности функционирования украинского железнодорожного транспорта предложено определять время отправления поездов с использованием теории расписаний, что поможет учесть спрос пассажиров на перевозки, наличие подвижного состава и ниток графика движения для удовлетворения спроса.*

**Ключевые слова:** перевозки, расписание, отправление, поезд, пассажир.

*In the article strategic directions of development of passenger transportation by rail in Ukraine and countries of the world are considered. Attention is paid to the organization of train traffic on high-speed highways. The purpose of the study is to improve passenger transportation by rail by rationalizing the departure time of passenger trains.*

*To improve the efficiency of the Ukrainian railway transport, it is suggested to determine the time of departure of trains using the theory of timetables, which will help to take into account the demand of passengers for transportation, the availability of rolling stock and the thread of the traffic schedule to meet demand.*

*A comparison of the transport of passengers to a distance of 200-500 km between rail and air transport was compared. It is shown that rail transportation has the advantage, since trains can stop at intermediate stations for landing - disembarking passengers. This fact does not greatly affect the route speed, but it allows you to attract additional customers.*

**Keywords:** transportation, schedule, departure, train, passenger.

**Вступ.** Ратифікація Україною Угоди про асоціацію з Європейським Союзом, крім іншого, передбачає імплементацію низки законодавчих актів ЄС. У зв'язку з цим КМУ ухвалив план заходів щодо імплементації директив, що стосуються, зокрема, і транспортної галузі, а Мінінфраструктури розробило проекти стратегічних планів розвитку окремих видів транспорту до 2020 р., які закладають основу змін у транспортній галузі на наступні роки. Мова йде про основні принципи, стратегічні напрями, цілі та завдання розвитку транспорту.

На особливу увагу заслугове розвиток швидкісних та високошвидкісних магістралей. Так, для сорокамільйонної Іспанії загальна експлуатаційна довжина виділених ліній високошвидкісних магістралей (ВШМ) складає 3600 км.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання удосконалення руху на ВШМ учені вивчають у різних країнах світу. Так, в [1] викладено основні положення щодо визначення часу поїздки з перевантаженням ліній та у вільних потоках. Очікуваний час поїздки моделюється відповідно до характеристики перевезення (швидкості на перегонах та швидкості в точках проходження дорожніх сегментів – станцій). Питанням вивчення багатовимірних часових рядів потоку поїздів у графіках присвячені дослідження [2], що ґрунтуються на складній мережевій теорії. Результати показують, що ці дві статистичні величини виражають аналогічну картину з параметрами потоку руху при нерівномірності перевезень, що відповідає трьом станам: спад перевезення, пік і перехідні години та відповідно кореляція між двома станами. Однак у цих

роботах значна увага приділена завантаженню інфраструктури і не враховується бажаний час відправлення пасажирських поїздів.

Аналізу пасажиропотоку, що користується високошвидкісним перевезенням у Китаї, присвячені дослідження, викладені у [3]. Показано, що останнім часом пасажирів схильні користуватися послугами LCC (low-cost carrier), крім більш заселених пунктів, де зберігається перевага щодо використання HSR (high-speed railway). Для пасажирів європейських залізниць цінними є результати витрат на залізничні перевезення високошвидкісними поїздами на нових швидкісних лініях [4]. Особлива увага приділена руху поїздів при максимальному завантаженні інфраструктури і зовнішнім витратам на організацію руху на високошвидкісному залізничному транспорті. Як показано у [5], конкуренцію повітряному транспорту на середніх відстанях створює залізничний транспорт при перевезеннях по ВШМ. Однак для пасажирів, що користуються послугами залізничного транспорту України, переважним є вартість та час поїздки, що враховано при моделюванні у цьому дослідженні.

#### **Мета та завдання дослідження.**

Метою дослідження є удосконалення процесу перевезень пасажирів шляхом визначення часу відправлення пасажирських поїздів. Для вирішення поставленої мети потрібно розв'язати такі завдання: визначення динаміки пасажиропотоків; аналіз світового досвіду та перспектив розвитку пасажирського руху при перевезеннях пасажирів у швидкісних поїздах; формалізація задачі визначення часу відправлення поїздів з використанням теорії розкладів.

**Основний матеріал.** в Україні є передумови для розвитку швидкісного пасажирського залізничного транспорту. Експлуатаційна довжина залізничних колій загального користування склала 20948,1 км, з яких 48 % електрифіковано. За довжиною мережі залізниць Україна посідає третє

місце в Європі. Крім того, роль залізничного транспорту в системі транспортних комунікацій України посилюється і тим, що через територію держави пролягають основні транспортні транс'європейські коридори: Схід – Захід, Балтика – Чорне море. Зокрема транс'європейська залізнична магістраль Е-30, що починається в Берліні, перетинає Україну за маршрутом Мостиська-Львів-Київ.

На жаль, характерними рисами сьогоденного стану діяльності транспортної галузі України є критичний рівень фінансового стану і практично зношений рухомий склад та матеріально-технічна база. Абсолютна більшість тягового рухомого складу українських залізниць побудована за технічними вимогами 60-х років минулого століття і здебільшого майже відпрацювала нормативний термін служби. Якщо магістральні електровози відпрацювали нормативний термін служби на 71,6 %, то магістральні тепловози – на 99,4 %, а маневрові тепловози – на 91,3 %.

Не краща ситуація з парком вагонів – середній вік усього парку пасажирських вагонів сягає 27,5 року при загальному зносі 86 %. При цьому 61,3 % пасажирських вагонів використовуються вже понад 28 років.

Усе це вплинуло на стрімкий спад обсягів перевезень. У 2016 році пасажирооборот поїздів дальнього прямування склав понад 116,5 млрд пас. км, що на 8,3 % менше, ніж у 2013 році. На зменшення пасажирообороту впливає конкуренція з боку інших видів транспорту – авіаційного та автомобільного. Пасажирооборот залізниць на сьогодні складає майже 38 % від загального обсягу перевезень громадського транспорту України.

В Україні за 2016 рік зменшився пасажирооборот на 0,2 % – до 0,8 млрд пас. За даними Держкомстату [6], в Україні за 2016 рік послугами залізничного транспорту скористалися 389,05 млн пас., виконана пасажирська робота в обсязі

116,48 млрд пас. км, що становить відповідно 91,7 % від обсягів 2013 року.

Дані про відправлення пасажирів за видами транспорту наведені у таблиці.

Таблиця

Відправлення (перевезення) пасажирів за видами транспорту загального користування, тис. пас.

Рік	Вид транспорту						
	залізничний	морський	автомобільний	авіаційний	трамвай	тролейбус	метрополітен
2012	429115,3	5921,0	3450173,1	8106,3	799688,8	1345544,9	774057,6
2013	425216,9	6642,0	3343659,5	8107,2	757382,8	1306228,5	774794,0
2014	389305,5	29,4	2913318,1	6473,3	769911,1	1096884,8	725819,9
2015	389794,1	25,5	2250345,3	6302,7	738603,2	1080772,6	700369,5
2016	389057,6	30,3	2024892,9	8277,9	694009,4	1038746,0	698367,3

Низький рівень техніко-технологічних і економічних параметрів більшості видів вітчизняних транспортних засобів, який не відповідає міжнародним стандартам, призводить до неминучого програшу у світовій конкуренції на ринку транзитних послуг. Тому відбувається експансія іноземних транспортних та експедиційних компаній на український ринок перевезень. Особливо гостро зазначена ситуація відчувається на морському і повітряному транспорті.

Транспортна галузь – дуже складна галузь з безліччю вузькоспеціалізованих нюансів. У ній перетинаються багато інтересів, так як транспорт обслуговує всі галузі економіки на різних етапах виробництва, розподілу і споживання. Усе це в сукупності порушило низку проблем, які потребують негайного вирішення [7]. Основними недоліками, що потрібно подолати у залізничному транспорті, є:

– високий ступінь зносу основних засобів галузі, у першу чергу – тягового рухомого складу;

– відсутність конкуренції, а отже, відсутність у суб'єкта господарювання галузі мотивації до підвищення ефективності своєї роботи і якості послуг, розширення їх переліку;

– жорстке державне регулювання тарифів на залізничні перевезення, яке не дає змоги своєчасно реагувати на зміну ситуації на ринку транспортних послуг;

– значне фінансове навантаження Укрзалізниці соціальними функціями держави (перевезення пільгових категорій пасажирів, зобов'язання перевозити пасажирів у приміському сполученні за тарифами, які значно нижчі за собівартість);

– відсутність державних інвестицій у галузь незважаючи на положення ст. 10 чинного Закону України «Про залізничний транспорт».

Залізничні сполучення мають деякі переваги перед авіаційним транспортом. Пасажирський поїзд, навіть при організації високошвидкісного руху, може мати зупинки на окремих станціях масової посадки – висадки. Таким чином, навіть з деяким невеликим збитком для маршрутної швидкості можна охопити високошвидкісним сполученням міста, які розміщені між кінцевими пунктами маршруту і, отже, залучити додаткових пасажирів. Так, поїзди TGV перевозять на маршрутах між Парижем і франкомовними регіонами Швейцарії втричі більше пасажирів, ніж літаки.

Ці два види транспорту нерідко прагнуть доповнювати один одного в певних сегментах ринку транспортних послуг. Це прагнення обумовлене тим, що поєднання різних видів транспорту може надати пасажиром можливість здійснити

поїздки з великими зручностями, ніж будь-який з них окремо. Можливість відправлення пасажирів залежить від наявності рухомого складу. Ця можна описати таким чином:

$$\sum_{(q,r) \in W_l} F_{(q,r)}^l + \sum_{\omega \in W_l^+} F_{\omega}^l \leq \sum_{c \in C} k_c^l K_c^l; \forall l, \forall q \in Q_l, \quad (1)$$

де  $W_{lq}^+$  – усі станції прямування поїзда по лінії при відправленні з початкової станції  $q$ ;

$W_l$  – станція призначення при прямованні поїзда по лінії  $l$ .

У моделі  $F_{\omega}^l$  означає кількість пасажирів, які прямують між парою

початково - кінцевих станцій  $\omega$ , по лінії  $l$  з погляду компанії, що надає цю послугу. У цій моделі змінні визначають місця для пасажирів (максимальну місткість складу) для можливості розрахунку максимального прибутку компанії.

Виконання перевезення тим чи іншим рухомим складом визначається за умови

$$K_c^l = \begin{cases} 1, & \text{якщо перевезення } l \text{ здійснюється рухомим складом } c \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases} \quad (2)$$

Нарешті, кожна станція відправлення пасажирів можлива тільки єдина

$$\sum_{c \in C} K_c^l = 1; \forall l \in L. \quad (3)$$

Цільова функція. Розглянута модель дає змогу максимізувати прибуток унаслідок підвищення доходу від продажу квитків за вирахуванням операційних витрат:

$$Z = \sum_{l \in L} \sum_{\omega \in W_l} \psi_{\omega}^l F_{\omega}^l - \sum_{l \in L} \sum_{c \in C} \pi_c^l K_c^l \rightarrow \max Z. \quad (4)$$

Однак необхідно мати на увазі, що може статися такий випадок. Розглянемо дільницю Харків – Київ – Львів – Краків – Перемишль. Припустимо, що найбільший попит сформувався на дільниці Харків – Київ – Львів. Таким чином, поїзд може бути повністю заповнений на станції відправлення Харків пасажирами, що прямують до станції Львів, не залишаючи квитки іншим пасажирам до більш далеких станцій. У цьому поїзді пасажири вийдуть

по станції Львів і далі прямуватиме з порожніми місцями, навіть якщо були пасажири на станції Харків, які потребували відправлення до станції Краків (Перемишль). Щоб уникнути такої ситуації, модель дає змогу вибирати певну кількість місць по кожному маршруту.

Було промодельовано 16 можливих призначень поїздів. Виявилось, що найкращим рішенням є відправлення п'яти поїздів зі звичайною композицією, трьох



поїздів у подвійному складі (Харків – Львів), одного поїзда Київ – Перемишль та одного Львів – Перемишль, а 11 поїздів узагалі не повинні плануватися до відправлення.

Тимчасова діаграма на станціях показана на рисунку. Потовщена лінія є призначенням поїзда з подовженим складом, а тонка лінія – прості композиції. На графіку видно, що деякі поїзди відправляються практично одночасно. Цей факт указує на можливість усунення деяких

поїздів у сітці розкладу для досягнення найкращого рішення.

Цікавим є факт, що при визначенні попиту на відправлення поїздів необхідно врахувати:

- що частина пасажиропотоку може бути не задоволена наявним графіком;
- можливість прокладання нитки поїздів із затримкою в одну годину (було розглянуто в експерименті для кожної пари);
- відсутність вільних місць у продажу.

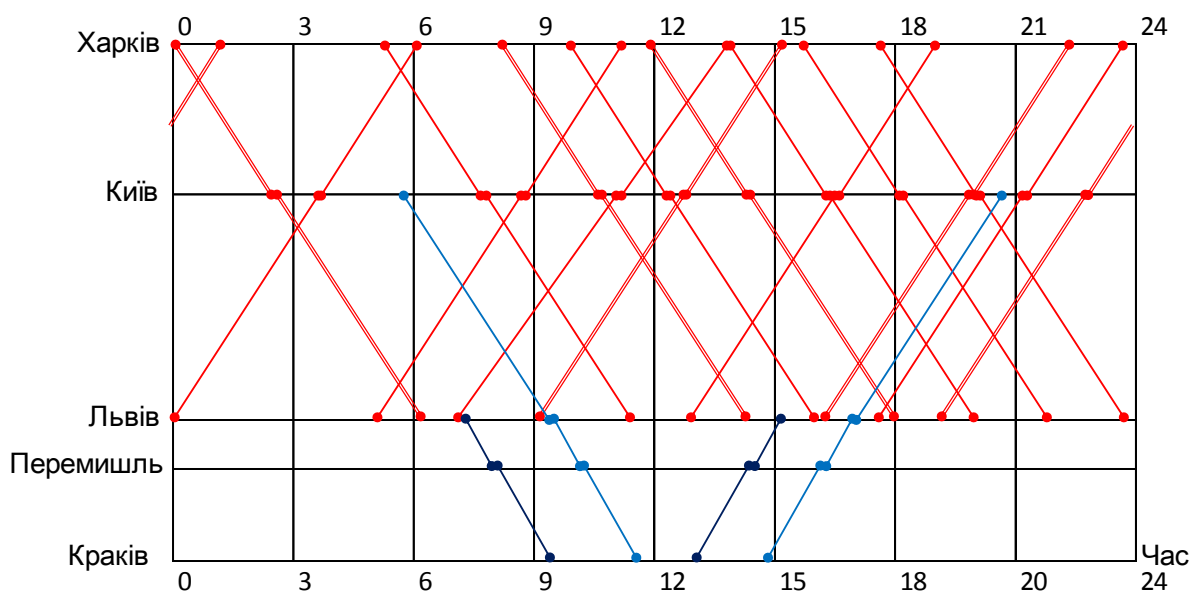


Рис. Результати моделювання кількості поїздів на напрямку Харків – Краків

При моделюванні врахований той факт, що пасажир повинен здійснювати поїздку у найзручніший для нього час.

**Висновки.** Вивчивши світовий досвід, можна зробити висновок, що для підвищення ефективності функціонування залізничного транспорту України сьогодні потрібно:

- розвивати прискорений рух (до 160 км/год) на основі наявних колій;
- поновити рухомий склад для перевезення пасажирів, особливу увагу приділяючи високошвидкісному руху;

– створювати здорову конкуренцію між видами транспорту, підвищувати якість послуг, що надаються пасажиром;

– застосовувати гнучку тарифну політику, що дасть змогу залучати нових клієнтів;

– залучати нових інвесторів.

Покращення обслуговування пасажирів слід проводити з урахуванням вимог щодо зручності часу відправлення поїздів та наявності вільних місць у вагонах певної категорії.

*Список використаних джерел*

1. Jain, S. Traffic Congestion Modelling Based on Origin and Destination [Text] / S.Jain, S. Singh Jain, G. Jain // *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 187. – P. 442-450.
2. Yan, Y Understanding characteristics in multivariate traffic flow time series from complex network structure [Text] / Y.Yan, Sh. Zhang, J. Tang, X. Wang // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. – July 2017. – Vol. 477. – P. 149-160.
3. Wang, K. Should China further expand its high-speed rail network? Consider the low-cost carrier factor [Text] / K. Wang, W. Xia, A. Zhang // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. – June 2017. – Vol. 100. – P. 105-120.
4. Sánchez-Borràs, M. Rail access charges and the competitiveness of high speed trains [Text] / M. Sánchez-Borràs, Ch. Nash, P. Abrantes, A. López-Pita // *Transport Policy*. – March 2010. – Vol. 17. – Issue 2. – P. 102-109.
5. Wan, Y. Airlines' reaction to high-speed rail entries: Empirical study of the Northeast Asian market [Text] / Y. Wan, H. Hun-KooH, Y. Yoshida, A. Zhang // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. – 2016. – Vol. 94. – P. 532-557.
6. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua). – Загол з екрана. – Дата звернення (11.08.2017).
7. Стратегические направления развития транспорта в Украине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://transport-journal.com/news/stratheycheskye-napravlenyuua-gazvytyuua-transporta-v-ukrayne/>. – Загл с екрана. – Дата обращения (04.09.2017).

---

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](mailto:gregsik79@gmail.com).

Шарий Олексій Леонідович, магістрант ІПК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 050-33-88-339. E-mail: [sharyi@ukr.net](mailto:sharyi@ukr.net).

Sikonenko Gryhoriy, Cand. of Tech. Sc, assistant professor of management operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Тел.: 050 – 027 – 24 – 07. E-mail: [gregsik79@gmail.com](mailto:gregsik79@gmail.com).

Sharyy Oleksiy, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Тел.: 050-33-88-339. E-mail: [sharyi@ukr.net](mailto:sharyi@ukr.net).

Стаття прийнята 15.11.2017 р.

УДК 656.254.5

**ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПРОМОЖНОСТЬЮ ЗАЛІЗНИЧНОЇ МЕРЕЖІ В УМОВАХ ШВИДКІСНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

Канд. техн. наук П. В. Долгополов, магістранти О. С. Черепков, Р. М. Карпов

**ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ СКОРОСТНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК**

Канд. техн. наук П. В. Долгополов, магістранты А. С. Черепков, Р. Н. Карпов

**OPTIMIZATION OF RAILWAY NETWORK CAPACITY MANAGEMENT IN CONDITIONS OF SPEED PASSENGER TRANSPORTATION**

Cand. of techn. sciences P. V. Dolgoplov, master student A. S. Cherepkov, R. N. Karpov

*Розроблено оптимізаційну математичну модель управління пропускною спроможністю залізничної мережі на основі методу Дейкстри, транспортної задачі відкритого типу з обмеженнями та методу Форда-Фалкерсона. Модель враховує обмеження пропускної спроможності дільниць полігона, потрібні розміри поїздопотоків (у тому числі швидкісних) та вартість слідування поїзда по кожній дільниці. Реалізація моделі дасть можливість ефективніше розподіляти поїздопоток на залізничному полігоні в умовах швидкісного пасажирського руху.*

**Ключові слова:** модель, поїздопотік, пропускна спроможність, поїзд, високшвидкісний рух, обмеження, залізнична мережа, управління, теорія графів, диспетчер.

*Разработана оптимизационная математическая модель управления пропускной способностью железнодорожной сети на основе метода Дейкстры, транспортной задачи открытого типа с ограничениями и метода Форда-Фалкерсона. Модель учитывает ограничения пропускной способности участков полигона, размеры поездопотоков (в том числе скоростных) и стоимость следования поезда по каждому участку. Реализация модели позволит эффективнее распределять поездопотоки на железнодорожном полигоне в условиях скоростного пассажирского движения.*

**Ключевые слова:** модель, поездопоток, пропускная способность, поезд, высокоскоростное движение, ограничения, железнодорожная сеть, управление, теория графов, диспетчер.

*At the present time, it is relevant to develop organizational and technical measures to increase the available throughput of the network by optimizing the flow of trains, taking into account operational changes in its topological structure during repairs, as well as the cost of passing trains across every segment. The implementation of this task is complicated by the introduction of high-speed passenger trains into the train traffic graph, since at speeds up to 160 km / h and, in the future, up to 200 km / h, create a significant nonparallel graph of train traffic, which reduces the existing capacity of segments and the railway network as a whole. Therefore here an optimization mathematical model of controlling the capacity of the railway network is developed on the basis of mathematical apparatuses of graph theory, namely the Dijkstra's method,*

*the open-type transport problem with constraints, and the Ford-Falkerson method. The model takes into account the limitations of the capacity of sections of the railway network, the predicted dimensions of the flows of freight and passenger (including high-speed) trains, as well as the cost of passing the train for each section. The implementation of the constructed model in the information and control system of dispatching control will allow more efficient distribution of train traffic on a ramified railway network in conditions of mass high-speed passenger traffic.*

**Keywords:** *model, train traffic, throughput, train, high-speed traffic, restrictions, railway network.*

**Вступ.** Загальною метою диспетчерського регулювання перевезень на залізничному транспорті є забезпечення виконання замовлення на перевезення при високій ефективності використання перевізних засобів.

Реалізація даної мети ускладнюється при введенні у графік руху поїздів швидкісних пасажирських поїздів, оскільки вони, прямуючи зі швидкостями до 160 км/год, а у перспективі до 200 км/год, створюють значну непаралельність графіка руху поїздів (ГРП), що знижує наявну пропускну спроможність дільниць і залізничної мережі загалом [1, 2].

Тому особливої актуальності набуває завдання розробки низки організаційно-технічних заходів з підвищення наявної пропускну спроможності мережі шляхом оптимізації поїздопотоків з урахуванням оперативних змін у її топологічній структурі під час ремонтних робіт, а також вартості проходження поїздів по кожній дільниці, що входить у відповідний шлях від початкових до кінцевих пунктів залізничної мережі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Заходи з розв'язання завдань з оптимізації залізничної мережі відповідно до поїздопотоків, що діють та прогноуються в умовах прямування швидкісних пасажирських поїздів по дільницях загального користування, розроблялися в низці наукових робіт, зокрема у роботах [3-6].

Але, як показали дослідження, незважаючи на вагомість наукових рішень, в даних роботах не розв'язане завдання оперативної оптимізації поїздопотоків, яка враховувала б одночасно як оперативні

зміни у топологічній структурі мережі під час закриттів головних колій, так і вартість слідування поїздів по кожній дільниці залізничного полігона.

#### **Мета та завдання дослідження.**

Метою роботи є оптимізація управління пропускну спроможністю залізничної мережі з урахуванням обмеженої пропускну спроможності її дільниць, потрібних поїздопотоків та вартості прямування поїзда по кожній дільниці в умовах швидкісного пасажирського руху.

Для реалізації цієї мети необхідно розв'язати таке завдання: розробити математичну модель управління пропускну спроможністю залізничної мережі на основі математичних апаратів теорії графів, реалізація якої в інформаційно-керуючій системі диспетчерського управління забезпечить можливість ефективніше розподіляти поїздопотоків на залізничному полігоні в умовах швидкісного пасажирського руху.

#### **Основна частина дослідження.**

Регулювання перевезень на залізничному транспорті полягає у здійсненні заходів, спрямованих на усунення труднощів у просуванні вагонопотоків і відхиленні від технічних нормативів. До цих заходів належать, зокрема, перерозподіл вагонного і локомотивного парків відповідно до змінних обсягів роботи, перерозподіл поїздопотоків по обхідних дільницях в разі перевищення пропускну спроможності тощо.

Оперативне керівництво перевізним процесом на залізничних підрозділах та напрямках (полігонах) здійснює диспетчерський персонал, що несе змінне цілодобове чергування. Об'єктами оперативного регу-

лювання є навантаження, вагонопотоки, рух поїздів, вивантаження та технічні засоби залізниць (вагонні та локомотивні парки, провізна, пропускна і переробна спроможності станцій та дільниць) [1, 2].

Схема базового залізничного полігона подана на рисунку. Як вершини графу обрано технічні станції, а як ребра – дільниці полігона.

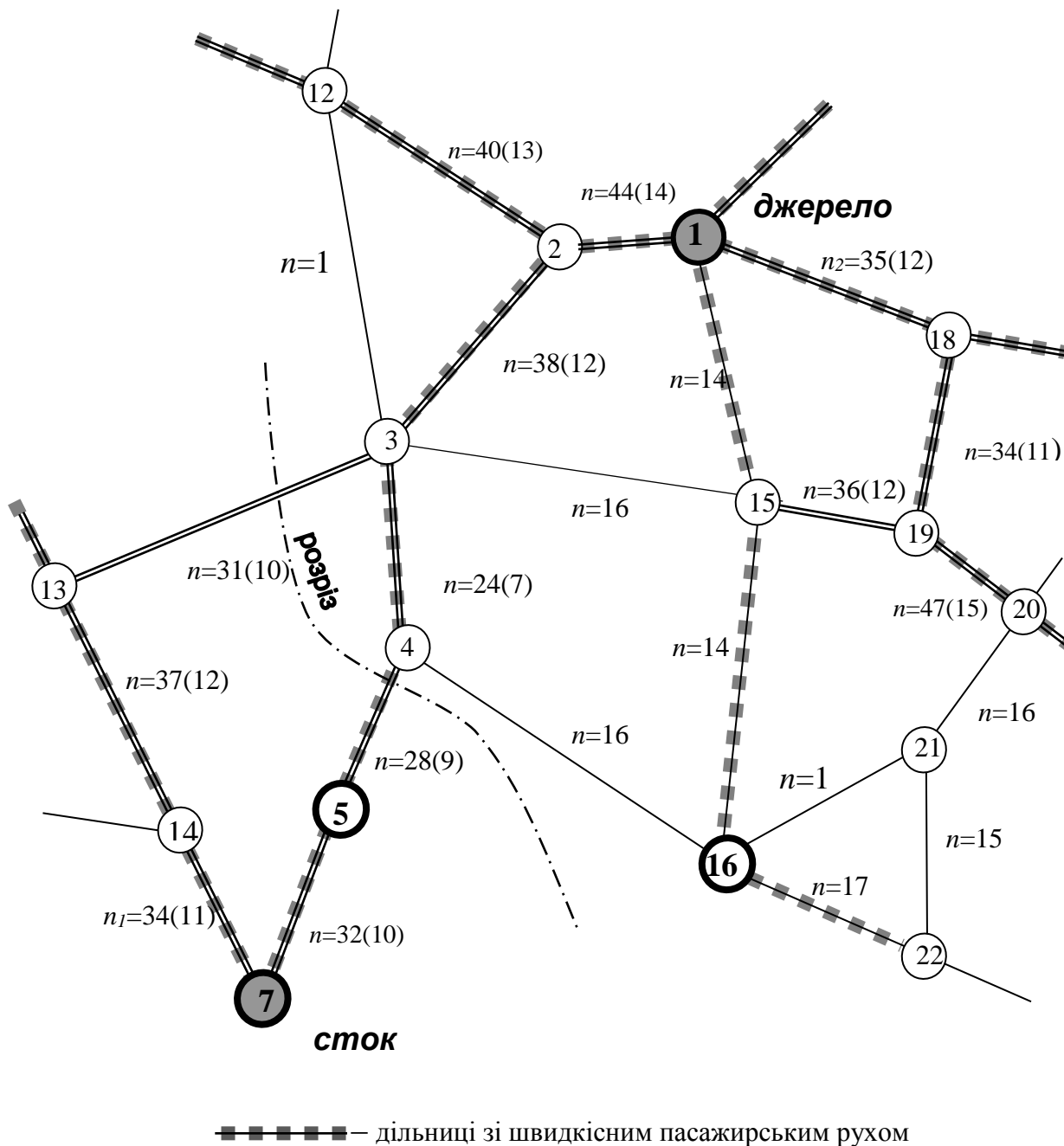


Рис. Зважений граф базового залізничного полігона

Даний полігон характеризується такими особливостями:

- наявністю розгалуженої мережі швидкісних пасажирських маршрутів та її розширенням у перспективі, причому пасажирський рух не відділений від вантажного;

- масовими вантажними поїздопотоками, що мають стратегічне економічне значення.

Кожен з початкових пунктів  $A_i (i=1, \dots, m)$  базового полігона повинен відправити  $p_i$  вантажних поїздів. Кожен з кінцевих пунктів  $B_j (j=1, \dots, n)$  повинен прийняти  $w_j$  поїздів.

Питомі витрати  $c_{ij}$  на прямування одного поїзда від початкової до кінцевої станції доцільно оцінити матрицею витрат  $C = \{c_{ij}\}$ .

Однак, оскільки кожний такий шлях є багатоваріантним, то найвигідніші шляхи між кожною парою «початкова станція – кінцева станція» знайдено за допомогою методу Дейкстри [7].

Перевагою даного методу є його пристосованість до розв'язання задачі визначення оптимальних шляхів, а саме того, що мітки вершин (станцій) можуть бути двох типів – тимчасові і постійні, які змінюють свій статус, якщо найвигідніший шлях за завершенням відповідної ітерації знайдено.

Для моделювання процесу прямування поїздів на базовому полігоні при дослідженнях спочатку визначена питома вартість прямування одного вантажного поїзда по кожній ділянці.

Якщо буде знайдений більш короткий шлях до відповідної вершини, тимчасова мітка на кожній ітерації може бути замінена на іншу. Коли ж стане очевидним, що не існує більш короткого шляху від вихідної вершини до даного, статус тимчасової мітки змінюється на постійний.

При реалізації методу Дейкстри при переході з вершини  $i$  до наступної вершини  $j$  виконано процедуру помітки ребер. Найменшу відстань від початкової

вершини  $1$  до вершини  $i$  позначено через  $u_i$ , а довжину ребра  $(i, j)$  через  $d_{ij}$ . Тоді для вершини  $j$  визначено мітку  $[u_j, i]$ , виконуючи умову

$$[u_j, i] = [u_i + d_{ij}, i], d_{ij} \geq 0. \quad (1)$$

Кожній з початкових вершин почергово присвоювалася тимчасова мітка  $[0, i]$ , причому спочатку покладено, що  $i = 1$ .

Тимчасові мітки  $[u_i + d_{ij}, i]$  обчислено для всіх вершин  $j$ , які можна досягти безпосередньо з вершини  $i$  і які на відповідній ітерації не мають постійних міток. Причому, якщо вершина  $j$  уже мала мітку  $[u_j, k]$ , отриману від іншої вершини  $k$ , і якщо  $u_i + d_{ij} < u_j$ , тоді мітка  $[u_j, k]$  змінювалася на  $[u_i + d_{ij}, i]$ .

Коли всі вершини після моделювання отримували постійні мітки, тоді процес обчислень завершувався. У другому разі обиралася мітка  $[u_r, s]$  з найменшим значенням відстані  $u_r$  серед всіх тимчасових міток, потім приймалося, що  $i = r$ , та продовжувалися ітерації [7].

Таким чином, визначено витрати  $c_{ij}$  на найвигіднішому шляху прямування одного поїзда від початкової до кінцевої станції, масив яких подано у вигляді матриці витрат  $C = \{c_{ij}\}$ .

Результатом моделювання є остаточно транспортна таблиця, у якій містяться обсяги перевезень  $p_{ij}$  між усіма парами "пункт відправлення – пункт призначення".

Досліджено, що на базовому полігоні спостерігається випадок, коли

$$\sum_{i=1}^m p_i < \sum_{j=1}^n w_j, \quad (2)$$

тобто транспортна задача має вигляд відкритого типу з обмеженнями з такою цільовою функцією:

$$G_{pau} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot p_{ij} \rightarrow \min, \quad (3)$$

де  $G_{рац}$  – сумарні витрати на прямування всіх вантажних поїздів по базовому полігону з урахуванням закриття головних

колій для ремонтних робіт на дільницях, грн.

Умову оптимізації транспортної задачі при цьому подано як

$$\begin{cases} k_i + l_j + c_{ij} = 0 & \text{для базисних кліток} \\ k_i + l_j + c_{ij} \geq 0 & \text{для вільних кліток} \end{cases} \quad (4)$$

де  $k_i$  та  $l_j$  – потенціали, які додаються до всіх елементів відповідних рядків та стовпчиків.

На основі розв’язання транспортної задачі відкритого типу з обмеженнями отримано скорочену таблицю, яка подана

нижче. У ній згідно з визначеними найвигіднішими шляхами між кожною парою «початкова станція – кінцева станція» наведено поїздопотоки, що прямують між проміжними вершинами графу (попутними технічними станціями).

Таблиця

Розподіл поїздопотоків по ділянках залізничного полігону

Найменування ділянки	Кількість колій	Довжина, км	Наявна пропускна спроможність (у дужках при закритті однієї колії двоколіїної ділянки) вантажних поїздів за зміну	Вантажні поїздопотоки, що пропускаються ділянкою згідно з моделюванням
1	2	3	4	5
1–2	2	38	44 (14)	1,18 – 5,7,13; 12–16,18,22; 18–12
2–3	2	124	38 (12)	1,18 – 5,7,13
3–4	1–2	146	24 (7)	1,12,18 – 5,7
4–5	2	72	28 (9)	1,12,16,18,20,22 – 5,7; 16,22–13
5–7	2	51	32(10)	1,12,16,18,20,22 – 7; 16,22–13
2–12	2	89	40(13)	1,16,18,20,22–12
12–3	1	129	13	12–5,7,16,22
3–13	1–2	204	31(10)	18,20–13
13–14	2	113	37(12)	13–5,7,16,22
14–7	2	63	34(11)	13,14–5,7,16,22
1–15	1	80	14	1,12–16,22
3–15	1–2	133	16	20–5,7,13; 5,7,13–20
15–16	1	148	14	1,12–16,22
4–16	1	105	16	5,7,13,14–16,22; 16,22–5,7,13,14
1–18	2	74	35(12)	18–1, 5,7,12,13; 20–1; 1, 5,7,12,13–18; 1–20
18–19	2	80	34(11)	20–1,12,18; 1,12,18–20
19–15	2	46	36(12)	20–5,7,13; 5,7,13–20

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
19–20	2	39	47(15)	20–5,7,13,18; 5,7,13,18–20; 19–16,22; 16,22–
20–21	1	106	16	19,20–16,22
21–16	1	58	16	19,20–16
21–22	1	49	15	19,20–22
16–22	1	55	17	5,7,13,14–22

Якщо задача пошуку оптимальних шляхів розподілу поїздопотоків розв'язується в умовах закриття головних колій для ремонтних робіт на дільницях, то доцільно на наступному етапі застосувати методику на основі методу Форда-Фалкерсона, запропоновану у роботі [5].

Згідно з даними таблиці доцільно видавати вихідні дані диспетчерському персоналу, який на чолі зі старшим дорожнім диспетчером може планувати пропуск збільшеного поїздопотоків по дільницях з урахуванням цього розподілу [8-10].

**Висновки.** У роботі розроблено оптимізаційну математичну модель управління пропускнуою спроможністю залізничної мережі на основі математичних

апаратів теорії графів, а саме методу Дейкстри, транспортної задачі відкритого типу з обмеженнями та методу Форда-Фалкерсона.

Модель враховує обмеження пропускнуої спроможності дільниць полігона, розміри потрібних вантажних та пасажирських (у тому числі швидкісних) поїздопотоків та вартість прямування поїзда по кожній дільниці.

Реалізація побудованої моделі в інформаційно-керуючій системі диспетчерського управління дасть можливість більш ефективно розподіляти поїздопотоків на розгалуженому залізничному полігоні в умовах масового швидкісного пасажирського руху.

### Список використаних джерел

1. Пособие поездному диспетчеру и дежурному по отделению [Текст] / Г. М. Грошев, В. А. Кудрявцев, Г. А. Платонов [и др.]. – М.: Транспорт, 1992. – 368 с.
2. Грунтов, П. С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте [Текст]: учеб. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Долгополов, П. В. Удосконалення організації поїздопотоків на залізничному полігоні в умовах швидкісного руху [Текст]: П. В. Долгополов, Д. В. Трегубчак // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 163. – С. 25-30.
6. 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.
7. Балашевич, В. А. Математические методы в управлении производством [Текст] / В. А. Балашевич. – Минск: Высшэйшая школа, 1976. – 184 с.



8. Долгополов, П. В. Удосконалення високошвидкісного руху на залізничній дільниці в умовах диспетчерської централізації [Текст]: П. В. Долгополов, Д. В. Суховецька // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 164. – С. 84-89.

9. Ходаківський, О. М. Дослідження надсистеми залізничної транспортної системи: визначення правових обмежень та умов підвищення ефективності функціонування залізничного транспорту на основі теорії систем [Текст] / О. М. Ходаківський // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 6. – С. 8-12.

10. 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.

---

Долгополов Петро Віталійович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: osnova2017@gmail.com.  
Карпов Роман Миколайович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(050) 537-00-71.

Черепков Олександр Сергійович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (099) 516-39-99.

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: osnova2017@gmail.com.

Karpov Roman, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (097) 155-54-53. E-mail: 23032006@ukr.net.

Cherepkov Alexander, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (099) 516-39-99.

Стаття прийнята 15.11.2017р.

**УДК 656.223**

## **ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ УЗШК В УМОВАХ ВИСОКОШВИДКІСНОГО РУХУ**

**Канд. техн. наук. Т. Ю. Калашнікова, магістранти В. В. Андрєєв, О. В. Харченко**

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УЗШК В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ**

**Канд. техн. наук. Т. Ю. Калашникова, магистранты В. В. Андреев, О. В. Харченко**

## **IMPROVING THE FUNCTIONING QUALITY URHC IN HIGH-SPEED CONDITIONS**

**Canf.of techn. sciences T. Y. Kalashnikova, master V. V. Andrieiev, O. V. Harchenko**

*Розглянуто нинішній стан залізничного швидкісного транспорту в Україні та основні проблеми його розвитку. Проаналізовано вітчизняний та закордонний досвід упровадження високошвидкісного руху на залізничному транспорті. Висвітлено перспективи розвитку високошвидкісних залізниць України, завдання щодо впровадження швидкісного руху та можливий розвиток на основі світового досвіду. Надано пропозиції щодо підвищення ефективності функціонування залізничного транспорту в цілому. Розраховано рівень використання пропускнуої спроможності для одного із завантажених напрямків*

пасажирського руху на УЗ. Запропоновано можливість перерозподілу транспортних потоків з частковим відокремленням пасажирського руху від вантажного. Визначено необхідність ефективного використання пропускної спроможності дільниць. Це дасть змогу на початковому етапі розвитку високошвидкісних магістралей підвищити інтенсивність руху транспортних потоків, збільшити дільничну та максимальну швидкість, підвищити ефективність функціонування залізничного транспорту за безумовним дотриманням безпеки руху. У подальшому при забезпеченні наявних потреб у перевезенні пасажирів дасть можливість почати будувати нові високошвидкісні магістралі з економічною доцільністю та залученням нових технологій.

**Ключові слова:** високошвидкісні магістралі, будівництво, пропускна спроможність, залізничний транспорт, перевезення.

В статті досліджено сучасне стан сучасного залізничного швидкісного транспорту в Україні та основні проблеми його розвитку. Проведено аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду впровадження високошвидкісного руху на залізничному транспорті. Розглянуто перспективи розвитку високошвидкісних залізничних доріг України, заходи по впровадженню швидкісного руху та можливе розвиток на основі світового досвіду. Приведено пропозицію для підвищення ефективності функціонування залізничного транспорту в цілому. Розраховано рівень використання пропускної спроможності для одного з перевантажених напрямків пасажирського руху на УЗ. Представлено можливості перерозподілу транспортних потоків з частковим відокремленням пасажирського руху від вантажного. Визначено необхідність ефективного використання пропускної спроможності ділянок, що дозволить на початковому етапі розвитку високошвидкісних магістралей підвищити інтенсивність руху транспортних потоків, збільшити ділянкову та максимальну швидкість, підвищити ефективність функціонування залізничного транспорту при безумовному дотриманні безпеки руху. В майбутньому при забезпеченні наявних потреб в перевезенні пасажирів дозволить почати будувати нові високошвидкісні магістралі з економічною доцільністю та залученням нових технологій.

**Ключевые слова:** высокоскоростные магистрали, строительство, пропускная способность, железнодорожный транспорт, перевозки.

*In the article it is investigated the current state of high-speed rail transport in Ukraine and the main problems of its development. The domestic and international experience in the implementing of high-speed traffic on the rail transport has been analyzed.*

*The article considers the prospects for the development of high-speed railways of Ukraine, the tasks concerning the implementation of high-speed traffic and the possible development based on the international experience. The proposal for increasing the efficiency of the functioning of rail transport in general has been made. The level of capacity usage for one of the heavy traffic routes of passenger transportation on the Ukrainian railway has been calculated. It has been proposed to redistribute the traffic flows with partial separation of passenger traffic from cargo. The necessity of effective use of the section's capacity has been determined. At the initial stage of the development of high-speed lines this will help to increase the density of traffic flows, sectional and maximal speed, the efficiency of the functioning of rail transport with the absolute compliance with traffic safety. In the future, with the provision of the existing passenger transportation needs, it will be possible to start the building of new high-speed lines with the economic expediency and attraction of new technologies.*

**Keywords:** high-speed highways, the construction, the capacity, railway transport, traffic.

**Вступ.** Залізничний транспорт України є однією з найважливіших галузей виробничої інфраструктури національної економіки – основою транспортної системи України. Майбутнє залізничного транспорту України пов'язано з реалізацією стратегічних рішень, серед яких реформування галузі та впровадження великомасштабних інноваційних проєктів, у тому числі і щодо запровадження високошвидкісного руху, бо ефективність пасажирських перевезень на залізничному транспорті України залежить від подальшого розвитку й удосконалення саме швидкісних магістралей та створення високошвидкісних залізничних магістралей.

Але нинішній стан залізничної інфраструктури УЗ застарів та не оновлюється. Сама інфраструктура потребує значних змін: розподілу вантажного та пасажирського руху за окремими напрямками, реконструкції земляного полотна та верхньої будови колії, вирішення проблеми подвійного живлення поїздів та багато іншого. У той же час розмір території, кількість мешканців, їх міграція потребує швидкого пересування територією України протягом 6-8 год, а іноді навіть 4-5 год. Розвинена залізнична інфраструктура – одна з небагатьох переваг, якими ще володіє Україна. Тим часом хронічна нестача грошей на модернізацію з кожним роком робить вітчизняні залізничні перевезення все менш конкурентоспроможними. Тому подальший розвиток швидкісного пасажирського руху у зазначених умовах є найбільш актуальним.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Реформування залізничного транспорту перш за все проводиться з метою фінансової стабільності залізничних компаній. Так, у роботі [1] показано, що реформа на залізницях Європи проводилася для підвищення конкурентоспроможності як на внутрішньому ринку залізничних транспортних послуг, так і у змішаних перевезеннях. Після реформування

транспортна система стала більш відкритою та доступною для користувачів. У роботі [2] відображено розвиток високошвидкісних магістралей (ВШМ) – інструмент для економічної інтеграції досягнень економік Китаю та Європейської Співдружності. Розвиток ВШМ призвів до зміни структури пасажиропотоків [3]. Так, частина пасажиропотоку, що користувалась авіаційним транспортом на невеликих відстанях, почала переважно користуватися найменш витратним залізничним транспортом при збереженні авіаційних перевезень на великі відстані. Автор роботи [4] показав, що високошвидкісні магістралі впливають як на національну економіку Китаю в цілому, так і на міський і регіональний розвиток зокрема. Для високошвидкісних магістралей важливим завданням є визначення часу відправлення поїздів. Тому при розробленні графіків руху [5] необхідно враховувати вимоги пасажирів до часу відправлення швидкісних поїздів і графіка руху пасажирських поїздів інших категорій (приміських, міських). Дослідження з розвитку високошвидкісних магістралей проведено і в роботах вітчизняних авторів, зокрема ефективність упровадження швидкісного руху на залізницях України розглянуто в праці Г. М. Кірпи [6], комплексні результати оцінювання ефективності впровадження швидкісного руху викладені В. Л. Диканем [7]. Продовжує дослідження щодо визначення розмірів економії поточних витрат при впровадженні швидкісного руху Ю. С. Пащенко [8].

На підставі наведеного аналізу визначено необхідність приділити особливу увагу вдосконаленню та реконструкції наявної залізничної інфраструктури. Оскільки будувати нові лінії ВШМ та закуповувати новий рухомий склад наразі надто дорого, так як для цього необхідні чималі інвестиції, необхідно провести аналіз існуючих ліній з прискореним рухом поїздів на напрямках, якісно дослідити наявну та потрібну пропускну

спроможність, звернути увагу на виявлені проблеми і знайти методи їх ефективного вирішення та утилізацію «вузьких» місць.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою статті є визначення напрямків підвищення якості функціонування залізничного транспорту поряд із підвищенням інтенсивності потоків та швидкості їх просування. Основним завданням є дослідження завантаження окремих напрямків пасажирського швидкісного руху УЗ за пропускнуою спроможністю з подальшим визначенням можливого резерву та варіантів перерозподілу вантажних та пасажирських потоків.

**Основна частина дослідження.** На сьогодні будівництво 1 км звичайної колії коштує приблизно 15 млн грн, з яких побудова верхньої будови колії коштує 7 млн грн, прокладання та введення в дію автоблокування – 2 млн грн, прокладання магістрального, дорожнього зв'язку – 1 млн грн, електрифікація – 3,5 млн грн, укладання однієї звичайної стрілки – 2 млн грн. А побудова колії для високошвидкісного руху буде коштувати в рази дорожче, так як виникає необхідність застосування нових, можливо навіть закордонних, технологій. Також недешевий швидкісний рухомий склад. З українського досвіду південнокорейський состав з дев'яти вагонів Hyundai Rotem коштує більше \$30 млн та не є швидкісним.

Специфічні умови експлуатації українських залізниць порівняно із західноєвропейськими характеризуються значно більшим обсягом перевізної роботи, більшою інтенсивністю руху поїздів, істотно більшою вагою поїздів і осьових навантажень рухомого складу. На сьогодні резерви технічних потужностей залізничного транспорту, його провізної спроможності практично вичерпані. Тому збільшення пропускнуої спроможності та впровадження швидкісного руху на українських залізницях – набагато складніше завдання, ніж на західноєвропейських коліях.

Якщо визначений рівень використання інфраструктури вищий, ніж рекомендовані типові значення, інфраструктура повинна бути оголошена перевантаженою. Якщо типові значення не перевищені, існує втрачена частина пропускнуої спроможності, яка може бути використана для пропуску додаткових поїздів відповідно до ринкових вимог. Добовий рівень використання інфраструктури не повинен перевищувати 80 %.

До основного рівня використання пропускнуої спроможності за певний період часу пропонується додати час на забезпечення рівня стабільної роботи графіка руху, час для забезпечення операцій проходження на одноколійних дільницях та час для технічного обслуговування дільниць і надання «вікон» [9]. На рисунку наведена діаграма розподілу загального розрахункового періоду пропускнуої спроможності. Визначення пропускнуої спроможності  $k$  розраховується за формулою

$$k=A+B+C+D, \quad (1)$$

де  $A$  – зайнятість інфраструктури рухомим складом;

$B$  – час для створення буфера (інтервали попутного прямування);

$C$  – додатковий час для одноколійних ліній (інтервали схрещення);

$D$  – час для технічного обслуговування, технологічне «вікно».

Рівень використання пропускнуої спроможності у відсотковому вигляді запропоновано визначати за формулою

$$K=k \cdot 100/t, \quad (2)$$

де  $t$  – вибраний період часу, хв.

Такий підхід дасть змогу знаходити якісні параметри функціонування дільниць по напрямках відповідно до їх умов роботи, які повинні бути визначені за прийнятою системою класифікації залізничних дільниць та напрямків для експлуатаційної діяльності.

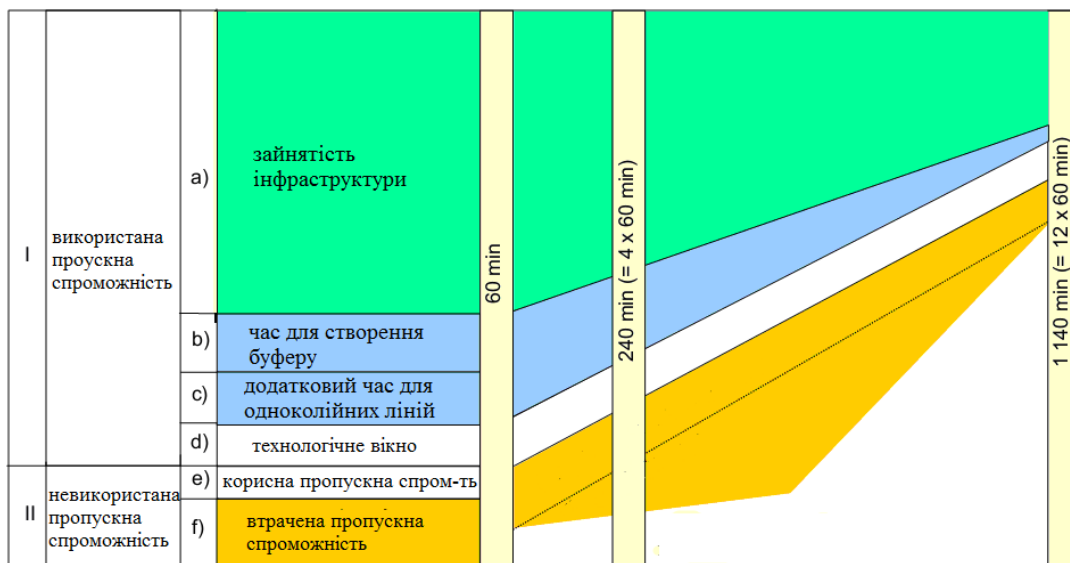


Рис. Номограма розділення загального розрахункового часу пропускної спроможності

Одним з найбільш завантажених напрямків у пасажирському русі на УЗШК є напрямок Київ – Харків. На підставі статистичного матеріалу проведено

розрахунок дільничної швидкості та рівня використання пропускної спроможності зазначеного напрямку по дільницях, що зведено у таблицю.

Таблиця

Рівень використання пропускної спроможності по дільницях на напрямку Київ – Харків

№ п/п	Дільниця	Довжина дільниці, км	Кількість колій на перегонах	Розміри руху, пари поїздів	Дільнична швидкість, км/год	Використання пропускної спроможності, %
1	Київ-Пас. – Дарниця	13,1	2	100	25,0	72
2	Дарниця – Яготин	86,6	2	45	46,0	37
3	Яготин – Гребінка	47,5	2	40	46,0	35
4	Гребінка – Лубни	41,3	1 з 2-ми вставками	39	37,6	48
5	Лубни – Ромодан	31,1	1 з 2-ми вставками	38	37,6	48
6	Ромодан – Полтава Кв.	113,7	1 з 2-ми вставками	38	35,3	44
7	Полтава Кв. – Люботин	133,5	2	69	43,1	48
8	Люботин – Харків-Пас.	24,3	2	108	21,8	72

Визначено, що на цьому напрямку найбільш завантаженими є дільниці: Київ-Пас. – Дарниця, до якої примикає значний північний пасажирський поїздопотік та вантажний транзитний потік, та Люботин – Харків-Пас., до якого примикає значний південний пасажирський потік, особливо в літній період року. Зважаючи на це, дільниці мають значення рівня використання близько 0,72, що є допустимим. Частину ж дільниць, а саме: Дарниця – Яготин, Яготин – Гребінка, може бути використано для пропуску додаткових поїздів, бо вони мають значний резерв використання. Дільниці Гребінка – Лубни, Лубни – Ромодан та Ромодан – Полтава мають одноколіїні перегони з двоколіїними вставками, які є в деякому розумінні «вузькими» місцями. При реконструкції цих дільниць слід додати другу головну колію, що значно збільшить пропускну спроможність та підвищить дільничну швидкість на всьому напрямку. Це також дасть змогу задіяти резервну пропускну спроможність, яка вже функціонує на інших дільницях. Якщо спеціалізувати цей напрямок як суто пасажирський, то буде можливість більш якісно використовувати інфраструктуру

напряму. Ефективність використання буде значно більшою за рахунок усунення вантажного руху з великими тоннажами. Це дасть змогу збільшити кількість прискорених поїздів між найбільш населеними містами України та направити південний пасажирський потік з Києва через Полтаву, таким чином звільнивши прямий південний напрямок для вантажного руху до морських портів та кордону.

**Висновки.** Таким чином, запропоновано ідеї курсування транспортних потоків з частковим відокремленням пасажирського руху від вантажного. Визначено необхідність ефективного використання пропускну спроможності дільниць, що дасть змогу на початковому етапі розвитку високошвидкісних магістралей підвищити інтенсивність руху транспортних потоків, збільшити дільничну та максимальну швидкість, підвищити ефективність функціонування залізничного транспорту за безумовним дотриманням безпеки руху, а при забезпеченні наявних потреб у перевезенні пасажирів – почати будувати нові високошвидкісні магістралі з економічною доцільністю та залученням нових технологій.

### *Список використаних джерел*

1. Grushevskaya, K. Institutional rail reform: The case of Ukrainian Railways [Text] / Kateryna Grushevskaya, Theo Notteboom, Andrii Shkliar// Transport Policy. – Vol. 46, February 2016. – P. 7-19.
2. Cheng, Y. High-speed rail networks, economic integration and regional specialisation in China and Europe [Text] / Yuk-shing Cheng, Becky P.Y. Loo, Roger Vickerman// Travel Behaviour and Society, Vol. 2, Issue 1, January 2015. – P. 1-14.
3. Clewlow, R. The impact of high-speed rail and low-cost carriers on European air passenger traffic [Text] / Regina R. Clewlow, Joseph M. Sussman, Hamsa Balakrishnan// Transport Policy, Vol. 33, May 2014. – P. 136-143.
4. Chen, C. Reshaping Chinese space-economy through high-speed trains: opportunities and challenges [Text] / Chia-Lin Chen// Journal of Transport Geography, Vol. 22, May 2012. – P. 312-316.
5. Espinosa-Aranda, J.L. Train Scheduling and Rolling Stock Assignment in High Speed Trains [Text] / José Luis Espinosa-Aranda, Ricardo García-Ródenas, Luis Cadarso, Ángel Marín// Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 160, 19 December 2014. – P. 45-54.
6. Кірпа, Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України в Європейську транспортну систему [Текст]: [монографія] / Георгій Кірпа. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2004. – 248 с.

7. Дикань, В. Л. Скоростное движение железнодорожного транспорта в мире и перспективы его развития в Украине [Текст] / В. Л. Дикань // Вісник економіки транспорту та промисловості. – 2010. – № 32. – С. 15–25.

8. 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.

9. Прохорченко, А. Организация движения и диспетчерское управление движением поездов на ВСМ «TEMPUS MieGVF» Модуль 5 [Текст] / А. Прохорченко, А. Батулин. – Харьков; М.; Париж, 2014. – 29 с.

---

Калашнікова Тетяна Юріївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (066)441-50-42. E-mail:bulavina\_ty@ukr.net.  
Андрєєв Владислав Володимирович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (095)275-00-33. E-mail:vlad3004@ukr.net.  
Харченко Ольга Володимирівна, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (096)813-87-01. 444sonya@gmail.com.

Kalashnikova Tetiana Yurievna, PhD. of tehn.sciences, associate professor of the department of management of operational work of the Ukrainian State University Of Railway Transport. Tel.: (066)441-50-42. E-mail:bulavina\_ty@ukr.net.  
Andrieiev Vladyslav Volodymyrovich, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University Of Railway Transport. Tel.:(095)275-00-33. E-mail:vlad3004@ukr.net.  
Harchenko Olga Volodimirivna, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University Of Railway Transport. Tel.: (096)813-87-01. E-mail:444sonya@gmail.com.

Стаття прийнята 15.11.2017 р.

**УДК 621.44.3:678-462**

### **РОЗРОБКА МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

**Канд. техн. наук О. В. Пасько, магістрант Р. Є. Тананян (ПАТ «Укрзалізниця»)**

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

**Канд. техн. наук О. В. Пасько, магистрант Р. Е. Тананян (ПАО «Укрзалізниця»)**

### **DEVELOPMENT OF METHODS AND MEANS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF THE USE OF RECUPERATIVE BRAKING ON RAILWAY ROADS**

**Candidate of Technical Science, O. Pasko, master R. Tananian**

*У статті подано результати аналітичних та розрахункових досліджень методів і засобів підвищення ефективності застосування рекуперативного гальмування на залізницях постійного струму. Проведено систематизацію наявних методів визначення питомої рекуперації на ділянці роботи локомотивних бригад. Розглянуто загальні принципи оцінки ефективності застосування рекуперативного гальмування поїздом в межах зони*

моніторингу, застосування накопичувачів електричної енергії в системі тягового електропостачання і на електрорухомому складі. Техніко-економічні розрахунки підтвердили доцільність застосування розглянутих методів підвищення ефективності застосування рекуперативного гальмування.

**Ключові слова:** рекуперативне гальмування, накопичувач електричної енергії, система моніторингу, питома енергія рекуперації, тягова підстанція, пост секціонування.

*В статье представлены результаты аналитических и расчетных исследований методов и средств повышения эффективности применения рекуперативного торможения на железных дорогах постоянного тока. Проведена систематизация существующих методов определения удельной рекуперации на участке работы локомотивных бригад. Рассмотрены общие принципы оценки эффективности применения рекуперативного торможения поездом в пределах зоны мониторинга, применение накопителей электрической энергии в системе тягового электроснабжения и на электроподвижном составе. Техничко-экономические расчеты подтвердили целесообразность применения рассмотренных методов повышения эффективности применения рекуперативного торможения.*

**Ключевые слова:** рекуперативное торможение, накопитель электрической энергии, система мониторинга, удельная энергия рекуперации, тяговая подстанция, пост секционирования.

*The article presents the results of analytical and computational studies of methods and means of increasing the efficiency of the use of recuperative inhibition on DC railways. The systematization of existing methods for determination of specific recovery at the site of locomotive brigades has been carried out. The order of formation of the database on the performed work of locomotive brigades is determined to ensure the efficiency of the application of recovery energy. The general principles of estimation of efficiency of application of recuperative braking by train in the limits of monitoring zone, application of electric energy storage devices in traction power system and on electromotive composition are considered. The ways of increasing the efficiency of recuperative inhibition, reduction of consumption and losses of electric power for traction are considered. Technical and economic calculations confirmed the feasibility of the application of the considered methods for increasing the efficiency of the use of recuperative inhibition.*

**Key words:** recuperative braking, electric energy storage, monitoring system, specific energy of recovery, traction substation, post sectionalization.

**Вступ.** Проблема енергозбереження та енергоефективності в промисловості та на транспорті є однією з найбільш актуальних у зв'язку з постійним зростанням тарифів на енергоресурси. У зв'язку з тим, що ПАТ «Укрзалізниця» є одним з найбільших споживачів електроенергії, порушена проблема також є актуальною.

Одним з найважливіших шляхів підвищення енергоефективності перевезень на залізничному транспорті є зниження втрат електроенергії в тяговій мережі та

ефективне використання енергії рекуперативного гальмування [1-3]. Переваги рекуперативного гальмування широко відомі – це і підвищення безпеки руху поїздів і скорочення витрати енергії на тягу поїздів.

Рекуперація є однією з найважливіших складових енергозберігаючої технології перевізного процесу на залізницях України, одним з потужних джерел скорочення електроспоживання на тягу поїздів.

Основними чинниками, що перешкоджають збільшенню обсягу рекуперованої енергії, є: випадки браку



приймачів енергії рекуперації, недостатнє використання резервів технології водіння електрорухомого складу, брак умов застосування рекуперації в системі тягового електропостачання, недосконалість в організації руху поїздів, неполадки в системі рекуперації під час перевезення.

Таким чином, визначення резервів застосування рекуперативного гальмування, зниження витрати і втрат електроенергії шляхом вдосконалення режимів роботи системи тягового електропостачання, технології керування поїздами та організації їх руху є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Підвищення ефективності застосування рекуперативного гальмування та створення ефективних способів та засобів рекуперативного гальмування є актуальним і багатоплановим завданням. Іншим актуальним завданням, пов'язаним із застосуванням рекуперативного гальмування, є економія енергетичних ресурсів, зменшення зносу гальмівних колодок та колісних пар локомотивів шляхом зменшення використання пневматичних гальм на користь рекуперативного гальмування.

Для забезпечення ефективності застосування рекуперативного гальмування були проведені експериментальні та розрахункові дослідження на основі рухомого складу (магістральні електровози постійного струму серій ВЛ8, ВЛ11, 2ЕС6, 2ЕС10, електропоїзди серії ЕПЛ2Т), а також враховано досвід багатьох авторів [4-5].

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою проведення досліджень є визначення ефективності застосування методів підвищення рекуперативного гальмування на залізницях постійного струму, показників енергії рекуперації, показників економії енергетичних ресурсів, застосування енергоефективних графіків руху поїздів.

Для досягнення поставленої мети слід розв'язати таке завдання: виконати систематизацію наявних методів

визначення питомої рекуперації на ділянці роботи локомотивних бригад та обрати той метод, який задовольнить всі вимоги, що є передумовами в розробці методів та заходів з підвищення рекуперативного гальмування.

**Основна частина.** Для розв'язання завдання пропонуються такі основні заходи з підвищення обсягів енергії рекуперації:

— проведення мережевих шкіл з підвищення енергетичної ефективності рекуперативного гальмування;

— заміна на мережі залізниць застарілих локомотивів на сучасні та енергоефективні;

— створення в локомотивних депо бригад налагоджувачів схем рекуперативного гальмування;

— планування повернення електроенергії для колективів колон і для кожної локомотивної бригади вантажного руху;

— аналіз витрат і повернення електроенергії для виявлення лічильників, що мають значні відхилення з економії або перевитрати;

— розробка норм питомої рекуперації на кожній ділянці для електровозів усіх серій відповідно до маси поїзда;

— збір і аналіз інформації з причин незастосування локомотивними бригадами рекуперації, з щотижневим розбором на оперативних нарадах;

— організація контрольно-інструкторських поїздок;

— навчання локомотивних бригад навчочок ефективного використання рекуперативного гальмування;

— упровадження мікропроцесорних енергооптимальних систем автоводіння як у вантажному, так і в пасажирському рухах;

— стимулювання локомотивних бригад за ефективне використання рекуперативного гальмування;

— застосування на тягових підстанціях випрямно-інверторних перетворювачів;

— застосування енергооптимальних графіків руху поїздів;

— водіння великовагових поїздів;  
 — застосування на ЕРС накопичувачів електричної енергії.

Найвні методи оцінки ефективності застосування рекуперативного гальмування відрізняються один від одного за цілою низкою ознак: за способом отримання вихідних даних — розрахунковий або статистичний; за об'єктами отримання

даних — на електрорухомому складі й на тягових підстанціях; за рівнем деталізації — за поточну добу або за звітний період; за рівнем інтеграції — за міжпідстанційними зонами або укрупнено — за депо або залізницею тощо [6]. У таблиці подано класифікацію методів оцінки ефективності рекуперативного гальмування.

Таблиця

Класифікація методів оцінки ефективності рекуперативного гальмування

Класифікація методів оцінки ефективності рекуперативного гальмування		
Розрахунково-аналітичні методи	Розрахунково-статистичні методи	Експериментальні методи
Метод розрахунку енергетичної ефективності рекуперативного гальмування через визначення коефіцієнта рекуперації для залізничної ділянки	Метод оцінки ефективності рекуперативного гальмування за результатами обробки маршрутів машиніста	Метод проведення випробувань із застосуванням вимірювально-обчислювального комплексу (ВОК) (вимірювання вагон лабораторією)
Метод оцінки ефективності режиму рекуперації з урахуванням критеріїв сумарної економії електроенергії і найкращого використання пропускної здатності ділянки в зоні шкідливого спуску	Метод аналізу ефективності рекуперації на підставі порівняльної оцінки результативності повернення електроенергії до контактної мережі на різних рівнях інтеграції даних у депо	Метод синхронних вимірювань на електрорухомому складі й тягових підстанціях
Метод розрахунку ефективної зони рекуперації з урахуванням видалення поїздів у тяговому і рекуперативному режимах, величини і співвідношення їх струмів, а також напруги на шинах тягових підстанцій	Розрахунково-статистичний метод визначення обсягів рекуперації за мережею залізниць на основі регресійної моделі	Метод на основі експериментальних поїздок
Метод розрахунку надлишкової енергії рекуперації, що використовує принципи теорії ймовірності		
Метод енергобалансу		
Імітаційне моделювання	Метод накладення з урахуванням реальної напруги на струмоприймачі	
	Метод визначення енергії рекуперації на підставі безперервного дослідження графіка руху	
	Метод енергетичних діаграм	

Аналіз методів і засобів оцінки ефективності застосування рекуперативного гальмування дозволяє визначити ключові передумови для розробки нового методу визначення ефективності застосування рекуперативного гальмування, зниження витрати і втрат електроенергії в тяговій мережі, що відповідає сучасним вимогам обліку й нормування енергоресурсів на залізничному транспорті:

— обов'язковість обліку режимів роботи і параметрів системи тягового електропостачання;

— необхідність оцінки ефективності рекуперативного гальмування в межах зон обліку, аж до МПЗ;

— можливість оцінки поїзної ситуації при рекуперативному гальмуванні;

— наявність можливості автоматизованого нормування питомої рекуперації для ділянки роботи локомотивної бригади;

— забезпечення передачі даних і подальша їх обробка в режимі Online;

— використання сучасних інформаційно-вимірювальних комплексів.

Порядок формування бази даних про виконану роботу локомотивних бригад для забезпечення ефективності застосування енергії рекуперації складається з таких завдань: аналіз стану працездатності системи рекуперативного гальмування, аналіз стану системи тягового електропостачання в межах зони моніторингу, аналіз графіка руху поїздів і застосування машиністом енергозберігаючих прийомів водіння, формування підсумкової звітної форми за результатами здійснених поїздок. В роботі проведено моніторинг застосування рекуперативного гальмування на ділянці Лозова – Харків (рис. 1, 2).

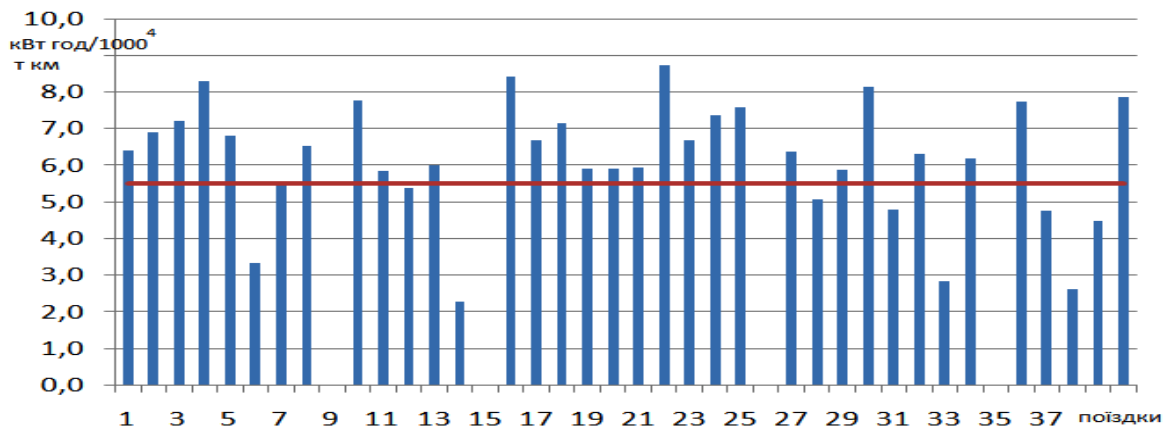


Рис. 1. Значення питомої рекуперації електровозів серії ВЛ11 на ділянці Лозова – Харків (4000 – 5000 т)

Як видно з рисунків, є поїздки, за якими повернення електроенергії є нижче середнього рівня на ділянці. Таким чином, є втрачена можливість повернення більшого обсягу енергії рекуперації на цій ділянці. За попередньою оцінкою, використання запропонованої системи моніторингу ефективності застосування рекуперативного гальмування дозволить підвищити частку рекуперації на ділянках

Лозова-Харків та Харків-Лозова Південної залізниці в середньому на 10 % (рис. 3).

На сьогодні при реалізації будь-якого варіанта графіка руху поїздів економічна оцінка результатів реалізації здійснюється відповідно до затвердженої методики комплексної економічної оцінки результатів розробки графіка руху поїздів з урахуванням потенційної прибутковості перевезень [7-9].

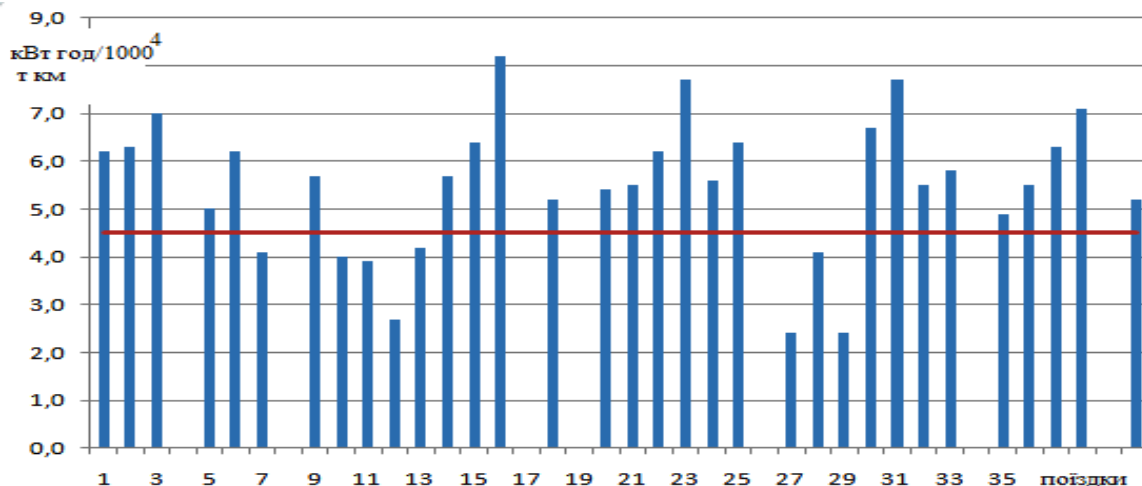


Рис. 2. Значення питомої рекуперації електровозів серії ВЛ-11 на ділянці Харків – Лозова (4000 – 5000 т)

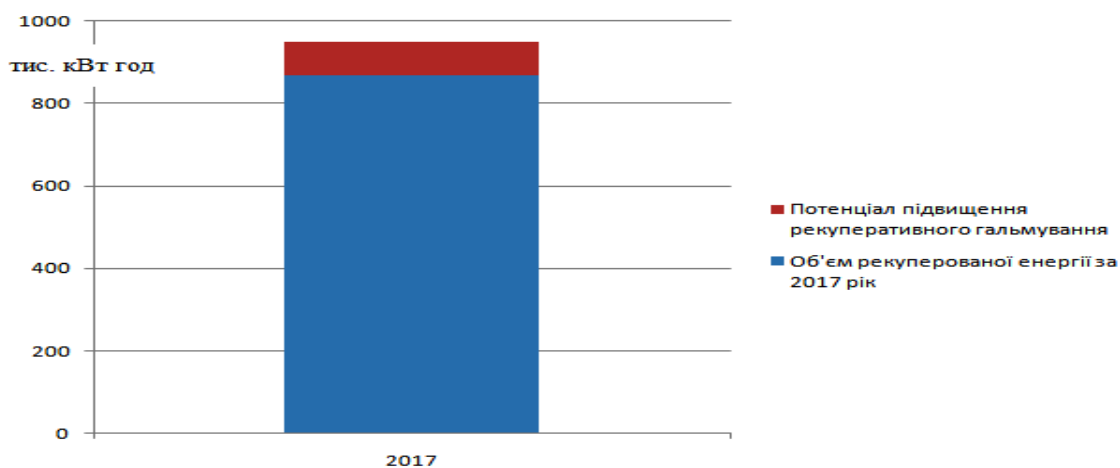


Рис. 3. Потенціал підвищення рекуперативного гальмування електровозами ВЛ11 на ділянках Лозова – Харків та Харків – Лозова Південної залізниці

Як відомо, на економічну оцінку розробленого графіка руху поїздів впливає низка різних показників:

- розміри руху;
- дільнична й технічна швидкість руху поїздів;
- вагові норми поїздів;
- типи електровозів;
- тарифи для вантажного й пасажирського руху.

Оскільки в запропонованому способі підвищення ефективності застосування рекуперативного гальмування й зниження

добової витрати електроенергії шляхом коригування нормативного графіка наведені показники залишаються незмінними, то в нашому випадку оцінку техніко-економічної ефективності скорочення експлуатаційних витрат перевізного процесу шляхом оптимізації графіка руху поїздів необхідно провадити на основі скорочення добової витрати електроенергії.

Як приклад в роботі розглянуто ділянку Свердловської залізниці, а саме Єкатеринбург-Шая, і визначено

економічний ефект від коригування добового нормативного графіка руху. У результаті коригування графіка руху вдалося скоротити витрати електроенергії на 1,9 %, або в грошовому еквіваленті, при вартості 1,75 грн. за 1 кВт • год, 38939 грн за одну добу. Коригування графіка руху виконувалося АПК «Ельбрус».

У роботі розглянуто застосування приймачів енергії рекуперації в системі тягового електропостачання та на рухомому складі, які дозволяють забезпечити зміну напруги в контактній мережі в допустимих діапазонах. Порушені проблеми можуть бути розв'язані шляхом розміщення в системі тягового електропостачання (СТЕ) спеціальних приймачів енергії рекуперації (інвертори або пристрої, що поглинають). Поява різних типів зразків накопичувачів електроенергії (НЕЕ), що промислово виготовляються, а також розширення номінального ряду їх ємності дозволяє розглянути використання НЕЕ як приймача енергії рекуперації.

Перспективними видами накопичувачів для залізничного транспорту,

зважаючи на їх характеристики, прийнято вважати такі: накопичувачі ємності електричної енергії на основі молекулярних суперконденсаторів (ЕНЕ); накопичувачі електричної енергії на основі надпровідності – надпровідникові індуктивні накопичувачі (НПН); електромеханічні індуктивні накопичувачі електричної енергії.

Основним недоліком наявних накопичувачів електричної енергії щодо залізничного транспорту є їх висока вартість і габарити пристрою, а також низька питома енергія, що зберігається у Джоулях на кілограм (Дж/кг), і реалізована потужність. Найбільш ефективним і відповідним типом накопичувача енергії, з огляду на низку характеристик, для реалізації на залізничному транспорті й метрополітені можна вважати накопичувач ємнісного типу.

Як підтвержують численні дослідження, найбільш сприятливі місця установки НЕЕ, з точки зору енергоефективності, є тягові підстанції, пости секціонування й електрорухомий склад [10-11] (рис. 4).

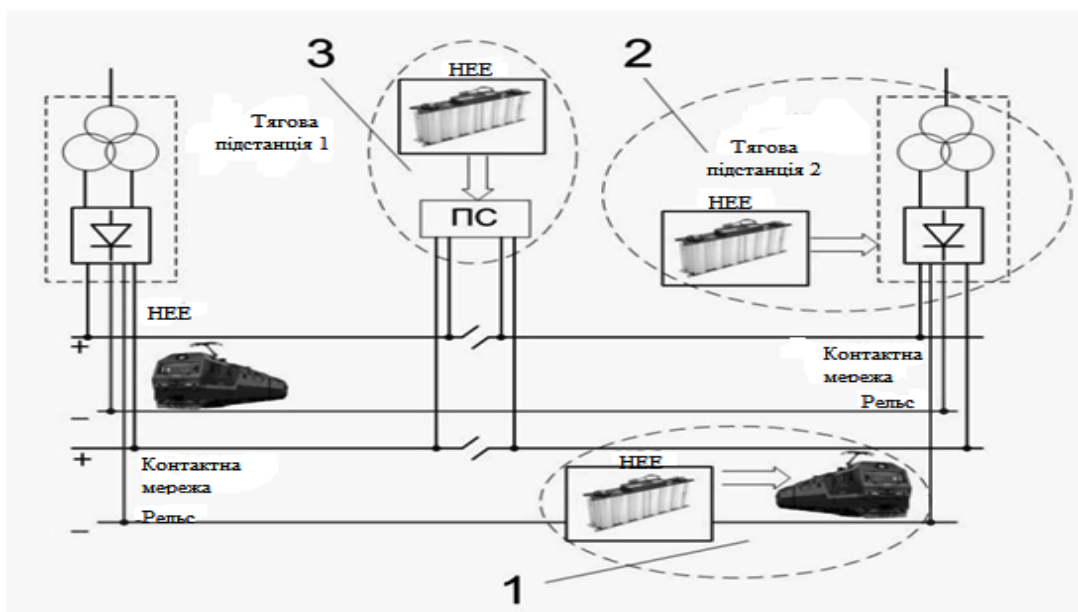


Рис. 4. Місця установки НЕЕ:

1 — електрорухомий склад; 2 — тягова підстанція; 3 — пост секціонування

Якщо розміщення інверторів в системі тягового електропостачання нерозривно пов'язане з тяговими підстанціями, то НЕЕ можливо розміщувати на об'єктах, безпосередньо не пов'язаних із зовнішньою системою електропостачання, наприклад, на постах секціонування. Це дозволяє в низці випадків наблизити приймач енергії до місць з найбільшою частотою застосування рекуперативного гальмування або обсягами рекуперації. В роботі за допомогою комплексу Matlab Simulink подано імітаційну модель встановлення НЕЕ на посту секціонування. Результати імітаційного моделювання показують, що застосування НЕЕ на постах секціонування дозволяє поліпшити основні енергетичні характеристики режиму роботи системи тягового електропостачання. Зокрема, встановлено, що середню напругу на фідерах контактної мережі суміжних підстанцій можна збільшити на 3 %, знизити струм, що споживається, на 2 %. Запропонований варіант застосування ЕНЕ дозволяє скоротити втрати в контактній мережі на 0,85 % і скоротити сумарну витрату електроенергії на 1,71 %.

#### Висновки

1. Розроблено класифікацію методів оцінки ефективності застосування рекупе-

ративного гальмування і комплекс основних вимог до визначення ефективності застосування рекуперативного гальмування, що дозволяє забезпечити технічну можливість достовірного визначення обсягів рекуперативного гальмування на ділянці проходження локомотивної бригади, виявлення причин його зниження на довільній ділянці залізниці, аж до міжпідстанційної зони.

2. Розроблено метод визначення ефективності застосування рекуперативного гальмування, зниження витрати і втрат електроенергії в тяговій мережі, що дозволяє проводити аналіз в межах довільної зони обліку, що враховує параметри й режими роботи системи тягового електропостачання, поїзної ситуації при рекуперативному гальмуванні, справність схеми рекуперативного гальмування і застосування машиністом енергозберігаючих прийомів водіння, а також запатентовано пристрій контролю режимів роботи тягової підстанції.

У перспективі можлива розробка автоматизованої системи моніторингу ефективності перевізного процесу з упровадженням в роботу накопичувачів електричної енергії на електрорухомому складі і в системі тягового електропостачання.

#### Список використаних джерел

1. Шатохин, А. П. Разработка методов и средств повышения эффективности применения рекуперативного торможения на железных дорогах постоянного тока [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А. П. Шатохин. – Омск, 2017. – 175 с.
2. Набойченко, І. О. Підвищення ефективності тягового електропостачання постійного струму [Текст] / І. О. Набойченко, Б. А. Аржанніков // Залізничний транспорт. – 2015. – № 12. – С. 31-34.
3. Герман, Л. А. Эффективный способ ресурсозбережения в тяговой сети переменного тока / Л. А. Герман, Д. С. Попов, К. В. Кішкурно [Текст] // Залізничний транспорт. – 2014. – № 12. – С. 63-65.
4. Косарев, Б. І. Вантажні перенапруги в контактній мережі електрифікованих залізниць / Б. І. Косарев, А. В. Симаков, В. В. Хананом [Текст] // Транспорт: наука, техніка, управління. – 2007. – № 1. – С. 15-19.

5. Мельниченко, О. В. Підвищення коефіцієнта потужності електровоза в режимі рекуперативного гальмування [Текст] / О. В. Мельниченко, С. Г. Шрамко, А. О. Линьков // Світ транспорту. – 2013. – Т.11. – № 3 (47). – С. 64-69.
6. Школников, Е. Н. Комерційний облік електричної енергії на електрорухомому складі [Текст] / О. М. Школников, В. Т. Черемісін, С. Ю. Ушаков // Залізничний транспорт. – 2016. – №8. – С. 50-54.
7. Саблін, О. І. Підвищення ефективності рекуперації енергії в системі електротранспорту при обмеженому тяговому електроспоживанні [Текст] / Енергетика та енергозбереження. – 2014. – № 6/1(20). – С. 21-26.
8. Сидорова, Е. А. Статистичний метод нормування енергії рекуперації [Текст] / Е. А. Сидорова, А. І. Давидов // Локомотив. – 2012. – № 5. – С. 35-37.
9. Етапи реалізації автоматизованої системи моніторингу енергоефективності перевізного процесу [Текст] / В. Т. Черемісін, М. М. Никифоров, С. Ю. Ушаков [та ін.] // Залізничний транспорт. – 2015. – № 3. – С. 45-49.
10. Иванов, В. В. Оперативное управление участком энергоснабжения электрифицированных железных дорог [Текст] / В. В. Иванов, Е. Е. Бакеев. – М.: Транспорт, 1986. – 132 с.
11. Бурков, А. Т. Электронная техника и преобразователи [Текст] / А. Т. Бурков. – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.
12. Соколов, С. Д. Полупроводниковые преобразователи агрегатов тяговых подстанций [Текст] / С. Д. Соколов. – М.: Транспорт, 1979. – 264 с.

---

Пасько Ольга Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-20. E-mail: zamdek@kart.edu.ua.  
Тананян Роман Євгенович, магістрант ШПК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту, заступник начальника відновного поїзда станції Лозова виробничого підрозділу «Харківська дирекція залізничних перевезень» регіональної філії «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця». Тел. 0997710439. E-mail: romazverik2@gmail.com.

Pasko Olga Vladimirovna, Candidate of Technical Science (Ph.D), associate professor, Operation and repair of locomotives Department, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: zamdek@kart.edu.ua.  
Tananian Roman Evgenovich, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport Deputy Head of the Reconstruction Train Station of Lozova, Production Division "Kharkiv Directorate of Railway Transportation" of the regional branch of the Southern Railway, PJSC "Ukrzaliznytsya". E-mail: romazverik2@gmail.com.

Стаття прийнята 16.11.2017 р.

УДК 656.027(477)

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ОРГАНІЗАЦІЇ ШВИДКІСНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ПЕРЕСАДОК**

Канд. техн. наук О. Е. Шандер, магістрант А. М. Леміш

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОРГАНИЗАЦИИ СКОРОСТНЫХ ПАСАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В УСЛОВИЯХ ПЕРЕСАДОК**

Канд. техн. наук О. Э. Шандер, магистрант А. Н. Лемиш

**IMPROVING THE PROCESS OF ORGANIZATION OF SPEED PASSENGER TRANSPORT IN CONDITIONS OF TRANSFER**

**Ph.D. Candidate of Technical Sciences O. Shander, master A. Lemish**

*В роботі розглядаються питання щодо удосконалення процесу організації швидкісних пасажирських перевезень, а саме використання нового методу в розробленні плану формування пасажирських поїздів у дальньому та місцевому сполученнях з урахуванням пересадок на залізничних вокзалах на основі методу рою часток. Визначено, що перевагою відповідного методу є висока швидкість знаходження рішення для транспортної мережі великої розмірності.*

**Ключові слова:** пасажирські перевезення, метод оптимізації, моделювання пасажиропотоків.

*В работе рассматриваются вопросы совершенствования процесса организации скоростных пассажирских перевозок, а именно использование нового метода в разработке плана формирования пассажирских поездов в дальнем и местном сообщениях с учетом пересадок на железнодорожных вокзалах на основе метода роя частиц. Определено, что преимуществом соответствующего метода является высокая скорость нахождения решения для транспортной сети большой размерности.*

**Ключевые слова:** пассажирские перевозки, метод оптимизации, моделирование пассажиропотоков.

*The paper considers the issues of improving the process of organization of high-speed passenger transportation, namely the use of a new method in developing a plan for the formation of passenger trains in long-distance and local traffic, taking into account transfers at railway stations. A mathematical model is formed that formalizes the technological process of organizing high-speed passenger transportation in the form of an optimization task with a target function, which reflects the total cost of passenger transportation with transfers and a system of constraints. These studies are aimed at determining the optimal allocation of passenger traffic for the purpose of passenger trains and operational adjustment of the plan for the formation of passenger trains. To solve the problem, it is proposed to use a mathematical apparatus based on the method of fractional particles. It is determined that the advantage of the corresponding method is the high speed of finding a solution for a transport network of large dimension.*

**Keywords:** passenger transportation, method of optimization, modeling of passenger traffic.



**Вступ.** Сучасні світові ринкові умови формують для залізничного транспорту нові стандарти на ринку транспортних послуг, що полягають в підвищенні швидкості перевезення та наданні якісних послуг.

В умовах жорсткої конкуренції на транспортному ринку частка залізничних пасажирських перевезень в пасажирообігу всіх видів транспорту становить понад 44,4 % і з кожним роком поступово зменшується. Провідну роль залізничних пасажирських перевезень визначають регулярність і універсальність перевезень незалежно від пори року і кліматичних умов, розгалужена мережа залізниць і їх високі провізні можливості.

В основі здійснення залізничних пасажирських перевезень лежать незмінні протягом кількох десятиріч технології перевізного процесу, які обмежують здатність пасажирського комплексу гнучко реагувати на умови функціонування ринку пасажирських перевезень і на вимоги споживачів, які постійно змінюються, а через це з кожним роком залізниця втрачає своїх пасажирів. Зважаючи на це, для зниження збитковості пасажирських перевезень та підвищення рівня оперативного реагування в дальньому та місцевому сполученнях необхідно застосовувати організаційні технології, в основу яких покладені концепції, що відповідають вимогам змінної основи організації пасажирських перевезень [1,3].

Одним із основних напрямків удосконалення пасажирських перевезень є впровадження швидкісного руху, що, як наслідок, передбачає організацію швидкісних сполучень між вузлами так званими хабами (англ. hub) у всіх регіонах країни та перевезення на коротких плечах в зоні тяжіння хабів. За таких умов потрібно розв'язати завдання організації швидкісних пасажирських перевезень в умовах пересадок та формування нових підходів до розроблення плану формування пасажирських поїздів (ПФПП).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показав аналіз, при розробленні графіка руху пасажирських поїздів майже не враховуються варіанти проїзду пасажира з пересадкою [1]. Ув'язка розкладів прибуття і відправлення поїздів для здійснення пересадки виконується тільки для незначної кількості поїздів. При запізненні пасажирського поїзда інформації у диспетчерського персоналу, що такий поїзд для пасажира є погодженим, немає, а отже, якщо пасажир не заявить про себе провіднику вагона (машиністу) і, зі свого боку, – той поїзному диспетчеру, ув'язки часу прибуття та затримки відправлення погодженого поїзда не відбудеться. Проведеним аналізом доведено, що попередні дослідження в напрямку розв'язання завдання планування перевезень з пересадками на мережевому рівні ґрунтувались на значних спрощеннях в його постановці і навіть за таких умов довели практичну складність розв'язання для полігона великої розмірності [3,4]. Таким чином, набуває актуальності розв'язання завдання організації швидкісних пасажирських перевезень в умовах залізничних пересадочних комплексів на рівнях плану формування пасажирських поїздів [5-7].

Досвід європейських країн показує, що подорож з пересадкою є найефективнішою і тому виникає завдання розрахунку ПФПП за допомогою математичних методів для всієї мережі з можливістю впровадження у виробництво, що дозволить раціонально формувати систему організації пасажирських перевезень [8,9].

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою даної роботи є удосконалення процесу організації залізничних швидкісних пасажирських перевезень в умовах пересадок при використанні нового методу в розробленні плану формування пасажирських поїздів на основі методу рою часток. Завданням дослідження є визначення оптимального розподілу пасажиропотоку за призначенням пасажирських

поїздів на основі корегування плану формування пасажирських поїздів.

**Основна частина дослідження.** Для розв'язання питання щодо визначення станцій пересадки пасажиропотоків та категорій пасажирських поїздів, для яких слід передбачити в графіку руху ув'язку часу прибуття та відправлення, запропоновано використати дослідження в галузі нових методів оптимізації. Проведеним аналізом було доведено, що попередні дослідження в напрямку розв'язання поставленого завдання показали практичну складність розв'язання для полігона великої розмірності. Згадане завдання є задачею оптимізації розподілу потоків в багатопродуктових мережах, яка відноситься до NP-складних задач і має комбінаторний характер.

Метод оптимізації на основі рою часток [2] довів, що цей метод на відміну від симплекс-методу та генетичного алгоритму досягає кращих результатів при розв'язанні задач великої розмірності за рахунок кращої швидкості збіжності, якості розв'язання і стабільності процедури пошуку. При реалізації даного методу використовується парадигма агентно-орієнтованого програмування, що сприяє підвищенню продуктивності обчислень та спрощується програмна реалізація.

Для розв'язання завдання розробки ПФПП для мережі великої розмірності в роботі запропоновано використати розроблену математичну модель з цільовою функцією, що відображає загальну вартість перевезень пасажирів з пересадками такого вигляду:

$$F_1 = \sum_r \left[ \sum_k c_k^{(t_{int}=1)} x_k^r + \sum_j b_j^E x_k^r \right] \rightarrow \min, \quad (1)$$

та обмеженнями

$$\sum_i x_{i,j}^r - \sum_k x_{j,k}^r = \begin{cases} -f_{st}, & \text{якщо } j = s, \\ 0, & \text{якщо } j \neq s, t, \\ f_{st}, & \text{якщо } j = t, \end{cases} \quad (2)$$

$$f_r = \sum_{l=1}^L f_k^{r,l}, \quad (3)$$

$$\sum_r |f_{r,k}| \leq y_k, \quad (4)$$

$$\sum_r x_{rj} \leq P_j, \quad (5)$$

де  $c_k$  – вартість перевезення одиниці потоку на  $k$ -му призначенні пасажирських поїздів, що курсують на момент розрахунку;  $t$  – інтервал стаціонарності в межах планового періоду  $T$ ;  $x_k^r$  – число пасажирів  $r$ -го потоку, що подорожують в поїзді  $k$ -го призначення;  $b_j^E$  – вартість пересадки одиниці пасажиропотоку через

пересадочний комплекс  $E_j$ ;  $f_{st}$  – величина інтенсивності пасажиропотоку із джерела  $E_s$  ( $s = \overline{1, q}$ ) у стік  $E_t$  ( $t = \overline{1, q'}$ ), що відповідає занумерованому  $r$ -му потоку;  $f_k^{r,l}$  – частка потоку  $r$ , що прямує по дузі  $k$  (призначенні) за  $l$ -м маршрутом;  $y_k$  – число місць в поїздах  $k$ -го призна-

чення;  $\sum x_{rj}$  – величина потоку, що проходить через  $j$ -й пересадочний комплекс,  $\sum x_{rj} = x_j$ , пас/доб;  $P_j$  – максимальна пропускна здатність  $j$ -го пересадочного комплексу, пас/доб.

Задано залізничну мережу у вигляді орієнтованого графу  $G'$  [1]. Граф складається з 14 вершин та 29 ребер. Всі вершини графу знаходяться на умовному полігоні. Даний фізичний граф мережі зображений на рис. 1, а його вектор позиції частки буде мати вигляд

$$X_i^i = (\underbrace{x_1^{i1}, x_2^{i2}, x_3^{i3}, x_4^{i4}, x_5^{i5}, x_6^{i6}, x_7^{i7}, x_8^{i8}, x_9^{i9}, x_{10}^{i10}, x_{11}^{i11}, x_{12}^{i12}, x_{13}^{i13}, x_{14}^{i14}, x_{15}^{i15}, x_{16}^{i16}, x_{17}^{i17}}_1, \underbrace{x_{18}^{i18}, x_{19}^{i19}, x_{20}^{i20}, x_{21}^{i21}, x_{22}^{i22}, x_{23}^{i23}, x_{24}^{i24}, x_{25}^{i25}, x_{26}^{i26}, x_{27}^{i27}, x_{28}^{i28}}_2, \underbrace{x_{18}^{i29}, x_{19}^{i27}, x_{20}^{i25}, x_{21}^{i24}, x_{22}^{i22}, x_{23}^{i18}, x_{24}^{i16}, x_{25}^{i12}, x_{26}^{i11}, x_{27}^{i7}, x_{28}^{i8}}_3) \cdot (6)$$

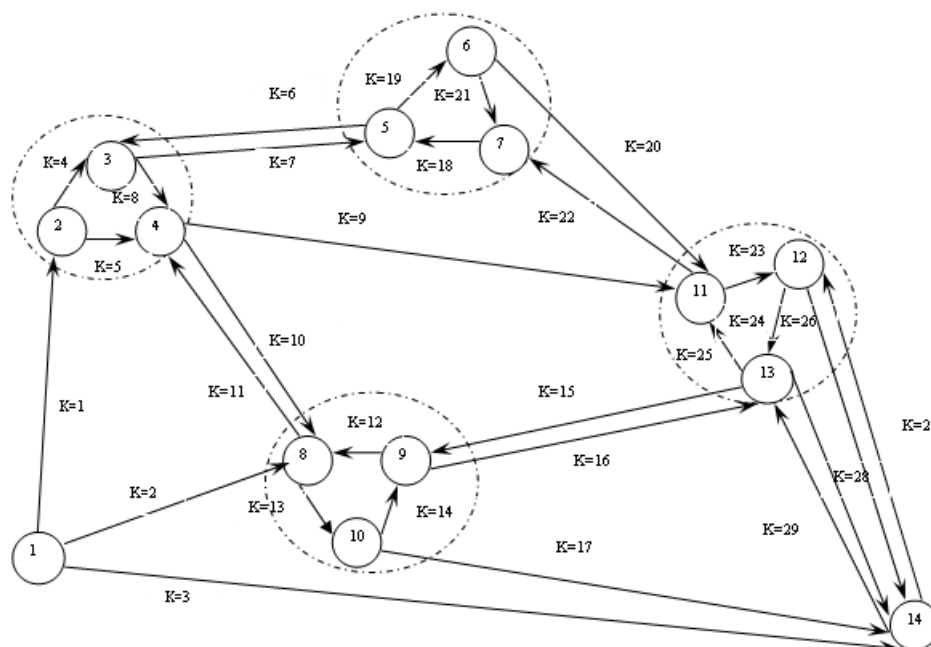


Рис. 1. Фізичний граф мережі  $G'$

Для обліку обмежень на пропускні здатності дуг мережі в роботі запропоновано для кожної з компонентів вектора позицій встановити межі їх значень в просторі пошуку. Прийемо, що величина потоку логічного графу  $G'$  встановлюється вектором  $u = [u_1, u_2, u_r, \dots, u_q] = [90, 20, 25]$ , де кожний компонент відповідає заданій

величині  $r$ -го потоку пасажирів. Максимальна пропускна здатність описується вектором  $y = [y_1, y_2, y_k, \dots, y_K] = [45, 90, 45, 20, 25, 20, 17, 17, 17, 40, 6, 7, 130, 60, 70, 7, 60, 17, 20, 20, 0, 16, 30, 10, 16, 30, 14, 70, 20]$ , де кожна компонента відповідає величині пропускної здатності  $k$ -ї дуги графу мережі  $G'$ . Вектор позиції частки з обмеженнями на значення кожної компоненти буде мати вигляд

$$X_t^i = \underbrace{(x_1^{i1}, x_2^{i2}, x_3^{i3}, x_4^{i4}, x_5^{i5}, x_6^{i6}, x_7^{i7}, x_8^{i8}, x_9^{i9}, x_{10}^{i10}, x_{11}^{i11}, x_{12}^{i12}, x_{13}^{i13}, x_{14}^{i14}, x_{15}^{i15}, x_{16}^{i16}, x_{17}^{i17})}_{\substack{0 \leq \\ \leq 30-90}} \cdot \underbrace{(x_{18}^{i29}, x_{19}^{i27}, x_{20}^{i25}, x_{21}^{i24}, x_{22}^{i22}, x_{23}^{i18}, x_{24}^{i16}, x_{25}^{i12}, x_{26}^{i11}, x_{27}^{i7}, x_{28}^{i8})}_{\substack{0 \leq \\ \leq 20}} \cdot \underbrace{(x_{18}^{i29}, x_{19}^{i27}, x_{20}^{i25}, x_{21}^{i24}, x_{22}^{i22}, x_{23}^{i18}, x_{24}^{i16}, x_{25}^{i12}, x_{26}^{i11}, x_{27}^{i7}, x_{28}^{i8})}_{\substack{0 \leq \\ \leq 20-25}} \quad (7)$$

Враховуючи, що система рою часток є методом безумовної оптимізації, в роботі для обліку обмежень нерівностей на провізні здатності дуг (можливих призначень пасажирських поїздів) запропоновано застосувати штрафні функції вигляду

$$g(x) \leq 0 \Leftrightarrow g(x) + |g(x)| = 0, \\ h_e(x) = g(x) + |g(x)|, e = \overline{1, B}. \quad (8)$$

Для спрощення розрахунків запропоновано здійснити запис обмежень у матричній формі. Так, для ув'язки розмірності вектора позиції частки з кількістю призначень пасажирських поїздів в мережі необхідно записати матрицю інциденцій  $A$  "призначення – змінні параметри задачі" розмірністю  $K \times n_x$  [2]. Для фізичного графу мережі  $G'$  (рис. 1) та вектора позицій частки (6) матриця  $A$  має розмірність  $(29 \times 36)$ .

Тоді обмеження (4) можна записати в матричній формі  $AX_t^i \leq y$  або  $AX_t^i - y \leq 0$ , де  $g(x) = AX_t^i - y$ . Тоді, згідно з (8), можна записати  $h_1(x) = AX_t^i - y + |AX_t^i - y| = 0$ .

Обмеження рівності задачі в роботі запропоновано подати у вигляді

$$g_3(x) = Aeq^{(s)} X_r^i = u_r \Leftrightarrow g_3(x) = Aeq^{(s)} X_r^i - u_r = 0,$$

тоді, згідно з (9), можна записати штрафну функцію у вигляді

$$g(x) = 0 \Leftrightarrow |g(x)| = 0,$$

$$h_e(x) = |g(x)|. \quad (9)$$

Введемо до розгляду матрицю інцидентності орграфу  $Aeq$  розмірністю  $n \times K$  (вершини – дуги), кожний елемент якої  $a_{ik} = 1$ , якщо із вузла  $E_i$  виходить дуга  $k$ ;  $a_{ik} = -1$ , якщо у вузол  $E_i$  входить дуга  $k$ ;  $a_{ik} = 0$  у всіх інших випадках.

Позначимо через  $Aeq^{(st)}$  матрицю з рядками  $s$  та  $t$  матриці  $Aeq$ , а через  $Aeq^{(-st)}$  матрицю з видаленими рядками з номерами  $s$  і  $t$ . Для простоти сприйняття подамо вектор позиції частки у вигляді елементів, що відповідають  $r$ -му потоку пасажирів в кожній дузі  $k$  мережі  $G'$ .

Тоді умову на збереження потоку у вузлах мережі можна записати як

$$g_2(x) = Aeq^{(-st)} X_r^i = 0,$$

$$h_2 = |g(x)| = |Aeq^{(-st)} X_r^i|.$$

Обмеження рівності на задані величини  $r$ -го потоку мають вигляд

$$h_3 = |g_3(x)| = |Aeq^{(st)} X_r^i - u_r|.$$

Інтереси групи та окремо кожної частки описуються цільовою функцією, що визначає стратегію розподілення пасажиропотоку за призначеннями пасажирських поїздів [5]. Для врахування згаданих обмежень задачі (1 – 5) варіант розподілу пасажиропотоку по поїздах при розв’язанні основної задачі може бути оцінений на основі цільової функції безумовної мінімізації

$$f(X_t^i) = \text{sum}(AX_t^i * C') + \lambda H \rightarrow \min, \quad (10)$$

де  $(.*)$  - оператор поелементного множення векторів стовбців;

$C$  – вектор, що описує вартість проходження потоку пасажирів через кожну дугу мережі, розмірність  $(1 \times K)$ . По суті, відповідно до дуги кожний компонент вектора описує вартість проїзду одиниці пасажиропотоку або вартість пересадки через пересадочний комплекс, грн,

$C = [10 \ 12 \ 40 \ 3 \ 3 \ 15 \ 15 \ 3 \ 25 \ 15 \ 15 \ 3 \ 3 \ 3 \ 20 \ 20 \ 35 \ 3 \ 3 \ 16 \ 3 \ 16 \ 3 \ 3 \ 3 \ 16 \ 16 \ 16 \ 16]$  розмірність  $(1 \times 29)$ ;

$C'$  – транспонована матриця із вектора рядка у вектор стовбця;

$\lambda$  – параметр штрафної функції,  $\lambda > 0$ ;

$H$  – штрафна функція вигляду  $H = \text{sum}(h_1) + \text{sum}(h_2) + \text{sum}(h_3)$ , де  $\text{sum}()$  – оператор поелементної суми кожного з векторів (дозволяє привести до одного значення величину штрафу для векторів різної розмірності),

$$h_1 = AX_t^i - y + |AX_t^i - y|,$$

$$h_2 = |Aeq^{(-st)} X_r^i|, \quad h_3 = |Aeq^{(st)} X_r^i - u_r|.$$

Результат розв’язання оптимізаційної задачі розподілу пасажиропотоку по поїздах з урахуванням пересадок для довільного фізичного графу мережі (рис. 1) наведено на рис. 2, а вектор позиції частки, що описує оптимальний варіант розподілу, буде мати вигляд

$$X_t^i = [0,52,38,0,0,0,0,53,22,22,31,0,0,0,0,0,22,17,3,3,13,13,13,7,7,7,13,13,17,8,8,8,8,17,16,9,],$$

при  $f(X_t^i) = 6354 \text{ у.о.}$

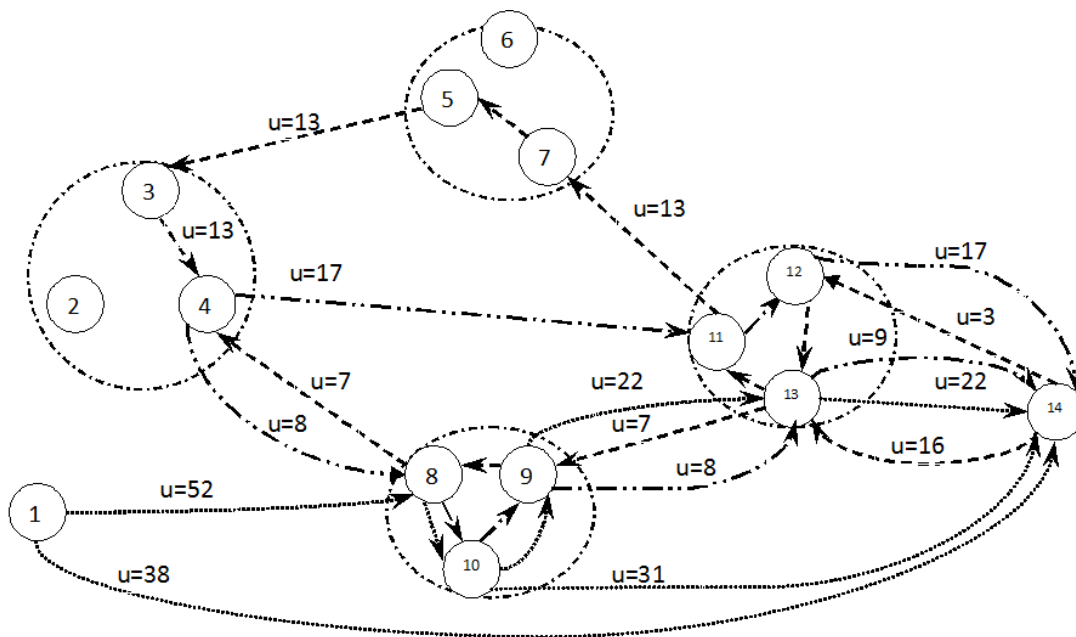


Рис. 2. Логічний граф мережі, що описує оптимальний варіант розподілу пасажиропотоків по поїздах

В межах практичної реалізації в середовищі Matlab було проведено розрахунки щодо моделювання розподілу

пасажиропотоків по поїздах [6,7]. Ілюстрація процесу зміни позицій часток наведена на рис. 3.

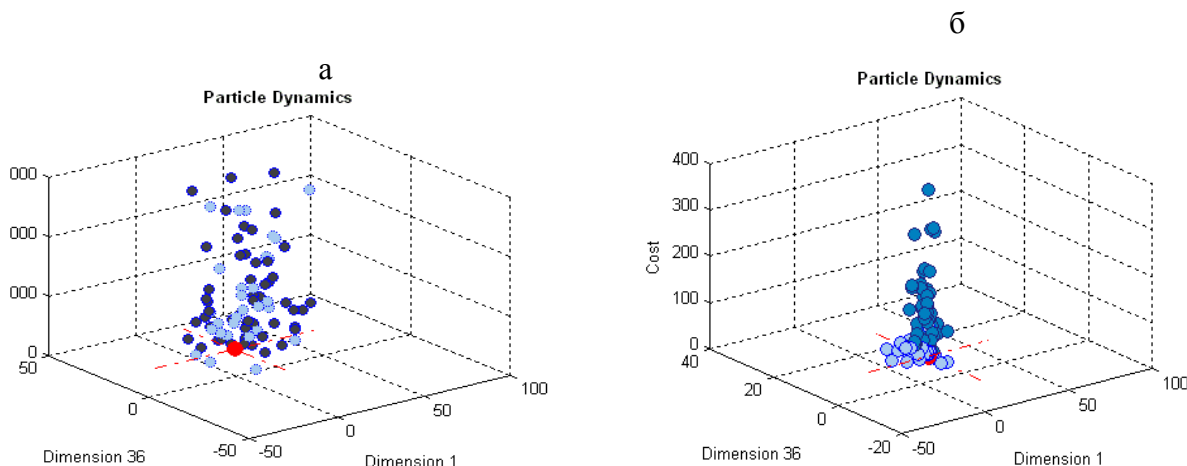


Рис. 3. Позиції часток рою в тривимірному просторі розв'язків на початку знаходження варіанта розподілу пасажиропотоків після 100 ітерацій роботи PSO-системи (а) та на момент знайденого оптимального розв'язку після 700 ітерацій (б)

**Висновки.** Проведений розрахунковий експеримент на мережі з 14 вершин при розв'язанні ПФПП з пересадками показав високу швидкість збіжності алгоритму PSO, що підтверджує перспективність та ефективність застосування даного методу у виробництві. За таких умов запропонований підхід до здійснення планування перевезень з урахуванням типових варіантів пересадки пасажиро-

потоків з використанням розрахункової моделі розподілу пасажиропотоків по поїздах на основі системи рою часток дасть змогу гнучко реагувати на умови коливання ринкового середовища і пріоритети споживачів, які постійно змінюються. Запропонований метод дозволить раціонально формувати систему організації швидкісних пасажирських перевезень.

#### Список використаних джерел

1. Бутко, Т. В. Моделювання розподілу пасажиропотоків по поїздам на основі колективного інтелекту [Текст] / Т. В. Бутко, А. В. Прохорченко, О. О. Журба // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 2/4(44). – С. 44-47.
2. T. Krink, J. Vesterstrom, and J.Riget, Particle Swarm Optimization with Spatial Particle Extension, To appear in: Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, 2002 (CEC 2002).
3. Пархоменко, Л. О. Процедура формування моделі прогнозування пасажиропотоків на залізничних лініях [Текст] / Л. О. Пархоменко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Вып. 5/4 (65). – С. 7-10.
4. Пархоменко, Л. О. Дослідження напрямків розвитку швидкісного і високошвидкісного пасажирського руху поїздів на залізницях України [Текст] / Л. О. Пархоменко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 145. – С. 44-50.

5. Palacin R. High speed rail trends, technologies and operational patterns: a comparison of established and emerging networks [Text] / R. Palacin, L. Raif, Ö. Deniz., N. Yan // Transport Problems International Scientific Journal. – 2014. – Vol. 9. Special Edition. – P. 123-129.

6. Jianping Z. Planning and Development of High-Speed Rail Network in China // Презентація доклада на VIII всемирном конгресі по високоскоростному залізничному транспорту. – Філадельфія, 2012. 13. Chinese high speed: in the wake of Wenzhou // International Railway Journal. 2012. – № 7. – P. 22.

7. Chinese high speed: in the wake of Wenzhou // International Railway Journal. 2012. – № 7. – P. 22.

8. Naohiko Hibino A Study on Characteristics of Train Station Passenger flows for Train Delay Reduction/ Naohiko Hibino; Yoshihisa Yamashita; Keiji Kariyazaki; Shigeru MORICHI // 12th WCTR, July 11-15, 2010 – Lisbon, Portugal 12 p.

9. Liebchen, C. The Modeling Power of the Periodic Event Scheduling Problem: Railway Timetables—and Beyond / Christian Liebchen, Rolf H. Mohring // F. Geraets et al. (Eds.): Railway Optimization 2004, LNCS 4359, P. 3–40, 2007.

---

Шандер Олег Едуардович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: o.e.shander@gmail.com.  
Леміш Андрій Миколайович, магістрант ІПК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 099-688-26-64. E-mail: Alemish@gmail.com.

Shander Oleg Eduardovich, PhD. Of techn. Sciences, Senior Librarian of Management of operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-88. E-mail: o.e.shander@gmail.com.

Lemish Andriy Mikolajovych, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 099-688-26-64. E-mail: Alemish@gmail.com.

Стаття прийнята 17.11.2017 р.

**УДК 656.224**

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ В УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ**

**Канд. техн. наук Т. В. Головко, магістрант С. А. Шут**

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ**

**Канд. техн. наук Т. В. Головко, магистрант С. А. Шут**

## **IMPROVING THE TECHNOLOGY OF PROCESSING PASSENGER TRAINS IN THE CONDITIONS OF FUNCTIONING OF SPEED MOVEMENT**

**Cand. of techn. sciences T. V.Golovko, master student S. A. Shoot**

*У статті порушено питання щодо удосконалення технології обробки пасажирських поїздів в умовах функціонування швидкісного руху. Проаналізовано норми часу на технічну підготовку пасажирських составів у рейс. Формалізовано технологію роботи пасажирської технічної станції на основі побудови математичної моделі. Запропоновано варіанти*

раціоналізації часу прямування пасажирських поїздів завдяки скороченню загальних витрат через об'єднання суміжних операцій.

**Ключові слова:** рух, пасажиропотік, перевезення, раціоналізація.

*В статье рассмотрены вопросы совершенствования технологии обработки пассажирских поездов в условиях функционирования скоростного движения. Проанализированы нормы времени на техническую подготовку пассажирских составов в рейс. Формализована технология работы пассажирской технической станции на основе построения математической модели. Предложены варианты рационализации времени следования пассажирских поездов путем сокращения общих затрат с помощью объединения смежных операций.*

**Ключевые слова:** движение, пассажиропоток, перевозки, рационализация.

*Reducing the time of passengers' stay in the road and the possibility of regulating the time of departure and arrival of the train decides the introduction of high-speed passenger traffic on the railways of Ukraine. This leads to changes in the organization of passenger transportation, justifies the need to determine the optimal areas for passenger train trains, and the main factors that affect their size.*

*The article deals with the issues of improving the processing technology of passenger trains in the conditions of the operation of high-speed traffic. The time rules for technical preparation of passenger compositions in the flight are analyzed. The offered variants of rationalization of the time of passenger trains passing by reducing the total expenses due to the combination of related operations.*

*Based on the calculations, it was determined that the increase of the economic effect from the introduction of an interactive computer system for decision support at the passenger technical station during the estimated period, taking into account the reduction to the first year, is UAH 31,006, and the time saving will be 434,6 train-hours per year.*

**Keywords.** Highways, passenger, transport, rationalization.

**Вступ.** Сучасна ринкова ситуація характеризується високим рівнем конкуренції. Стратегічна стабільність підприємства на ринку можлива тільки за умов його конкурентоспроможності та можливості адаптації до змін ринкового середовища. Скорочення часу перебування пасажирів у дорозі і можливість регулювання часу відправлення і прибуття поїзда актуалізує впровадження швидкісного пасажирського руху на залізницях України. Це зумовлює проведення змін в організації пасажирських перевезень, обґрунтовує необхідність визначення оптимальних зон курсування пасажирських поїздів та основних факторів, які впливають на їх величину. Таким чином, питання підвищення ефективності функціонування окремих

поїздів та скорочення експлуатаційних витрат на пасажирські перевезення є нагальною необхідністю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Якісний розклад поїздів повинен неухильно забезпечувати здатність системи дотримуватись вимог перевезень. Автори [1] подають математичну модель для оптимізації розкладу поїздів для системи високошвидкісного руху та пропонують інноваційну методологію, використовуючи евристичний алгоритм для одночасного обліку як потреб пасажирів, так і планування поїздок. Ця методологія має потенціал для покращення рівня обслуговування та потужності ліній без додаткових високооплачуваних капітальних вкладень.



У статті [2] основна увага приділена тому, як мінімізувати загальний час очікування пасажирів на станціях завдяки обчисленню й коригуванню розкладів поїздів для швидкісних коридорів залізничного транспорту з обліком змінених у часі матриць попиту від місця відправлення до місця призначення. З обліком заздалегідь заданих схем пропускної спроможності поїздів розроблена уніфікована модель квадратичного цілісного програмування з лінійними обмеженнями для спільної синхронізації ефективних вікон часу завантаження пасажирів та часу прибуття й відправлення поїзда на кожній станції. Ефективність моделі додатково досліджується за допомогою численних експериментів із тестовими випадками в реальному часі залізничних колій. Однак у згаданих дослідженнях не повною мірою приділено увагу впливу часу технічної обробки пасажирських поїздів на загальний час прямування.

Донедавна багато досліджень, включно з новими транспортними проектами, при моделюванні не враховували скупчення. У роботі [3] запропоновано використання натовп-моделі, яка дозволить точно досягати балансу між завантаженим попитом та потужністю. Це дозволить пояснити розбиття графіка, наприклад, пов'язаного із затримками, в порівнянні з базовим сценарієм без обмежень пропускної спроможності. Проте результати показують складну просторову та часову поведінку, що робить їх інтерпретацію занадто чутливою.

Станції часто обмежують потужність залізничної мережі. У [4] подано методи аналізу та опису станцій. В роботі розроблено п'ять методів аналізу інфраструктури та експлуатації на станціях: адаптований метод потужності, який може використовуватися для аналізу станційних зон та коштів на станціях; метод аналізу потреби у платформах та ймовірність того, що при прибутті поїзд не отримає

платформи відразу; масштабований метод, який аналізує конфлікти та складність інфраструктури; метод, який використовується для вивчення складності та очікуваної надійності графіків на станції; метод аналізу оптимальних шляхів, який використовується для вивчення моделі прибуття та відправлення поїздів. Однак проаналізовані методи мають великий рівень суб'єктивності, пов'язаний із визначенням експертним методом різних показників та рангів їх важливості.

У роботі [5] розроблено методичний підхід до визначення оптимальних зон курсування пасажирських поїздів різних видів, який базується на зниженні їх експлуатаційних витрат та підвищенні швидкості руху при зміні організації руху за новою класифікацією поїздів, що дозволить підвищити економічну ефективність або знизити збитковість пасажирських перевезень та збільшити їх конкурентоспроможність на ринку пасажирських транспортних послуг.

Для забезпечення інтеграції високошвидкісних ліній із звичайною залізничною мережею потрібно впроваджувати залізничні розв'язки. Розробки та можливості японських і французьких високошвидкісних магістралей проаналізовано у праці [6]. Результати, отримані у дослідженні, свідчать про те, що доцільно було б застосувати французьку модель для виконання пасажирських перевезень.

Усі проаналізовані роботи доводять, що підвищення швидкості залізничних перевезень є життєздатним та привабливим способом організації перевезень, а розроблені методи та використані моделі можуть використовуватись для аналізу загальної інфраструктури та отримання інформації про місткість та потужність різних елементів на перегонах та станціях.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою статті є удосконалення технології обробки пасажирських поїздів в умовах функціонування

швидкісного руху. Завданням є аналіз основних факторів, що впливають на якість і терміни технічного огляду, формалізація технології роботи пасажирських технічних станцій завдяки побудові математичної моделі, визначення техніко-економічної ефективності запропонованої технології.

#### Основна частина дослідження.

Оскільки залізничний транспорт є одним з основних великих споживачів паливно-енергетичних ресурсів, то розв'язання проблеми ресурсозбереження зачіпає не лише транспорт, але й економіку країни загалом. У зв'язку з цим необхідна розробка системного підходу до проблеми, яка передбачає як стимулювання оптимізації енергоспоживання, так і впровадження науково-технічних заходів, що стабілізують рівень енерговитрат і знижують непродуктивні витрати на транспорті [8]. Одним з варіантів є скорочення часу на обробку составів, що надасть більшої варіативності графіку руху пасажирських поїздів. Як наслідок, виникає можливість збільшення пасажирообігу.

При аналізі пасажирських перевезень залізничним транспортом, поданим динамікою зміни пасажиропотоку за 1980-2016 роки (рис. 1), порушується питання потреби у збільшенні обсягу пасажирських перевезень.

У загальному ланцюзі руху пасажирських поїздів на мережі залізниць важливою та необхідною ланкою є технічні пасажирські станції, на яких здійснюється обслуговування поїздів. Норми часу на технічну підготовку пасажирських составів у рейс регламентовані типовим технологічним процесом підготовки та екіпіровки в рейс пасажирських вагонів і швидкісних поїздів та наведені на рис. 2.

Для оптимізації роботи пасажирської технічної станції та для подальшого прискорення обробки пасажирських поїздів, що так само призведе до більш раціонального їх пропуску в умовах ресурсозбереження, необхідно визначити цільову функцію витрат на обробку пасажирського поїзда з урахуванням усіх можливих операцій [9].

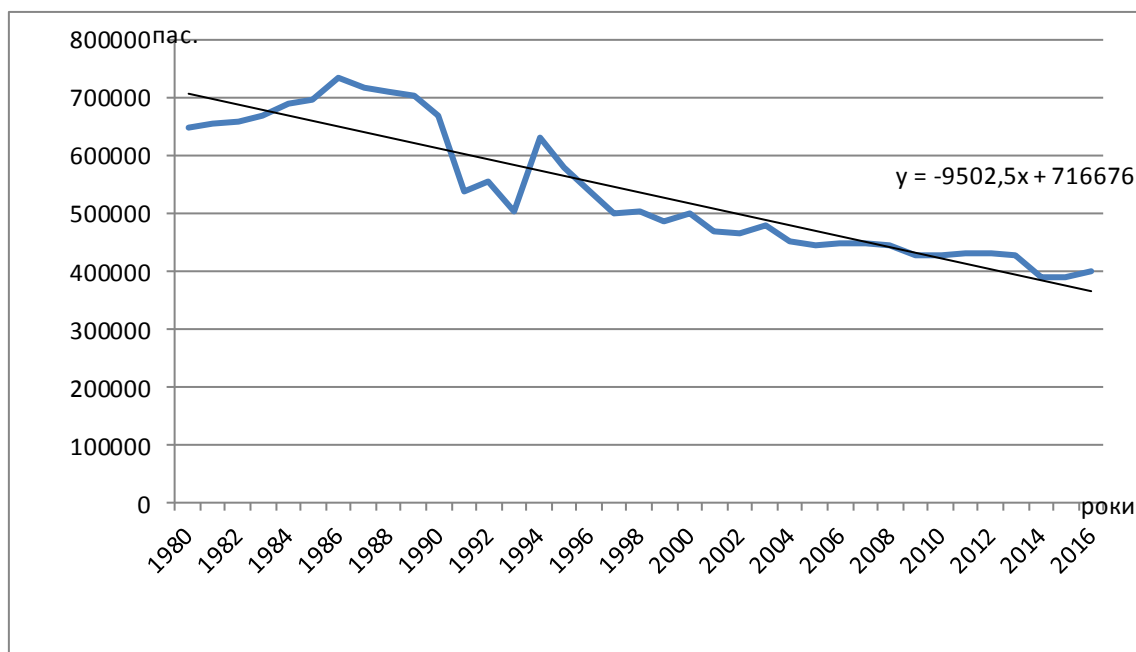


Рис. 1. Динаміка перевезення пасажирів залізничним транспортом за 1980-2016 роки

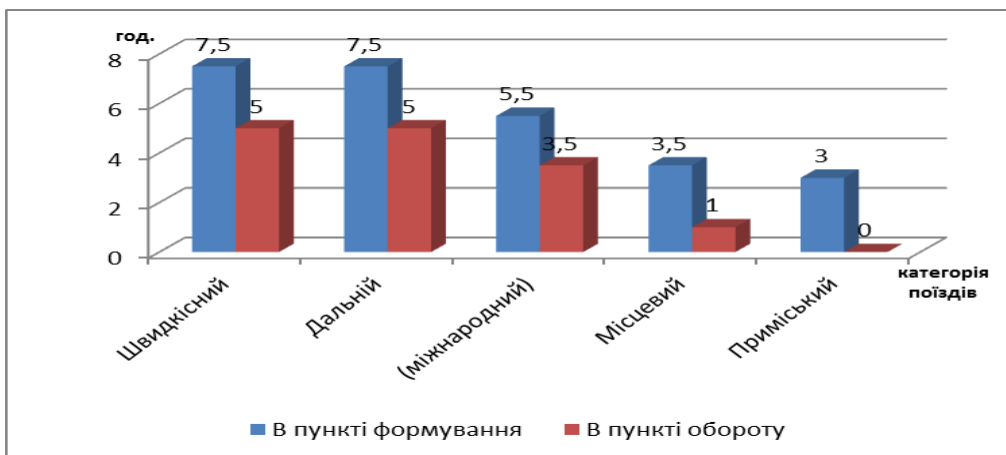


Рис. 2. Норми часу на технічну підготовку пасажирських составів у рейс

Операціями вважається: огляд поїзда “з ходу” по прибутті; висадка пасажирів; екіпірування водою; технічний огляд ходових частин; проходження митного та прикордонного контролю; зміна бригади провідників; відчеплення поїзного локомотива, причеплення маневрового локомотива; повне випробування гальм; переміщення складу поїзда; час на обробку поїздів; переміщення складу поїзда на станцію; проходження митного та прикордонного контролю бригади провідників; відчеплення маневрового локомотива, причеплення поїзного локомотива; повне випробування гальм; посадка пасажирів згідно з розкладом руху; проходження митного та прикордонного контролю пасажирів поїзда; огляд поїзда “з ходу” по відправленні зі станції [10 – 11].

Зважаючи на згадані витрати часу, які потрібні для загальної обробки поїздів, подамо обробку кожного конкретного поїзда, як суму їх елементів.

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \rightarrow \min \cdot \quad (1)$$

Нерідко при аналізі функціонування складної або багатовимірної системи отримати точну інформацію практично неможливо, а якщо й можливо, то користі з неї мало. Спрощена модель забезпечує

подекуди зрозумілішою інформацією, ніж детальна й більш точна модель. Цей принцип несумісності пов'язаний зі способом сприйняття і мислення людини. У його основі лежать узагальнені, схематизовані, а отже, неточні суб'єктивні уявлення про реальність.

До того ж, застосування класичних методів для вибору рішень в складних системах істотно обмежується труднощами формування єдиного критерію, що охоплює різні, а подекуди суперечливі вимоги. Так, наприклад, при розв'язанні багатьох практичних завдань виникає потреба оптимізувати швидкодію системи і мінімізувати її енергетичні витрати або забезпечити максимальну точність.

На цьому етапі пропонується скоротити загальні витрати завдяки об'єднанню суміжних операцій. Для забезпечення суміжності операцій з витратами часу  $t_n$  та  $t_{n+1}$  з метою мінімізації простою поїзда треба побудувати цільову функцію та систему обмежень, які б враховували технічні, технологічні та нормативні умови.

$$C = C_{nz} (X_{w_j} \cdot (t_n + t_{n+1})) \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $C_{nz}$  – вартість поїздо-години простою;

$X$  – характеристика колії приймання з точки зору здатності проведення подвійних операцій відносно  $t_n, t_{n+1}$ ;

$J$  – заданий поїзд;

$W$  – масив колій, на які може бути прийнятий поїзд;

$t_n, t_{n+1}$  – час на проведення суміжних операцій.

Об'єднання зазначених операцій можливе лише за умови прийняття заданого поїзда на відповідну колію з множини колій на об'єкті, у цьому випадку на пасажирську технічну станцію, з огляду на її зайнятість та не всупереч розкладу поїздів.

Відповідне обмеження

$$\sum_{j=1}^k |\operatorname{sgn}|W_j - n| - 1| \cdot \operatorname{sgn}|\operatorname{sgn}(t_i - t_j)| + 1| + 1| \cdot \operatorname{sgn}|\operatorname{sgn}(C_j - (X_{W_j} \cdot (C_n + C_{n+1})))| \leq 1, \quad (3)$$

де  $k$  – кількість поїздів;

$n$  – номер визначеної колії;

$t_i$  – будь-який момент часу.

**Висновки.** Проведені розрахунки встановили, що приріст економічного ефекту від впровадження інтерактивної комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень на пасажирській технічній станції за розрахунковий період з

урахуванням приведення до першого року складає 31006 грн, а економія часу складе 434,6 поїздо-годин на рік. Візуалізацію загальної економії від можливості об'єднання деяких технічних операцій подано на рис. 3.

Світла ділянка виражає витрати до скорочення технічних операцій, а темна – зменшення витрат після об'єднання.

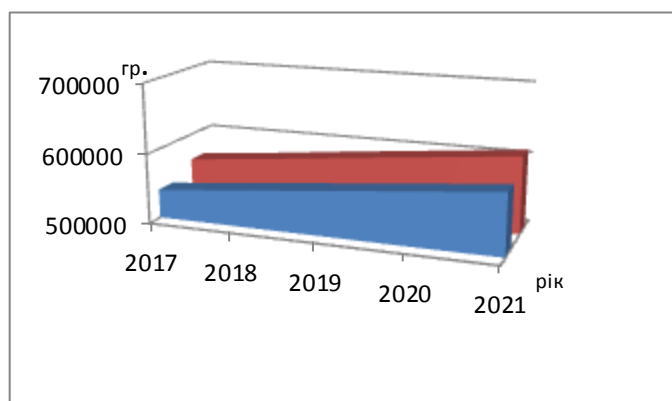


Рис. 3. Візуалізація загальної економії від можливості об'єднання технічних операцій

### Список використаних джерел

1. Yue, Y. Optimizing train stopping patterns and schedules for high-speed passenger rail corridors [Text] / Yixiang Yue, Shifeng Wang, Leishan Zhou, Lu Tong, M. Rapik Saat // Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 63, February 2016. – P. 126-146.

2. Niu, H. Train scheduling for minimizing passenger waiting time with time-dependent demand and skip-stop patterns: Nonlinear integer programming models with linear constraints

[Text] / Huimin Niu, Xuesong Zhou, Ruhua Gao // *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 76, June 2015. – P. 117-135.

3. Essadeq, I. Modelling Passenger Congestion in Transit System –Benchmark and Three Case Studies [Text] / Imane Essadeq, Eleonore Dubail, Eric Jeanniere // *Transportation Research Procedia*, Vol. 14, 2016. – P. 1792-1801.

4. Landex, A. Measures for track complexity and robustness of operation at stations [Text] / Alex Landex, Lars Wittrup Jensen // *Journal of Rail Transport Planning & Management*, Vol. 3, Issues 1–2, February–May 2013. – P. 22-35.

5. Бараш, Ю. С. Методичний підхід щодо визначення оптимальних зон курсування різних видів пасажирських поїздів [Текст] / Ю. С. Бараш, О. О. Матусевич // *Вісник економіки транспорту і промисловості*. – 2015. – Вип. 50. – С. 169-176.

6. Palacin, R. High speed rail trends, technologies and operational patterns: a comparison of established and emerging networks [Text] / R. Palacin, L. Raif, Ö. Deniz, N. Yan // *Transport Problems international scientific journal*. – 2014. – Vol. 9. Special Edition. – P. 123-129.

7. Колесникова, Н. М. Формування доходів від залізничних перевезень в умовах вертикально-інтегрованої системи управління [Текст] / Н. М. Колесникова, І. Г. Бакаєва, В. В. Чорний // *Зб. наук. праць Держ. екон.-технолог. ун-ту тр-ту. Сер. Економіка і управління*. – 2012. – Вип. 19. – С. 54-57.

8. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 року № 2174 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: \www/URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>.

9. 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. Малахова, О. А. Визначення величини простою составів в очікуванні відправлення на сортувальних станціях [Текст] / О. А. Малахова, О. В. Тищенко // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – 2011. – Т. 1. – Вип. 58. – С. 99-102.

11. Калашнікова, Т. Ю. Посилення умов взаємодії роботи підсистем технічної станції між собою та з прилеглими дільницями [Текст] / Т. Ю. Калашнікова, Л. В. Свиридчук // *Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп.* – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 120. – С. 44-47.

---

Головка Тетяна Владиславна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: [tishatares@gmail.com](mailto:tishatares@gmail.com).

Шут Сергій Олександрович, магістрант ШПК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: [sergii.shoot@gmail.com](mailto:sergii.shoot@gmail.com).

Golovko Tatiana Vladislavovna, PhD. Of tehn. Sciences, Associate Professor of Management of operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: [tishatares@gmail.com](mailto:tishatares@gmail.com).

Shoot Sergii Aleksandrovich, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: [sergii.shoot@gmail.com](mailto:sergii.shoot@gmail.com).

Стаття прийнята 21.11.2017 р.

УДК 625.11

**ЗБІЛЬШЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ПОЇЗДІВ ІНТЕРСИТИ(+) ЗА РАХУНОК  
ЗМЕНШЕННЯ КІЛЬКОСТІ ОБМЕЖЕНЬ**

Канд. техн. наук Д. В. Шумик, магістрант М. В. Романова

**УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ Поездов ИНТЕРСИТИ (+) ЗА СЧЕТ  
УМЕНЬШЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОГРАНИЧЕНИЙ**

Канд. техн. наук Д. В. Шумик, магістрант М. В. Романова

**INCREASE SPEED TRAIN INTERCITY(+) BY REDUCING THE NUMBER  
LIMITATION**

Cand. of techn. sciences D. V. Shumyk, master M. V. Romanova

*На залізницях України параметри стану залізничної колії і низка інших причин призводять до потреби зниження швидкості щодо її максимального рівня. Особливо великі зміни швидкостей відбуваються на наявних лініях з інтенсивним рухом. Наявність «бар'єрних» місць практично на кожній залізниці спричиняє обмеження швидкості й потребує в кожному окремому випадку індивідуальних рішень. Підвищення швидкості руху пасажирських поїздів на основних напрямках — одна з техніко-економічних перспектив залізничної галузі, яка дасть змогу значно зменшити збитки від перевезень завдяки зменшенню часу обертання рухомого складу, залучити більшу кількість пасажирів та вивести з обігу певну частину морально та фізично застарілого рухомого складу.*

**Ключові слова:** швидкість, рух, обмеження, поїзд, колія, криві, стрілочні переводи.

*На железных дорогах Украины параметры состояния железнодорожного пути и ряд других причин приводят к необходимости снижения скорости относительно ее максимального уровня. Особенно большие изменения скоростей имеют место на существующих линиях с интенсивным движением. Наличие «барьерных» мест практически на каждой железной дороге вызывает ограничение скорости и требует в каждом отдельном случае индивидуальных решений. Повышение скорости движения пассажирских поездов на основных направлениях — одна из технико-экономических перспектив железнодорожной отрасли, которая позволит значительно уменьшить убытки от перевозок за счет сокращения времени обращения подвижного состава, привлечь большее количество пассажиров и вывести из оборота определенную часть морально и физически устаревшего подвижного состава.*

**Ключевые слова:** скорость, движение, ограничение, поезд, путь, кривые, стрелочные переводы.

*On the railways of Ukraine, the parameters of the state of the railway track and a number of other reasons lead to the need to reduce the speed relative to its maximum level. Especially large changes in speeds take place on existing lines with intensive traffic. The presence of "barrier" places on almost every railway causes speed limits and requires individual solutions in each individual case. To solve the problem of reducing the number of "barrier" places in this work, the reasons that necessitated the introduction of train speed limits have been analyzed. Increasing the speed of passenger trains in the main directions is one of the technical and economic prospects of*

*the industry, which will allow to significantly reduce traffic losses by reducing the rotational speed of the rolling stock, attracting more passengers and withdrawing from the circulation a certain part of the morally and physically obsolete rolling stock.*

**Keywords:** speed, motion, limitation, train, railway track, curves, turnout.

**Вступ.** Як показує європейський досвід пасажирських перевезень, досягнення комерційного успіху полягає у забезпеченні комфортної, безпечної подорожі і своєчасного прибуття до місця призначення клієнтів.

Підвищення й оптимізація швидкості руху поїздів належать до пріоритетних цілей УЗ. Швидкісний рух пасажирських поїздів дає змогу зменшити витрати часу пасажирів на поїздку і таким чином підвищити якість транспортних послуг. Завдяки цій та іншим перевагам проти інших видів транспорту швидкісні й високошвидкісні напрямки руху стають економічно й екологічно чистою складовою частиною світової транспортної системи [1].

Але швидкості руху поїздів по Україні загалом, особливо пасажирських, не відповідають вимогам міжнародних залізничних ліній за своїм технічним станом і насамперед у частині колійного господарства.

Протягом кількох років в Україні експлуатуються швидкісні поїзди типу Інтерсіті(+), але поки що їх курсування не є ефективним, оскільки цей рух пасажирських поїздів не є масовим. Перехід на перевезення пасажирів поїздами Інтерсіті(+) стримується недостатньою кількістю швидкісних поїздів, незручним графіком, високою вартістю проїзду й значною тривалістю поїздки до деяких міст України. Перелічені фактори негативно впливають на впровадження швидкісного руху в Україні й на попит користування ними на транспортному ринку пасажирських перевезень. Сучасний ринок пасажирських транспортних послуг потребує значної швидкості руху, оскільки пасажирів бажають подорожувати в межах України не більше 6 год. На сьогодні сучасні залізничні швидкісні перевезення

не відповідають таким вимогам і на деяких напрямках руху почали програвати на транспортному ринку літакам бюджетних компаній та автобусам класу Люкс.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми підвищення швидкості пасажирських залізничних перевезень в Україні останнім часом широко висвітлюються у працях вітчизняних та іноземних учених, а саме: П. С. Анисимова [1], Г. М. Кірпи [2], І. П. Кисельова [9], О. О. Матвієнка, В. І. Ангелейка, Е. І. Даніленка [11], В. Л. Диканя [14], Є. М. Сича [15] та ін.

І до сьогодні багато аспектів зазначеної проблематики залишаються невирішеними. Але аналіз закордонного досвіду впровадження високошвидкісного руху поїздів дає можливість зробити узагальнені висновки щодо визначення основних експлуатаційно-технічних параметрів залізничної колії і технічних аспектів в експлуатації та розвитку ВШМ на залізницях України.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є вибір раціональних заходів зі зменшення обмежень швидкості, зумовлених станом залізничної колії, що передбачає встановлення раціональної послідовності усунення обмежень швидкості руху поїздів при мінімальних інвестиціях.

**Виклад основного матеріалу.** Зважаючи на досвід європейських залізниць, а саме їх історію, зміцнення конкретних позицій авіаційного та автомобільного транспорту на ринку транспортних послуг на початку 80-х років ХХ сторіччя в державах Західної Європи призвело до зменшення обсягів вантажних і пасажирських перевезень залізницею. Тому порушили питання, яким чином зміцнювати конкурентні позиції залізниць на

транспортному ринку. Ефективним заходом стало створення на підставі досвіду Японії високошвидкісних магістралей (ВШМ).

Першу швидкісну лінію в Європі було побудовано у 1981 році. Вона з'єднала Париж та Ліон. Європейські держави почали працювати над створенням ВШМ. Їх можна умовно поділити на три групи за характерними ознаками розвитку систем:

— в Іспанії система ВШМ повністю ізольована від іншої мережі залізниць;

— у Франції будуються нові ВШМ у складі загальної мережі залізниць;

— у Німеччині та Італії здійснюється комплексна реконструкція залізничних напрямків, яка передбачає будівництво високошвидкісних дільниць у поєднанні з модернізацією і спрямленням наявних ліній для організації високошвидкісного руху [2].

Створення швидкісних залізничних магістралей вимагає принципово нових підходів до забезпечення безпеки функціонування залізниці як комплексної системи. Високий рівень безпеки досягається, зокрема, повним

відокремленням від інших шляхів сполучення. Це включає вартісні витрати на такі заходи: відчуження земельних ділянок, які перебувають у власності та/або у користуванні фізичних або юридичних осіб, земельні та будівельні роботи, будівництво штучних споруд (мости, шляхопроводи, віадуки), верхньої будови колії, пристрої енергопостачання, системи сигналізації та телекомунікації [3, 4].

Але в цілому по мережі залізниць швидкості руху поїздів невисокі, винятком є напрямки Київ – Харків, Київ – Дніпропетровськ, Київ – Одеса, Київ – Львів (рис. 1) [5].

Маршрутна швидкість руху пасажирських поїздів на основних напрямках становить 55-65 км/год порівняно з країнами Західної Європи (рис. 2). Завдяки підвищенню швидкості руху поїздів залізничний транспорт ЄС має перевагу перед авіа- та автотранспортом на відстані перевезень 250-500 км і на рівних конкурує з авіаційним транспортом на відстані перевезень 500-1000 км.



Рис. 1. Схема руху поїздів Інтерсіті(+)

У 2002 році відбулася значна подія в історії залізниць України – був запущений у постійну експлуатацію перший прискорений поїзд в Україні – «Столичний

Експрес», який з'єднав два найбільших міста України – Харків та Київ. Цій події передувала велика робота, до якої причетні багато організацій та окремі фахівці. Для



пуску прискореного поїзда необхідно було насамперед підготувати інфраструктуру та рухомий склад (локомотиви і вагони). З того часу в Україні з'явився новий вид пасажирських поїздів — денні прискорені

поїзди, які стали популярними серед пасажирів. Це дало змогу продовжити роботу з упровадження таких поїздів на УЗ та під час проведення Євро-2012 запустити в експлуатацію Інтерсіті(+) [6].

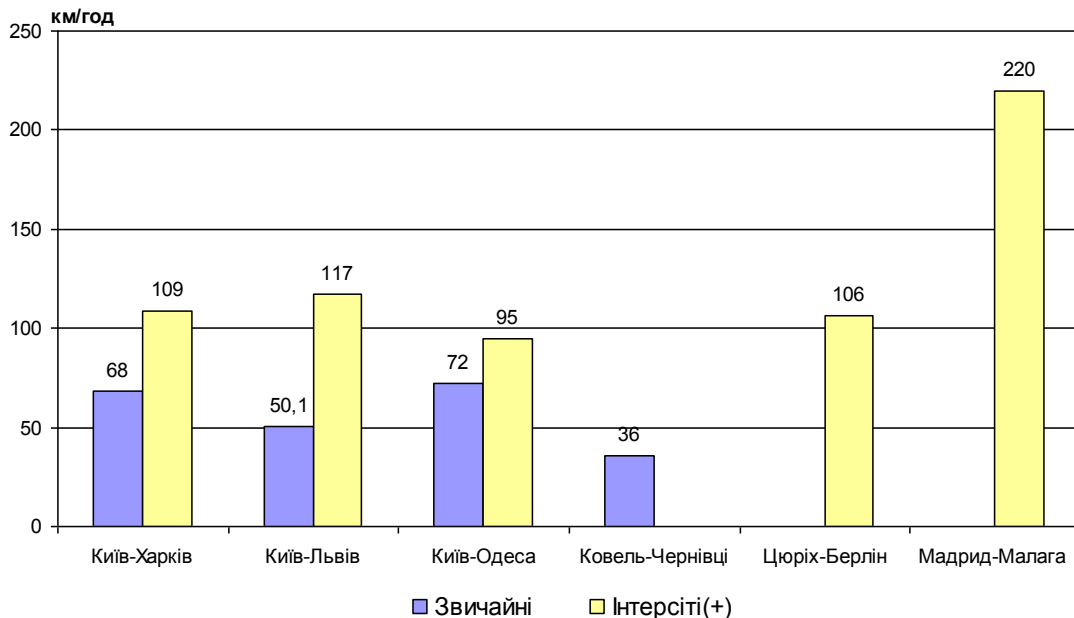


Рис. 2. Середня швидкість поїздів України та ЄС

Ефективність підвищення швидкості руху поїздів характеризується економією не тільки вагоно-годин, але й локомотиво-годин, бригадо-годин, економією або додатковою витратою механічної роботи локомотива на тягу поїздів. Швидкість пов'язана з низкою складних факторів механіки руху, тому ефект різний залежно від способу її підвищення.

Дільнична швидкість може бути підвищена трьома способами, застосованими спільно або роздільно:

- скороченням тривалості стоянки поїздів на проміжних станціях без зміни кількості зупинок;

- зменшенням кількості зупинок при тій же або меншій тривалості кожної стоянки;

- підвищенням ходової швидкості без зміни або з одночасним скороченням кількості і тривалості зупинок поїздів.

Так само збільшення середньої ходової швидкості на напрямку може бути досягнуто підвищенням швидкості прямування на робочій і неробочій частині профілю колії.

Ці способи, забезпечуючи навіть однакове прискорення обороту вагонів, дають різний економічний ефект, який визначається різними витратами, пов'язаними з їх здійсненням.

На першому етапі впровадження високошвидкісного руху час у дорозі пасажирських поїздів зменшували як за рахунок скорочення тривалості зупинок, так і за рахунок зменшення кількості зупинок на шляху прямування. Але цей ресурс зменшився до мінімально можливих величин (Львів – Київ – 3 зупинки з тривалістю від 6 до 12 хв та 4 зупинки по 1 хв або Харків – Київ – 2 зупинки по 2 хв).

Тому удосконалення швидкісного руху полягає не тільки в зменшенні кількості зупинок  $n$  та часу  $t_3$  на проміжних станціях, а й у підвищенні ходової швидкості руху поїзда [7].

Однак проблему підвищення швидкості руху поїздів і шляхи її вирішення звичайно по-різному розуміють інженери, науковці і керівники залізниць. Частково це пов'язано з тим, що на залізничному транспорті використовується кілька основних понять швидкості руху рухомого складу як функцій шляху  $S$ : допустима  $V_d(S)$ , фактична  $V_f(S)$  або визначена тяговим розрахунком  $V_p(S)$ , а також декілька показників середньої швидкості руху поїздів певних категорій по дільниці, лінії, напрямку або виділеному полігоні (середня допустима  $V_{д.ср}$ , ходова  $V_x$ , технічна  $V_t$ , дільнична  $V_{д.л}$  та маршрутна  $V_m$ ).

Швидкість поїзда  $V_p(S)$  розраховується при максимальному використанні потужності тягових засобів, але з урахуванням неперевикнення її допустимої величини, установленої для руху поїздів відповідної категорії. У зв'язку з цим для залежностей швидкості руху поїзда від пройденого шляху справедливе врівноваження  $V_d(S) \geq V_p(S) \geq V_f(S)$ . При цьому допустима швидкість, установлена для руху тієї чи іншої категорії поїздів, є первинною щодо розрахункової швидкості. Зі свого боку, розрахункова швидкість є цільовим орієнтиром для руху поїздів. Виключаючи проміжну ланку в наведеній залежності, не важко встановити, що допустимі швидкості руху поїздів не тільки є первинними і визначають розрахункові швидкості, але й суттєво визначають фактичні швидкості руху поїздів.

Будь-який з показників середньої швидкості руху поїзда математично може бути поданий відповідним функціоналом. Так, середня допустима і фактична швидкість руху може бути визначена таким чином:

$$V_{д.ср} = \left( \int_0^{S_K} V_d(S) dS \right) / S_K, \quad (1)$$

$$V_{ф.х} = \left( \int_0^{S_K} V_f(S) dS \right) / S_K = \frac{S_K}{T_{ф.х}}, \quad (2)$$

де  $S_K$  – повна довжина шляху, пройденого поїздом, км;

$T_{ф.х}$  – фактичний час руху поїзда по дільниці (лінії, напрямку) при безупинному проходженні роздільних пунктів, год.

Так само за розрахунковим часом ходу поїзда по ділянці (лінії, напрямку) під час невинного проходження роздільних пунктів визначається і розрахункова ходова швидкість.

Для розглянутих показників середньої швидкості поїздів справедливе співвідношення  $V_{д.ср}(S) \geq V_{р.х}(S) \geq V_{ф.х}(S)$ .

Аналогічно визначаються й інші показники середньої швидкості руху поїзда залізничним районом, лінією або напрямком [8].

Вирішення питання підвищення швидкості руху поїздів безпосередньо пов'язане з усуненням «бар'єрних» місць. «Бар'єрне» місце означає ділянку чи об'єкт, проходження яких потребує зменшення швидкості руху поїзда. При цьому особливої гостроти набуває проблема підвищення ефективності заходів зі зменшення обмежень і встановлення раціональної послідовності виконання робіт з їх усунення.

Розглянемо поширення обмежень швидкості на дослідному напрямку залізничі загальною відстанню 110 км (рис. 3). Цей напрямок можна умовно поділити на 44 ділянки; 29 ділянок з наявністю «бар'єрних» місць та 15 без них. Для всіх ділянок було визначено такі показники, як відстань, установлені швидкості пасажирських поїздів та бажана середня швидкість (для руху поїздів Інтерсіті(+)). Перелічені показники визначали при наявних обмеженнях швидкості руху поїздів, а також за умови їх скасування або реконструкції. Зважаючи на характеристики ділянок з обмеженнями швидкості, установлено, що збільшення витрат на паливно-енергетичні ресурси відбувається через вплив характеристик профілю та місць розташування ділянок обмеження упродовж перегону.

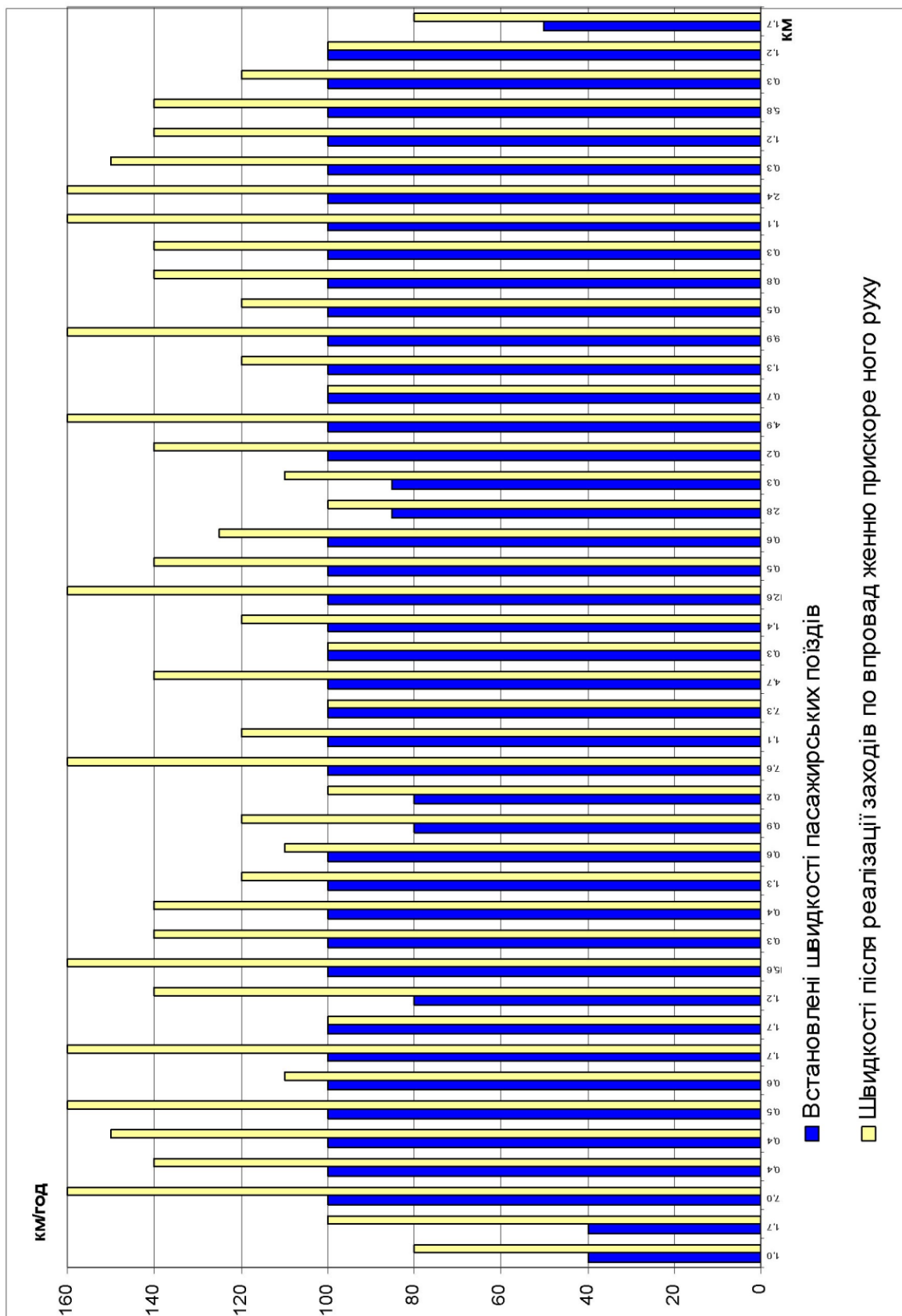


Рис. 3. Швидкості пасажирських поїздів на відповідних ділянках колії дослідного напрямку

На основі обробки статистичного матеріалу встановлено, що понад 70 % становлять обмеження, пов'язані зі станом залізничної колії, серед яких близько 80 % зумовлені залежністю від техніко-експлуатаційних показників елементів колії [9].

На дослідному напрямку з 29 «бар'єрних» місць більшість – це наявність кривих – 23, з них 7 – це криві з  $R < 600$  м та 6 – стрілочні переводи.

За правилами встановлення допустимих швидкостей у кривих ділянках колії за умови неперевищення норми допустимих прискорень швидкість визначається за формулою [10]

$$V = 3.6\sqrt{R(a_n + 0.00613h)}, \quad (3)$$

де  $R$  – фактичний радіус кривої, м;

$h$  – фактичне підвищення або рекомендоване, мм;

$a_n$  – допустиме непогашене прискорення,  $\text{м/с}^2$ .

Допустиме непогашене прискорення для пасажирських поїздів, за умови комфортабельної їзди пасажирів, становить  $0,7 \text{ м/с}^2$ . За цих умов мінімальний радіус кривих для швидкості 220 км/год за формулою буде:

$$R = \frac{V^2}{3.6^2(a_n + 0.00613h)}, \quad (4)$$

$$R = \frac{140^2}{21} = 933\text{м}, \quad (5)$$

$$R = \frac{220^2}{21} = 2305\text{м}. \quad (6)$$

У зв'язку з цим усі радіуси, що менші за  $R = 933$  м, будуть обмежувати швидкість руху пасажирських поїздів Інтерсіті(+), а радіуси, що менші за  $R = 2305$  м, будуть обмежувати досягнення бажаної швидкості  $V = 220$  км/год.

Згідно з [10, 11] звичайні стрілочні переводи, які укладено на дослідній ділянці, з рейок типу Р65 марки 1/11 дають змогу реалізовувати швидкість до 140 км/год по основному напрямку, у той же час зараз швидкість руху по цих переводах обмежується 100 км/год.

У такому разі всі стрілочні переводи, що лежать у головних коліях, повинні бути замінені на швидкісні з безперервною поверхнею кочення на залізобетонних брусах. За необхідності підвищення швидкості руху на бічну колію до  $V=80$  км/год і пропуску по прямому напрямку  $V=140$  км/год у проектах передбачити вкладання стрілочних переводів типу Р 65 марки 1/18 проекту Дн 365 [11].

Якщо виконати дуже складну реконструкцію цієї дільниці, то виграш часу можна буде розрахувати за формулою

$$t_{\Delta x} = \frac{S_{nep}}{V_{xl}} - t_x, \quad (7)$$

де  $S_{nep}$  – довжина ділянки;

$V_{xl}$  – бажана швидкість руху;

$t_x$  – час ходу поїзда.

Після аналітичного інтегрування рівняння руху поїзда час ходу поїзда визначається за формулою

$$t = 60 \sum_{i=1}^n S_i \left( \frac{1}{V_{1i}} - \frac{1}{V_{2i}} \right). \quad (8)$$

Якщо швидкість руху поїзда по ділянці обмежується наказом начальника залізниці, то теоретичний час ходу по цій дільниці буде

$$t_1 = 122 \text{ хв}.$$

При знятті всіх обмежень швидкості, тобто при  $V = 160$  км/год, час ходу теоретичний по цій дільниці буде

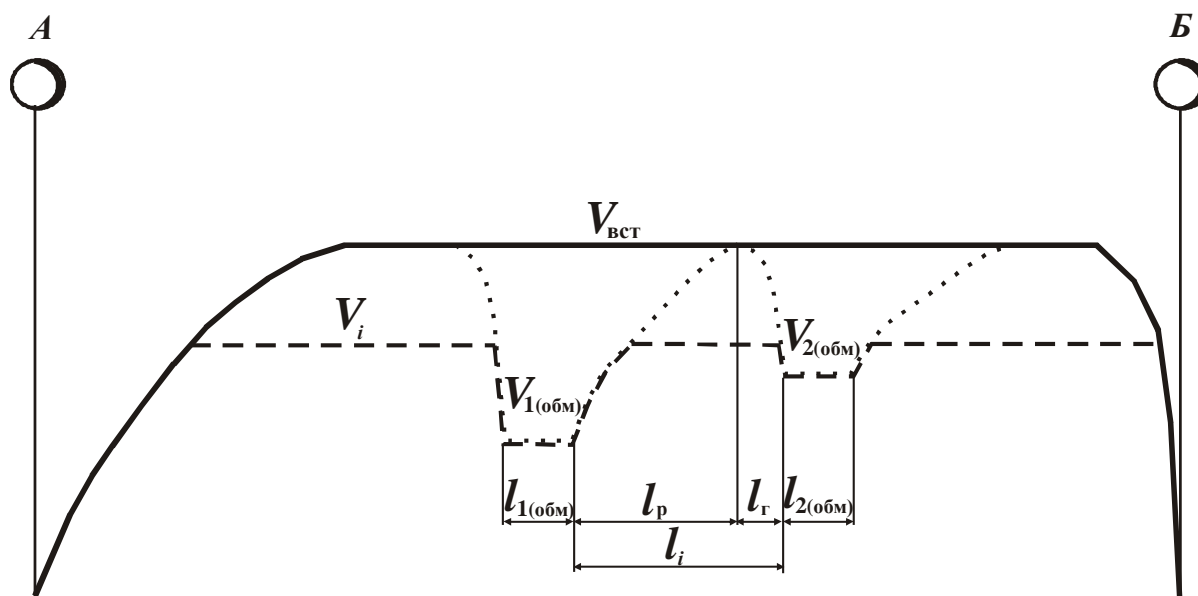
$$t_2 = 91 \text{ хв}.$$

А при реконструкції або будівництві нової дільниці для швидкості  $V=220$  км/год час ходу теоретичний по цій дільниці буде

$$t_2 = 84 \text{ хв.}$$

Таким чином, можливе теоретичне зменшення часу буде 38 хв. Перехід від середньої швидкості 97 км/год до швидкості 120 км/год дає зменшення часу ходу на дільниці довжиною 110 км 15 хв. Перехід від швидкості 120 км/год до швидкості 220 км/год дає зменшення часу ходу на тій же відстані 110 км 26 хв. Подальша оптимізація передбачає

можливість установлення максимально допустимої швидкості не тільки в межах кожного перегону, але й по кожному об'єкту («бар'єрному» місцю). Вирішення такого завдання є складним уже тому, що необхідно розглядати взаємозалежні ділянки. Для таких ділянок характерним є те, що сума зменшення часу руху поїзда, отримана на кожній ділянці після усунення обмеження швидкості руху, не дорівнює виграшу в часі, якщо зняти всі обмеження швидкості (рис. 4). Тобто критерій неадитивний і отримати достовірні дані для оптимізації можна тільки після виконання тягових розрахунків [12].



- \_\_\_\_\_ - встановлена швидкість руху поїзда;
- ..... - допустима швидкість руху поїзда за наявності обмежень;
- --- - фактична швидкість руху ведення поїзда з урахуванням обмежень

Рис. 4. Приклад взаємозалежних ділянок обмеження швидкості

**Висновки.** На підставі викладеного можна зробити висновок про правомірність економічно ефективного підвищення середніх швидкостей руху поїздів шляхом планування допустимих швидкостей поїздів за видами руху на виділених напрямках і полігонах. При цьому повинно здійснюватися розроблення та обґрунтування річних і середньострокових

планів ліквідації обмежень швидкості за критерієм мінімуму залежності експлуатаційних витрат при безумовному неперевищенні ліміту ресурсів і капітальних вкладень, потужності підприємств, що залучаються (з урахуванням їх технічного розвитку), і «вікон», що виділяються для виконання відповідних робіт.

За повідомленням Прем'єр-міністра України, УЗ має намір наступного року збільшити середню швидкість руху поїздів на 1,5 км/год. Досягти такого показника збільшення швидкості залізничники планують за рахунок заміни 127 стрілочних переводів, посилення 14 км кривих ділянок колій. У планах на 2018 рік – реконструкція

300 км колій на напрямках Київ – Одеса і Київ – Львів. Також повинні бути оновлені 309 стрілочних переводів [13]. Тому, модернізація колії та закупівля швидкісного рухомого складу даватимуть змогу зменшити час прямування та підвищити рівень комфорту в дорозі.

### Список використаних джерел

1. Анисимов, П. С. Высокоскоростные железнодорожные магистрали и пассажирские поезда [Текст]: монография / П. С. Анисимов, А. А. Иванов. – М.: ФГОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2011. – 542 с.
2. Залізничі світу в XXI столітті [Текст]: монографія / за заг. ред. Г. М. Кірпи. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. транспорту ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 224 с.
3. Shanming Jia. No difference in effect of high-speed rail on regional economic growth based on match effect perspective? [Text] / J. Shanming, Z. Chunyu, Q Chenglin // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – 2017. – Vol. 106. – P. 144-157.
4. Changmin Jiang, Low cost carrier and high-speed rail: A macroeconomic comparison between Japan and Western Europe [Text] / J. Changmin, L. Xiaoyu // Research in Transportation Business & Management. – 2016. – Vol. 21. – P. 3-10.
5. Схема руху поїздів Інтерсіті+ [Електронний ресурс] : інформація / Українська залізнична швидкісна компанія. – Режим доступу: <http://intercity.uz.gov.ua/> – (Дата звернення: 09.10.2017).
6. Северін, С. В. Збільшення швидкості руху пасажирських поїздів напередодні чемпіонату ЄВРО-2012 [Текст] / С. В. Северін, А. В. Супрун, Д. В. Шумик // Вестник Национального технического университета «ХПИ»: сб. науч. тр. темат. вып.: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – Вып. 58. – С. 103-108.
7. Грунтов, П. С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте [Текст] / П. С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994. – 404 с.
8. Анисимов, В. А. Концепция и принципы повышения допускаемых скоростей движения поездов в рамках полигонных технологий [Текст] / В. А. Анисимов, А. Т. Осьминин, В. В. Анисимов // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 3. – С. 19-25.
9. Киселев, И. П. Высокоскоростные железные дороги [Текст] / И. П. Киселев, К. А. Сотников, В. С. Суходоев. – СПб.: Изд-во Петербург. гос. ун-та путей сообщения, 2001. – 60 с.
10. Тимчасова інструкція з організації швидкісного руху пасажирських поїздів [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2002. – 51 с.
11. Даніленко, Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом [Текст]: підруч. для вищих навч. закладів: у 2 т. / Е. І. Даніленко. – К.: Інпрес, 2010. – Т. 1. – 528 с.
12. Чернишова, О. С. Підвищення ефективності заходів зі зменшення обмежень швидкості руху поїздів, зумовлених станом залізничної колії [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06 / Чернишова Оксана Сергіївна. – Дніпропетровськ, 2010. – 20 с.
13. Укрзалізниця збільшить середню швидкість руху поїздів [Електронний ресурс]: новини / Експрес on LiNe. – Режим доступу: <http://expres.ua/news/2017/10/28/269016-ukrzaliznyuca-zbilshyt-serednyu-shvydkist-ruhu-poizdiv> – (Дата звернення: 28.10.2017).

14. Дикань, В. Л. Забезпечення ефективності інноваційної діяльності підприємств залізничного транспорту [Текст]: монографія / В. Л. Дикань, В. О. Зубенко. — Харків: УкрДАЗТ, 2008. — 193 с.

15. Сич, Є. М. Інноваційноінвестиційний розвиток залізничного транспорту [Текст]: підручник / Є. М. Сич, В. П. Ільчук. — К.: Логос, 2001. — 256 с.

---

Шумик Данило Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-88. E-mail: sdanil@ukr.net.  
Романова Марина Віталіївна, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (050)-288-66-77. E-mail: k413033696@gmail.com.

Shumyk Danylo V. Ph.D., Associate Professor, Department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-88. E-mail: sdanil@ukr.net.  
Romanova Maryna V, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (050)-288-66-77. E-mail: k413033696@gmail.com

Стаття прийнята 20.11.2017 р.

УДК 629.4.027

## **ПЕРСПЕКТИВА РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПІДВИЩЕНОЇ НАПРУГИ**

**Канд. техн. наук П. О. Харламов, магістрант А. В. Федоров,  
старш. викл. О. М. Харламова, викл. О. А. Дзюба**

## **ПЕРСПЕКТИВА РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОВЫШЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

**Канд. техн. наук П. А. Харламов, магистрант А. В. Федоров,  
старш. препод. Е. Н. Харламова, препод. Е. А. Дзюба**

## **THE PROSPECT OF THE DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC TRACTION SYSTEM OF DC HIGH VOLTAGE**

**Cand. of techn. sciences P. Kharlamov, master student A. Fedorov,  
senior lecturer O. Kharlamova, lecturer O Dziuba**

*Залізниці країн СНД здебільшого електрифіковані на постійному струмі при напрузі в контактній мережі 3 кВ. Однак така напруга не є оптимальною ані для обладнання електропостачання, ані для електрорухомого складу. Вона є компромісною та обумовлена вартістю втрат енергії в такій системі й вартістю її обладнання. Підвищення ж напруги в контактній мережі постійного струму в кілька разів дасть змогу суттєво поліпшити техніко-економічні показники системи тяги постійного струму. Нові можливості щодо цього відкриває застосування систем імпульсного перетворення енергії, що усувають безпосередній зв'язок між напругами контактної мережі й тягових двигунів.*

**Ключові слова:** електрифікація, тяга, струм, напруга.

Большинство железных дорог СНГ электрифицировано на постоянном токе при напряжении в контактной сети 3 кВ. Однако такое напряжение не является оптимальным ни для устройств электроснабжения, ни для электроподвижного состава. Оно представляет собой компромиссное решение, определяемое стоимостью потерь энергии в такой системе и стоимостью ее устройств. Повышение же напряжения в контактной сети постоянного тока позволит повысить напряжение в контактной сети в несколько раз, т. е. существенно улучшить технико-экономические показатели системы тяги постоянного тока. Новые возможности в этом отношении открывает применение систем импульсного преобразования энергии, устраняющих непосредственную связь между напряжениями контактной сети и тяговых двигателей.

**Ключевые слова:** электрификация, тяга, ток, напряжение.

The majority of CIS railways are electrified on DC with a voltage in the contact network of 3 kV. However, such a voltage is not optimal either for power supply devices or for electric rolling stock. It is a compromise solution, determined by the cost of energy losses in such a system and the cost of its devices. An increase in the voltage in the contact network of a direct current, for example, up to 6 or 12 kV or more, in order to reduce the energy losses in the system under the existing principles of regulating the operating conditions of the emitter. p.s. leads to a significant increase in the cost of electrical equipment and traction engines. It is characteristic that the noted shortcomings of the DC traction system of 3 kV are due to the fact that there is a direct electrical connection between the voltage of the contact network and the voltage of the traction electrical equipment. If this connection is eliminated and it is possible to regulate voltages on traction engines within wide limits, it will be possible to increase the voltage in the contact network several times to significantly improve the technical and economic performance of the DC traction system. New possibilities in this respect are opened by the use of pulsed energy conversion systems, which eliminate the direct connection between the voltages of the contact network and traction motor. The use of thyristor control of the operating modes of traction motors allows smoothly adjusting in a wide range the voltage applied to the traction motors, regardless of the voltage in the contact network. Perspective are systems in which brushless motors are used as traction motors - asynchronous or synchronous (gate valves). If the DC link traction system raises the voltage in the contact network by 2-3 times, then when using the thyristor control of the traction engine operation, in addition to saving energy during start-up, reducing the number of control equipment, the cost of construction and operation of the power supply system will decrease.

**Keywords:** electrification, traction, current, voltage.

**Вступ.** Удосконалені схеми силової електроніки забезпечують переваги для електричних мереж залізниць. Сьогодні у світі співіснують дві принципово різні системи електрифікації залізниць: системи постійної напруги (в основному на 3 кВ (DC) і 1,5 кВ (DC)) та однофазні системи змінної напруги (в основному 25 кВ при 50 або 60 Гц і 15 кВ при 16/2/3 Гц). Електричні локомотиви для систем живлення постійного струму демонструють більш просте електроустаткування з тяговою машиною постійного струму, а

також трифазними тяговими машинами змінного струму (найчастіше індукційними машинами, ніж синхронними), без проблем з асиметричним навантаженням трифазного живлення, але мають очевидні обмеження на потужність через низьку напругу в контактній мережі. Тому питання, пов'язані з можливістю використання підвищеної напруги в системах постійного струму, носять актуальний характер, особливо з погляду високошвидкісного руху.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У шістдесяті роки минулого століття



в Росії були проведені випробування тиристорно-конденсаторних систем для електрифікації [1, 2]. У сімдесяті роки випробування проводилися в Італії [3] з DC 6 кВ. Однак цей досвід не сприяв появі нової концепції електровозів постійного струму через тогочасний брак потужних ізольованих транзисторів з ізольованим затвором і біполярних транзисторів. Тому найбільш потужні електровози були розроблені для однофазних систем електропостачання змінного струму з номінальною напругою 25 кВ (RMS) відповідно 15 кВ (RMS). Подальше збільшення потужності обмежується ростом обсягу й маси однофазного трансформатора на такому електровозі. Наявність потужних високовольтних IGBT-Транзисторів дала змогу побудувати електроустаткування електровоза змінного струму без низькочастотного важкого трансформатора (50 або 16 2/3 Гц), замінивши його на трансформатори середньої частоти (400 Гц) [4] або (відносно) високої частоти (18 кГц) [5]. Тепер збільшення потужності майбутнього електровоза не обмежується вагою й габаритами трансформатора. Трансформатор, однак, був лише засобом забезпечення інтерфейсу між високою напругою передачі й значно меншою напругою навантаження та виконавчим механізмом для керування швидкістю й потужністю, дозволяючи прості зміни напруги навантаження за допомогою трансформаторних відгалужень, що використовувалися на старих локомотивах.

Сучасні конструкції без трансформатора можливі завдяки спеціальним силовим електронним схемам. Загальні вимоги – це висока вхідна напруга в широкому діапазоні й досить плавні струми, а також можливість рекуперації. Нові технічні рішення без трансформаторів для знижувальних або підвищувальних Dc-Dc-перетворювачів дають змогу збільшити потужність електровозів з використанням постійного струму завдяки зростанню

напруги в контактній мережі значно вище 3 кВ.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою дослідження є визначення технічних аспектів використання систем постійного струму з підвищеним рівнем напруги в контактній мережі до 24 кВ, що дає принципову можливість забезпечити якісне струмо-знімання при високошвидкісному русі.

**Основна частина дослідження.** При швидкісному (200-250 км/год) і високошвидкісному (300 км/год і вище) русі потужність, реалізована тяговими двигунами поїзда, практично дорівнює потужності, що реалізується електровозами великовагового поїзда. При високошвидкісному русі поїздів значно підвищуються тягові навантаження у дротах контактної мережі, тому вважається, що для цього швидкісного режиму необхідна система змінного струму. Проте досвід експлуатації системи електропостачання змінного струму 25 кВ, 50 Гц, застосованої на 24,49 тис. км експлуатаційної довжини, показав, що електрична тяга на змінному струмі викликала нові проблеми: підвищений електромагнітний вплив через з'єднання змінного магнітного поля, асиметричне навантаження фаз живильної 3-фазної мережі, більш складна конструкція електрорухомого складу.

Перспективним напрямом слід вважати створення системи постійного струму високої напруги (до 6 МВт і вище) без істотного збільшення перерізу дротів контактної мережі й без зменшення відстаней між підстанціями. Це досягається завдяки підвищенню напруги мережі. У 1960-ті роки розроблялася система тяги напругою постійного струму 6 кВ [2]. Експериментальна експлуатація електровозів серії EP2 Ризького вагонобудівного заводу (Rīgas Vagonbūves Rūpnīca), модернізованих під цю систему, відбувалася на дослідній ділянці Горі — Цхінвалі. Однак ефективнішою була визнана система тяги на однофазній змінній

напрузі 25 кВ промислової частоти. Водночас на всіх типах вітчизняних електровозів застосовувалися, як правило, спеціалізовані тягові електродвигуни постійного (пульсуючого) струму (ТДП). У системі тяги змінної напруги вони живилися від ртутних, а потім і від напівпровідникових випрямлячів. На низці вітчизняних залізниць застосовується складніша схема електропостачання 2×25 кВ, з додатковим живленням контактної мережі перегонів зі стандартною напругою 25 кВ від автотрансформаторів, що розташовані поруч із залізничним полотном і підключені до мережі 50 кВ. Така схема дає можливість збільшити відстань між тяговими підстанціями удвічі й більше. У Європі створювалися системи тяги на постійному й змінному струмі, включаючи навіть системи тяги на трифазних АТД із трифазною схемою живлення й дводровою контактною мережею. Згодом у Німеччині, Австрії, Швеції й Швейцарії набула поширення система тяги однофазної змінної напруги 15 кВ зниженої частоти 16 2/3 Гц із контакторно-реостатним керуванням універсальними колекторними тяговими двигунами. У 1980-х роках у СРСР також розроблялася компромісна система тяги постійного струму підвищеної енергоефективності з модернізацією контактної мережі 3 кВ. У цьому проекті більшу частину енергії планувалося подавати до контактної мережі від паралельної до неї мережі постачання підвищеної постійної напруги (6 кВ) за допомогою додаткових перетворювачів, розташованих на перегонах поруч із залізничним полотном. Розроблення потужних високовольтних тиристорів і IGBT привело до того, що подальший розвиток електричної тяги багато фахівців почали зв'язувати з поверненням до системи з постійною напругою, але при його підвищенні до 12 кВ і навіть до 24 кВ. Такі напрацювання мають США, Італія,

Росія й інші країни. Зокрема італійські фахівці вважають, що система електричної тяги постійної напруги 12 кВ економічно вигідніша, ніж більшість наявних систем тяги на змінній напрузі. Одна з можливих силових схем електровоза з підвищеною постійною напругою живлення й АТД у спрощеному вигляді подана на рисунку.

На сучасних високовольтних тиристорах такий варіант схеми може бути реалізований для роботи при напрузі живлення до 12 кВ і вище. Можливе й створення схеми з універсальним живленням від постійної напруги 3-12 кВ. При впровадженні систем електричної тяги постійного струму підвищеної напруги основний приріст енергоефективності повинен досягатися завдяки застосуванню інверторного привода на електровозах і ефективних багатоімпульсних випрямлячів напруги на тягових підстанціях. За такої умови буде усунена низка відомих недоліків систем змінного струму, серед яких відзначимо такі: низький коефіцієнт потужності, наявність вищих гармонік, асиметричність навантаження фаз у живильній трифазній мережі, наявність нейтральних вставок (НВ) завдяки живленню перегонів, що прилягають до підстанції від різних фаз. Згадана обставина потребує підвищеної уваги машиніста при необхідному відімкненні живлення при під'їзді до НВ. Відімкнення, що відбудеться пізніше, загрожує появою електричної дуги з можливістю пошкодження контактної підвіски; раннє відімкнення здатне спричинити істотну втрату швидкості й навіть зупинку поїзда. Система тяги постійного струму підвищеної напруги дасть змогу застосувати високовольтні АТД, у яких зменшено пускові й номінальні струми й зменшено витрату міді. Такі потужні асинхронні електродвигуни з номінальними напругами до 6 кВ дуже поширені в гірничодобувній та інших галузях промисловості.

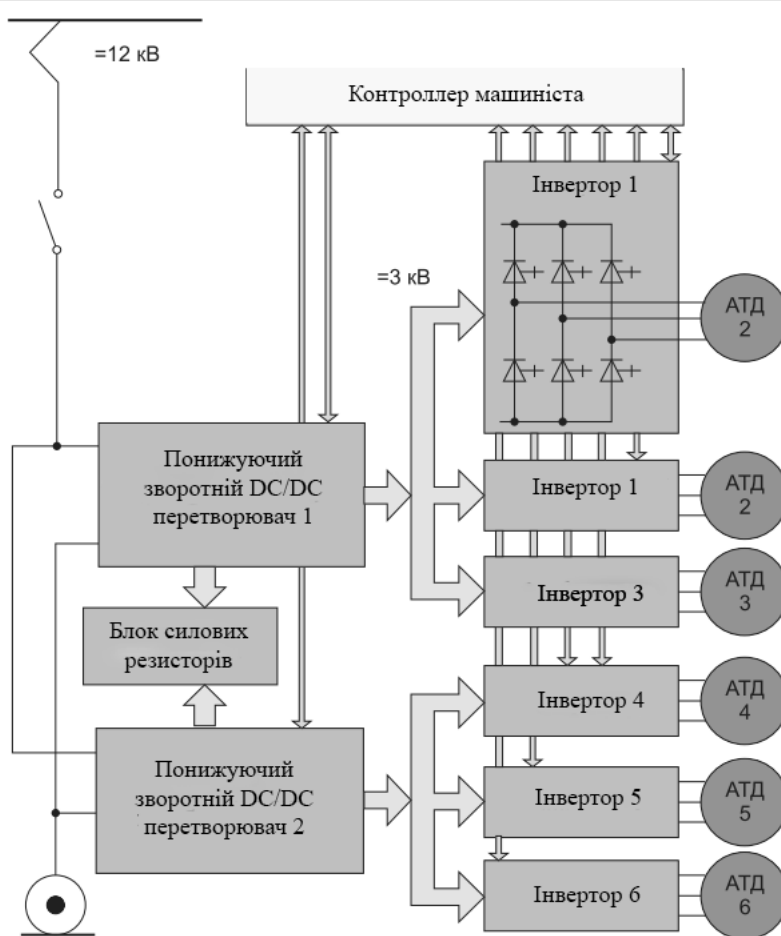


Рис. Можлива структурна схема перспективного електровоза з живленням підвищеною постійною напругою

Послідовне увімкнення високовольтних IGBT при використанні захисних ланцюгів дасть змогу живити інвертори безпосередньо напругою контактної мережі. У схемі такого привода не потрібні знижувальні DC/DC-перетворювачі. Наявність на сучасних залізницях Євросоюзу декількох стандартів напруги тягової мережі (1,5 і 3 кВ DC, а також 15 кВ, 16 2/3 Гц і 25 кВ, 50 Гц AC) призводить до того, що виробники електропоїздів, зокрема швидкісних, змушені випускати дво-, три- і навіть чотирисистемні поїзди на всі типи напруги, що застосовується. Автоматизоване переведення на ходу з однієї системи тяги на іншу забезпечується перекомутацією силового устаткування

електровоза з підняттям/опусканням відповідного пантографа (змінного або постійного струму). Одночасно здійснення високошвидкісного залізничного руху потребує будівництва спеціального виділеного полотна й створення високошвидкісних локомотивів. Природно, що для таких проектів більш придатна концепція системи тяги постійного струму підвищеної напруги. Слід також зазначити, що модернізація контактної мережі з переходом від одного виду струму до іншого на активній ділянці залізниці видається доволі складним завданням на перший погляд. Проте у 1995 році в Росії вперше у світовій практиці на ділянці Східно-Сибірської залізниці довжиною

400 км був зроблений перехід мережі з постійної напруги 3 кВ на змінну напругу 25 кВ без істотних перерв у русі поїздів. Аналогічні приклади є й у Євросоюзі.

**Висновки.** З розробленням і виробництвом системи електричної тяги постійного струму підвищеної напруги 12 кВ

почнеться новий етап у розвитку електричної тяги з підвищеними техніко-економічними показниками. Швидкісний рух зі швидкостями до 250-280 км/год може бути здійснено при наявній системі електропостачання постійного струму 3,0 кВ.

### *Список використаних джерел*

1. Розенфельд, В. О. Применение постоянного тока высокого напряжения для электрической тяги [Текст] / В. О. Розенфельд, В. О. Шевченко, В. А. Майбога // Железнодорожный транспорт. – 1962. – № 7. – С. 35-39.

2. Система электрической тяги постоянного повышенного напряжения с тиристорными преобразователями на подвижном составе [Текст] / В. Е. Розенфельд, В. В. Шевченко, В. А. Майбога, Г. П. Долаберидзе // Электрическая и тепловозная тяга. – 1968. – № 3. – С. 4-6.

3. Kim J. Modeling, Control, and Design of Input-Series-Output-Parallel- Connected Converter for High-Speed-Train Power System [Text] / Jung-Won Kim, Jung- Sik You, B. H. Cho // IEEE transactions on power electronics. 2001, Vol. 48, № 3.

4. Hugo N., Stefanutti P., Pellerin M.: Power Electronics Traction Transformer [Text] // Proc. EPE07, Aalborg, 2007, CD; file 0715.pdf.

5. Steiner M., Reinold H.: Medium Frequency Topology in Railway Applications [Text] // Proc. EPE 07. Aalborg, 2007, CD, file 0585.pdf.

---

Харламов Павло Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99.  
E-mail: kharlamov.erps@gmail.com.

Федоров Артем Вікторович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: artem\_92@icloud.com.

Харламова Олена Миколаївна, старший викладач кафедри іноземних мов Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: elenazinchenko0406@gmail.com.

Дзюба Олена Анатоліївна, викладач кафедри іноземних мов Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: dziubaelena8@gmail.com.

Kharlamov Pavlo, Ph.D., lecturer of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-99. E-mail: kharlamov.erps@gmail.com.

Fedorov Artem, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: artem\_92@icloud.com.

Kharlamova Olena, Senior lecturer of foreign languages, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: elenazinchenko0406@gmail.com.

Dziuba Olena, lecturer of foreign languages, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: dziubaelena8@gmail.com.

Стаття прийнята 21.11.2017 р.

УДК 656.2.072

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТА ОРГАНІЗАЦІЇ ШВИДКІСНОГО РУХУ

Канд. техн. наук Л. І. Рыбальченко, магістрант О. В. Нерівня

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ОРГАНИЗАЦИИ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Канд. техн. наук Л. И. Рыбальченко, магистрант О. В. Неровня

## JUSTIFICATION OF A CHOICE OF AN OPTIMUM VARIANT OF THE ORGANIZATION OF HIGH-SPEED MOVEMENT

Cand. of techn. sciences L. Rybalchenko, master O. Nerivnia

*Одним з важливих питань, які потребують розв'язання, є підвищення рівня конкурентоспроможності та збільшення доходів від пасажирських перевезень на залізничному транспорті. Тому знаходження нових рішень для удосконалення швидкісних пасажирських перевезень є значущим для сучасної роботи залізниць. У роботі пропонується порушити питання комплексної оцінки ефективності різних варіантів організації швидкісних пасажирських перевезень.*

**Ключові слова:** пасажирські перевезення, швидкісний рух, оптимізація, технологія.

*Одним из важных вопросов, требующих решения, является повышение уровня конкурентоспособности и увеличения доходов от пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте. Поэтому нахождение новых решений для совершенствования скоростных пассажирских перевозок является значимым для современной работы железных дорог. В данной работе предлагается рассмотреть вопрос комплексной оценки эффективности различных вариантов организации скоростных пассажирских перевозок.*

**Ключевые слова:** пассажирские перевозки, скоростное движение, оптимизация, технология.

*One of the important issues that need to be addressed is to increase the level of competitiveness and increase revenue from passenger transport by rail. Therefore, finding new solutions to improve high-speed passenger traffic is significant for the modern operation of railways.*

*One of the important indicators of the operational work of railways is passenger turnover. When analyzing the statistics of passenger turnover, it was found that in 2014 and in 2015 its number decreased compared to 2013, and in 2016 and early 2017 there was a tendency of growth in its volumes, therefore, the issue of organizing high-speed passenger traffic is significant.*

*In this paper, it is proposed to consider the issue of a comprehensive assessment of the effectiveness of various options for organizing high-speed passenger transportation. To substantiate the choice of the optimal version of the organization of high-speed traffic in the chosen direction, a problem with an optimality criterion is formulated.*

**Keywords:** passenger transportation, high-speed traffic, optimization, technology.

**Вступ.** На даному етапі роботи залізниць в Україні нема високошвидкісного руху, на відміну від багатьох країн світу, в яких він вже довів свою економічну ефективність за досить тривалий час [10]. Щоб визначитися з доцільністю його впровадження на вітчизняних залізницях, необхідно удосконалити наявні технології та методи розрахунку кількості пасажирів, які будуть курсувати у поїздах з високошвидкісним та швидкісним рухом, напрямку руху, раціональних маршрутів для майбутніх швидкісних поїздів. Отже, розв'язання питання щодо удосконалення швидкісних пасажирських перевезень в умовах визначення раціональних маршрутів прямування на сьогодні є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значна увага приділена удосконаленню організації пасажирських перевезень залізничним транспортом у роботах багатьох учених та практиків. Ними запропоновано напрямки вдосконалення існуючих технологій, використання нових технологій та методів для системи пасажирських перевезень. У роботі [1] теоретично розглянуто сучасний стан пасажирських перевезень та пропонується визначати раціональні зони курсування денних швидкісних поїздів та прискорювати час їх руху. Розроблено методичний підхід і досліджено питання стосовно формування заходів щодо визначення економічної доцільності впровадження швидкісного та високошвидкіс-

ного руху в Україні у роботі [6]. В результаті аналізу було виявлено, що ще існують деякі аспекти, які не було враховано, але вони мають суттєве значення.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою роботи є удосконалення технології організації швидкісних пасажирських перевезень на основі формалізації вибору маршрутів їх курсування. Для досягнення поставленої мети були поставлені такі завдання дослідження:

– провести аналіз статистики пасажирських перевезень за декілька останніх років, зокрема пасажирообігу та доходів від пасажирських перевезень;

– для визначення оптимального варіанта організації швидкісного руху розробити оптимізаційну модель на основі генетичного алгоритму.

**Основна частина.** Як відомо, одним із важливих показників експлуатаційної роботи залізниць є пасажирообіг. При аналізі статистичних даних пасажирообігу було виявлено, що у 2014 та у 2015 роках його кількість зменшилася у порівнянні з 2013 роком, а у 2016 році та на початку 2017 намітилася тенденція зростання його обсягів (рис. 1) [3]. За 10 місяців 2016 року регіональними філіями Укрзалізниці було перевезено 369,1 мільйона пасажирів, що на 0,6 % більше, ніж за 10 місяців 2015 року. У далекому сполученні – 72,3 мільйона пасажирів (на 11,2 % більше порівняно із аналогічним періодом минулого року) [4].

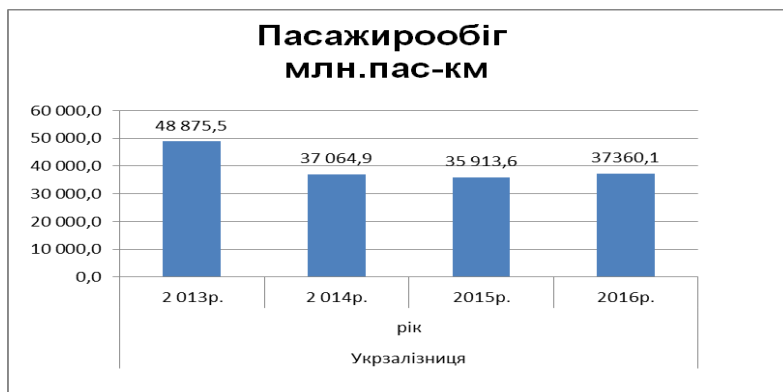


Рис. 1. Пасажирообіг за 2013-2016 роки на Укрзалізниці, млн пас. км

Але все ж таки ще спостерігаються збитки від пасажирських перевезень. Навіть найуспішніший напрямок діяльності у пасажирському секторі – швидкісне

сполучення – не дає компанії прибутку. Українська залізнична швидкісна компанія (УЗШК) збиткова так само, як і приміський та міжміський сектор, рис. 2 [9].



Рис. 2. Доходи і витрати Укрзалізниці від пасажирських перевезень, млрд грн

Для подальшого підвищення зростання пасажирських перевезень та конкурентоспроможності залізниць, підвищення доходів від їх виконання необхідним є створення нових умов виконання перевезень, технологій, методик [5,7,8]. У роботі пропонується розглянути питання комплексної оцінки ефективності різних варіантів організації швидкісних пасажирських перевезень. Для обґрунтування вибору оптимального варіанта організації швидкісного руху на обраному напрямку сформульована задача з критерієм оптимальності

$$\sum_{t=0}^{T_{ok}} \frac{D_t - V_t^k - V_t^p}{(1 + e_t)^t} \rightarrow opt$$

при обмеженнях  $V_t^p < D_t$ ;

де  $D_t$  – сумарні доходи від організації швидкісних (високошвидкісних) пасажирських перевезень і допоміжної діяльності за період часу  $T_{ok}$ , приведений до теперішнього часу;

$V_t^k$  – сумарні капітальні витрати на спорудження та реконструкцію існуючої інфраструктури для організації швидкісного або високошвидкісного руху;

$V_t^p$  – сумарні експлуатаційні витрати на рух поїздів і утримання інфраструктури;

$T_{ok}$  – термін окупності проекту, р.;

$e_t$  – норма дисконту в  $t$ -й рік.

Для швидкості розрахунку при великій кількості даних для кожного напрямку пропонується застосувати математичний метод генетичних алгоритмів, який надасть можливість знаходити оптимальний результат за досить короткий проміжок часу [2]. Залежність значень цільової функції від кількості ітерацій генетичного алгоритму в результаті його роботи наведено на рис. 3.

**Висновки.** На основі проведення аналізу статистичних показників виявлено, що питання удосконалення швидкісних пасажирських перевезень в умовах визначення раціональних маршрутів

прямування на даний час є актуальним. Для його вирішення сформульована задача з

критерієм оптимальності та запропоновано метод її розв'язання.

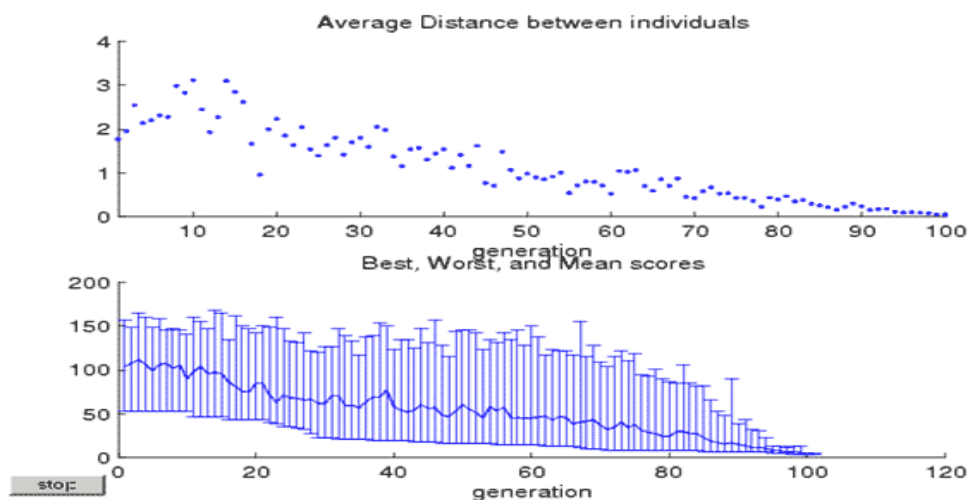


Рис. 3. Залежність значень цільової функції від кількості ітерацій генетичного алгоритму

### Список використаних джерел

1. Божок, Н. О. Напрямки впровадження швидкісних пасажирських перевезень в Україні [Текст] / Н. О. Божок // Зб. наук. праць ДНУЗТ. Проблеми економіки транспорту. – 2013. – Вип. 5. – С. 46-56.
2. Данько, М. І. Оптимізація використання порожнього парку вагонів за допомогою генетичних алгоритмів [Текст] / М. І. Данько, О. В. Лаврухін, Л. І. Рибальченко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 122. – С. 7-12.
3. Держстат України: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2005/tz/tz\\_rik/tz\\_u/ts\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2005/tz/tz_rik/tz_u/ts_u.htm).
4. Доходи і збитки Укрзалізниці в інфографіці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://24tv.ua/dohodi\\_i\\_zbitki\\_ukrзалізниць\\_v\\_infografitsi\\_n751828](https://24tv.ua/dohodi_i_zbitki_ukrзалізниць_v_infografitsi_n751828).
5. Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України ЦД-0040 [Текст]: затв. наказом Укрзалізниці № 170-Ц від 05.04.2002. – Вид. офіц. – К.: Транспорт України, 2002. – 164 с.
6. Момот, А. В. Методичні підходи до визначення ефективності курсування швидкісних та високошвидкісних поїздів [Текст] / А. В. Момот // Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ. – 2013. – № 6. – С. 45-62.
7. Рибальченко, Л. І. Пасажирські перевезення на залізницях України [Текст] /Л. І. Рибальченко, Ю. В. Уріна // Тези доп. III Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, аспірантів [“Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика”] (м. Маріуполь, 11-12 травня 2017 р.). – Маріуполь, 2017. – С. 128.
8. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [Текст]: розпорядження Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1555-р. – К., 2002. – С. 7-12.



9. У розпалі реформ: Укрзалізниця в питаннях і цифрах [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mind.ua/publications/20171044-u-rozpali-reform-ukrzaliznicya-v-pitannayah-i-cifrah>.

10. Zhou, X. Bi-criteria train scheduling for high-speed passenger railroad planning applications [Text] / X.Zhou, M.Zhong // European Journal of Operational Research. – 2005. – №167(3). – P. 752-771.

---

Рибальченко Лілія Ігорівна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-88. E-mail: ryb\_lili@ukr.net.  
Нерівня Олег Владиславович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: madlegin@icloud.com.

Rybalchenko Liliia Igorivna, PhD. Of tehn. Sciences, Associate Professor of Management of operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-88. E-mail: ryb\_lili@ukr.net.  
Nerivnia Oleh, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport.  
E-mail: madlegin@icloud.com.

Стаття прийнята 23.11.2017 р.

УДК 656.072-05

### **ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ПАСАЖИРСЬКОЇ ГАЛУЗІ ШВИДКІСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**Кандидати техн. наук О. М. Костенніков, Г. С. Бауліна, асист. Г. Є. Богомазова, магістранти Д. В. Нікішин, М. В. Панкратов**

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДЖОРОЖНОЙ ПАССАЖИРСКОЙ ОТРАСЛИ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОВ**

**Кандидаты техн. наук А. М. Костенников, А. С. Баулина, ассист. А. Е. Богомазова, магистранты Д. В. Никишин, М. В. Панкратов**

### **PROSPECTS IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE RAILWAY PASSENGER SECTOR OF HIGH SPEED TRANSPORTATIONS**

**Phd. tehn. O. Kostennikov, Phd. tehn. G. Baulina, assist. G. Bogomazova, masters D. Nikishyn, M. Pankratov.**

*Закономірності статистичних транспортних епіциклів, виявлені в аналітичному вигляді, залишаються справедливими також при глобальному зниженні пасажирських перевезень в Україні. Для цього необхідно лише скорегувати величину емпіричних постійних, що входять у формули. Аналіз дослідження величини пасажиропотоку при швидкісному русі довів, що в Україні дійсно є зростаючий попит на такі перевезення, особливо на певних напрямках. Тому успіх розвитку цієї галузі перевезення залежить від ухвалення важливих документів державного рівня.*

**Ключові слова:** *пасажирські перевезення, перспективи швидкісних поїздів, ефективність.*

*Закономерности статистических транспортных эциклов, обнаруженные в аналитическом виде, остаются справедливыми также при глобальном сокращении пассажирских перевозок в Украине. Для этого необходимо лишь скорректировать величину эмпирических постоянных, входящих в формулы. Анализ исследования величины пассажиропотока при скоростном движении доказал, что в Украине действительно есть растущий спрос на такие перевозки, особенно на определенных направлениях. Поэтому необходимо развивать эту отрасль перевозок, но без решений на уровне государства, без важных государственных документов ничего не будет.*

**Ключевые слова:** *пассажирские перевозки, спрос, перспективы скоростных поездов, эффективность.*

*As a result of the conducted research it can be concluded that in Ukraine only speeding up of passenger transportation is gaining momentum. The analytical foundations of statistical transport epicycles remain valid also with the global reduction of passenger traffic in Ukraine, for this it is only necessary to adjust the magnitude of the empirical constants included in the formula. An analysis of the study of the amount of passenger traffic in high-speed traffic has shown that there is a growing demand for such transport in Ukraine, especially in certain directions. Therefore, it is necessary to develop this transportation industry, but without decisions at the state level, there will be nothing without important state documents. There should be a clear plan for the development of high-speed traffic, and, possibly, in the future and high-speed. Of course, there is a need for a comprehensive solution to issues related to infrastructure, rolling stock manufacturing, investment, etc.*

**Key words:** *passenger transportation, demand, the prospects of high-speed trains, efficiency.*

**Вступ.** З часу виникнення залізниць пройшло вже майже два століття. Залізничний транспорт подолав довгий еволюційний шлях розвитку від ручної тяги масивних вагонеток до сучасних високошвидкісних експресів, що діють за принципом магнітної левітації, які вже стали звичним явищем для багатьох країн світу.

Усе більш широкої популярності у світі набуває новий напрям у розвитку традиційних залізниць – високошвидкісний залізничний транспорт. Завдяки створенню високошвидкісних сполучень залізниця багатьох країн отримують друге «дихання», і після деякого спаду залізничний транспорт знову переживає бурхливе піднесення. Завдяки високій швидкості і комфорту високошвидкісні поїзди завоювали широке визнання у населення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Концепцією [1] передбачається створення в Україні мережі швидкісних залізничних магістралей для сполучення

столиці України з великими обласними та промисловими центрами, а також з країнами Західної Європи та СНД. Сьогодні залізниця вже не повною мірою відповідають сучасним вимогам, які висуваються до транспорту, насамперед щодо тривалості поїздок. Максимальна дозволена швидкість руху пасажирських поїздів на залізницях залишається невисокою порівняно з європейськими залізницями. Аналіз обсягів перевезень пасажирів [2] довів, що одним із напрямків забезпечення подальшого зростання кількості перевезень є збільшення швидкостей руху пасажирських поїздів.

Проведений аналіз перевезення пасажирів швидкісними поїздами на мережі залізниць показав, що ефективність використання швидкісних перевезень залежить від попиту на швидкісні поїзди, тому необхідне впровадження цих перевезень на тих напрямках, де велика транспортна рухливість населення у поєднанні з їх платоспроможністю з

урахуванням мінімальних експлуатаційних витрат залізниці [3]. Перспективи розвитку та підвищення ефективності функціонування залізничної галузі за рахунок упровадження швидкісного залізничного руху, визначивши результативність їх функціонування для економіки країни, розглядається в роботі [4].

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою дослідження є визначення раціональних варіантів перевезення пасажирів при підвищенні швидкості руху поїздів.

Завданням є дослідження перспективи підвищення ефективності функціонування залізничної пасажирської галузі швидкісних перевезень, а також визначення закономірностей статистичних транспортних епіциклів при глобальному зниженні пасажирських перевезень в Україні.

**Основна частина дослідження.** Проектування і будівництво високошвидкісних магістралей набуває у всьому світі все більших масштабів. Їх експлуатація приносить залізницям значні доходи, забезпечує високий рівень рентабельності і швидко окупність капіталовкладень.

Досвід експлуатації високошвидкісного залізничного транспорту ряду зарубіжних країн свідчить про те, що економічно ефективний пасажиропотік, який припадає на ВШМ, не повинен бути меншим ніж 5-6 млн люд на рік. Очевидно, що аналіз реального прогнозу соціально-економічного розвитку агломерацій, які тяжіють до ВШМ, і очікувана величина пасажиропотоку на основних напрямках організації високошвидкісного руху поїздів залишаються основними завданнями в галузі досліджень щодо впровадження високошвидкісних залізничних магістралей.

Для України найбільш актуальними питаннями на теперішній час є організація швидкісного пасажирського руху, розбудова міжнародних транспортних коридорів з урахуванням вектора національної політики на Схід-Захід; формування вітчизняної логістично-

транспортної системи; об'єднання з іншими суб'єктами транспортної мережі при формуванні єдиної транспортної системи України. Ці проблеми неодноразово ставали об'єктом дослідження науковців.

Зменшення перебування пасажирів на шляху прямування – актуальна проблема для всіх видів транспорту. На залізничному транспорті зниження часу поїздки можливе за рахунок зменшення кількості і тривалості стоянок поїздів на шляху прямування, підвищення ходової швидкості пасажирських поїздів або реалізації комплексу цих заходів.

Підвищити швидкість руху можна як на діючих лініях при пропуску змішаного потоку пасажирських і вантажних поїздів, так і шляхом спорудження спеціалізованих високошвидкісних магістралей при пропуску тільки пасажирських поїздів. Однак при русі швидкісних пасажирських поїздів у змішаному потоці погіршуються умови пропуску як звичайних пасажирських поїздів, так і вантажних, через що виникають додаткові зупинки при обгонах. Це у свою чергу знижує пропускну спроможність лінії. Таким чином, чим вища швидкість руху пасажирських поїздів на лінії, тим менше можна пропустити вантажних і тим вищі експлуатаційні витрати на їх переміщення.

Світовий досвід країн показує, що найбільшу швидкість руху можна реалізувати при організації високошвидкісного руху поїздів на спеціалізованих високошвидкісних магістралях. Однак будівництво ВШМ і спеціалізованого рухомого складу потребує значних капіталовкладень, що обчислюються мільярдами доларів. Інвестування в такому обсязі не завжди можливе. У цьому випадку як альтернативний варіант можна розглядати організацію швидкісного пасажирського руху на лініях з поєднаним рухом вантажних і пасажирських поїздів: до 140-160 км/год після капітального ремонту колії й до 200 км/год на реконструйованих лініях.

За наявними прогнозами швидкісний рух у найближчому майбутньому може охопити значно ширший сектор пасажирських перевезень, ніж високошвидкісний, так як його організація не пов'язана з будівництвом нової лінії, хоча й потребує істотних витрат на реконструкцію. У деяких випадках реалізацію швидкісного руху пропонують розглядати як етап перед організацією високошвидкісного руху на одному й тому ж напрямку. З викладеного вище випливає, що питання підвищення швидкостей руху пасажирських поїздів при організації як швидкісного, так і високошвидкісного руху, потребує більш глибокого вивчення.

Упровадження швидкісних і прискорених поїздів тісно пов'язане з ім'ям Георгія Кірпи. Один вагон денного поїзда (68 місць) на більшості напрямків може перевезти у 2,5 рази більше пасажирів, ніж плацкартний (54 місця) за рахунок повного обороту за добу. Це істотно покращує економіку перевезень. Програма запуску швидкісного руху почалася в липні 2002 року із запуском швидкісного поїзда Київ-Харків.

До 2002 року пасажирські поїзди в Україні не рухалися швидше ніж 120 км/год, незважаючи на те, що всі пасажирські локомотиви і вагони сконструйовані відповідно до галузевого стандарту на швидкість руху до 160 км/год.

Для їх запуску було проведено суттєву реконструкцію інфраструктури, у тому числі електрифікація, збільшення радіуса кривих, перекладення колії, упровадження стрілок з безперервною поверхнею кочення.

Відповідно до прийнятої в країнах Європи та СНД практики, рух пасажирських поїздів зі швидкістю до 140 км/год може відбуватися на існуючих лініях поруч із вантажним рухом. У той же час ділянки, призначені для пропуску швидкісних поїздів зі швидкістю 161-200 км/год, повинні, як правило, звільнятися від вантажного руху для

запобігання руйнуванню головної колії через надзвичайне навантаження на неї.

Для пропуску зі швидкістю 200 км/год локомотивів і вагонів звичайного типу мінімальний радіус кривої повинен становити не менше 1910 м. Тим часом, на більшості кривих на напрямках, де намічений пропуск швидкісних поїздів, їх радіус становить 500-700 м. Збільшити радіус до 1910 м можна тільки в окремих місцях, а в більшості випадків довести його до нормативів неможливо. Рішенням є спеціальний рухомий склад з примусовим нахилом кузова в кривих. У напрямку швидкісного руху залізниця сьогодні перетинається з автомобільними дорогами здебільшого на одному рівні (~ 87 %).

Найбільшою проблемою на сьогоднішній день є те, що з урахуванням чотирирічної діяльності ДП «УЗШК» настав період важких видів ремонту, і всі сили кинуті на якісну підготовку до цього.

В Україні високошвидкісний рух (до 300 км/год) навряд чи буде можливий у близькому майбутньому. Справа в тому, що для таких швидкостей потрібна окрема лінія, де руху поїздів не заважатимуть ні перетини з іншими магістралями (хіба що через тунель або шляхопровід), ні велика кількість поворотів малого радіуса. Її будівництво, виходячи з міжнародного досвіду, коштуватиме кілька десятків, якщо не сотень, мільярдів доларів. Наприклад у Китаї вартість будівництва одного кілометра такої траси становить \$ 10-20 млн.

Розвинена залізнична інфраструктура – одна з небагатьох переваг, якими ще володіє Україна. Згідно зі звітом про глобальну конкурентоспроможність [5] за критерієм оцінки залізничної інфраструктури наша країна посідає 25-те місце у світі (рис. 1), випереджаючи сусідні Росію (26-те) і Польщу (55-те). Якість залізничної інфраструктури оцінюється світовими економістами на рівні 4,3 бали, що перевищує середній показник, із 7 можливих. Але хронічна нестача грошей

на модернізацію з кожним роком робить вітчизняні залізничні перевезення все менш конкурентоспроможними.

За чотири роки роботи ДП «УЗШК» пасажир прийняв швидкісний рух і вимагає подальшого розвитку.

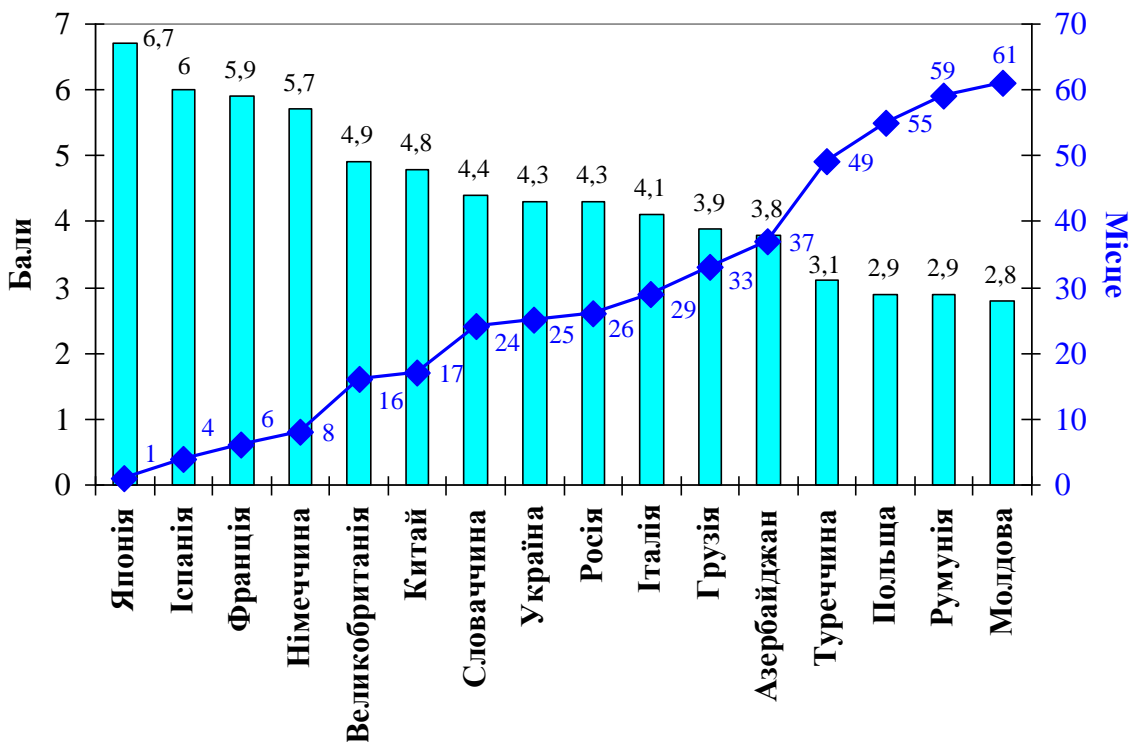


Рис. 1. Оцінка якості залізничної інфраструктури різних країн та місце, що вони посідають у світовому рейтингу

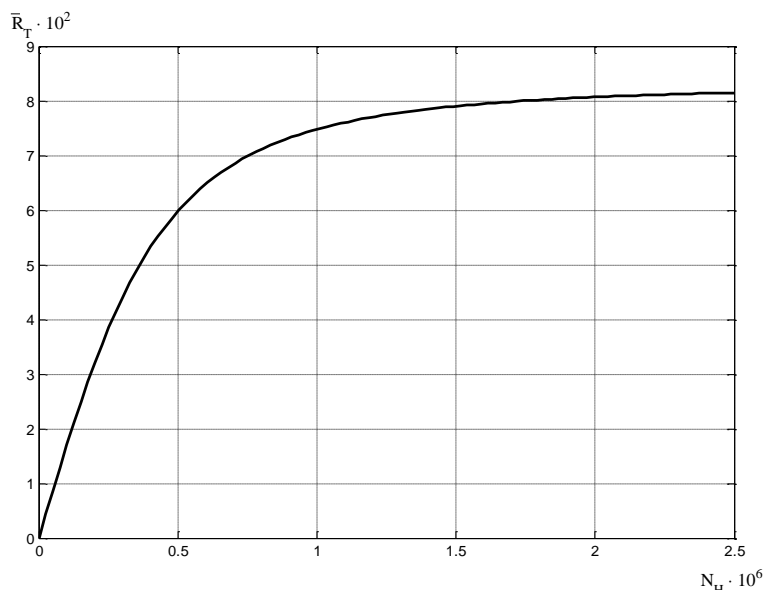
За час існування швидкісних пасажирських перевезень відбулося суттєве підвищення їх ефективності. У першу чергу за рахунок оптимізації курсування швидкісних пасажирських поїздів, перегляду періодичності курсування та регулювання графіків поїздів відповідно до попиту населення.

Для ефективного курсування швидкісних поїздів проведено аналіз факторів, що впливають на раціоналізацію впровадження поїзда у певному напрямку. Для моделювання транспортно-пасажирської взаємодії територій проаналізовано формування пасажиропотоків у транспортній системі. Розглянуто динамічну модель

пасажироутворення, яка відображає загальні закономірності попиту на транспортні послуги мешканців виділених територій. На основі обробки даних знайдена узагальнена залежність рухливості населення  $\bar{R}_T$  від кількості населення міста  $N_n$  (рис. 2), яку можна описати аналітичною залежністю

$$\bar{R}_T(N_n) = \frac{aN_n}{\sqrt{1 + bN_n^2}}, \quad (1)$$

де  $a$  і  $b$  – параметри, які визначаються з проведених досліджень.

Рис. 2. Залежність транспортної рухливості  $\bar{R}_T$  від кількості населення міста  $N_H$ 

Досліджено в аналітичній формі закономірності нерівномірностей у часі  $t$  пасажиропотоків, тобто функції  $F(t)$ , що характеризує відношення обсягу перевезень у цей час до середнього його значення в розглянутому транспортному статистичному епіциклі. Нерівномірність пасажиропотоку (зміна в часі кількості пасажирів) може завдавати значних збитків транспортному підприємству при неузгодженні ритму роботи пасажирського транспорту зі структурою транспортної системи і попитом на транспортні послуги. Явище нерівномірності притаманне пасажирським перевезенням і його не можна не враховувати, тому вивчення його властивостей є основою для підвищення ефективності транспортного процесу. Надаючи транспортні послуги, підприємство може досягти високої економічної та соціальної ефективності лише тоді, коли існує адаптація транспортного процесу до змін у попиті на перевезення.

Проведені дослідження в різних містах України вказують на певні статистичні закономірності добових змін пасажиропотоку  $F_1$ , тижневих  $F_2$  та

сезонних  $F_3$ . Узагальнені статистичні залежності мають свою частоту  $\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1}$ ,

$\omega_2 = \frac{2\pi}{T_2}$ ,  $\omega_3 = \frac{2\pi}{T_3}$  та амплітудну характеристику.

Важливо відзначити, що величину пасажиропотоку будь-якого виду транспорту на конкретному напрямку завжди можна розрахувати, знаючи графік руху, місткість поїзда, відсоток його заповнюваності і т.д. Очевидно, що для впровадження нового конкурентоспроможного виду транспорту цього недостатньо, тобто необхідний більш глибокий аналіз розвитку тих регіонів і міст, між якими може будуватися нова високошвидкісна магістраль. Особливу увагу слід приділяти прогнозам величини пасажиропотоку з урахуванням впливу на нього найбільш значущих соціально-економічних факторів, що характеризують розглянутий полігон [7].

Згідно з [8] існують дві групи методів прогнозування: інтуїтивні, основані на судженнях і оцінках експертів, і формалізовані, які ґрунтуються на математичних моделях. Важливо

відзначити, що саме формалізовані методи дають змогу змоделювати процес зміни пасажиропотоку, визначивши математичну залежність між досліджуваним об'єктом і ознаками, що його характеризують. Відомо, що всі формалізовані методи поділяються на моделі предметної області і моделі часових рядів. Моделі предметної області добре відомі в термодинаміці, механіці, медицині, а використовувані в цьому дослідженні методи математичної моделі ґрунтуються на існуючих законах предметної області і відомих диференціальних рівняннях. У свою чергу моделі часових рядів описують залежність між об'єктами, що досліджуються, і на основі отриманої

залежності обчислюються прогностичні показники.

Оскільки дослідження перспективного пасажиропотоку потребує вивчення характеру зміни деякої кількості факторів, одним з найбільш очевидних методів прогнозування буде регресійний аналіз.

Як зазначається у [8], на основі зібраних статистичних даних можна визначити зв'язок між величиною пасажиропотоку і соціально-економічними факторами на полігоні, що тяжіє до ВШМ. Завдання зводиться до визначення множинної регресійної моделі, яка визначається рівнянням

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_n \cdot X_n + \varepsilon, \quad (2)$$

де  $Y$  – залежна змінна (відгук), що характеризує об'єкт, за яким спостерігають (пасажиропотік);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  – параметри лінійної регресії;

$X_1, X_2, \dots, X_n$  – незалежні змінні (фактори, що пояснюють зміну  $Y$ );

$\varepsilon$  – вектор випадкових помилок спостережень.

Величину пасажиропотоку між територіями (транспортними зонами) для швидкісного перевезення пасажирів пропонується визначати так:

$$x_{ij} = k_{ij} \cdot \rho_i S_i \cdot \rho_j S_j \cdot F(t) \cdot r_{ij}^n e^{-c_{ij} r_{ij}} \cdot Q_d, \quad (3)$$

де  $c_{ij}$ ,  $k_{ij}$ ,  $n$  – емпіричні постійні;

$\rho_i$ ,  $\rho_j$  – густина населення;

$S_i$ ,  $S_j$  – площі транспортних зон;

$F(t)$  – функція, якою описується зміна пасажиропотоку з часом  $t$  (нерівномірність пасажиропотоку);

$r_{ij}$  – відстань між центрами транспортних зон;

$Q_d$  – попит на перевезення.

**Висновки.** Після проведеного дослідження можна зробити висновок, що в Україні тільки набирають оберти швидкісні перевезення пасажирів. Виявлені в

аналітичному вигляді закономірності статистичних транспортних епіциклів залишаються справедливими також при глобальному зниженні пасажирських перевезень в Україні. Для цього необхідно лише скорегувати величину емпіричних постійних, що входять у формули. Аналіз дослідження величини пасажиропотоку при швидкісному русі довів, що в Україні дійсно є зростаючий попит на такі перевезення, особливо на певних напрямках. Тому необхідно розвивати цю галузь перевезення, але без рішень на рівні держави, без важливих державних документів нічого не буде. Повинна бути чітко спланована програма розвитку

швидкісного руху, а можливо, у подальшому і високошвидкісного. Звичайно ж, необхідне комплексне

вирішення питань, пов'язаних з інфраструктурою, виготовленням рухомого складу, інвестуванням і т. д.

### Список використаних джерел

1. Про схвалення Концепції Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки [Текст]: розпорядження Кабінету Міністрів України від 31 грудня 2004 р. № 979-р // Офіційний вісник України. – 2005. – 21 січня. – С. 84.
2. Бауліна, Г. С. Формування цільової функції експлуатації швидкісних поїздів [Текст] / Г. С. Бауліна, В. С. Левченко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 164. – С. 223-230.
3. Бауліна, Г. С. Визначення ефективності використання швидкісних перевезень на мережі залізниць [Текст] / Г. С. Бауліна, Г. Є. Богомазова, А. В. Скуб'як // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 165. – С. 5-11.
4. Чупир, О. М. Проблеми та нові принципи функціонування будівельної сфери залізничного транспорту України [Електронний ресурс] / О. М. Чупир // Ефективна економіка / Дніпропетров. держ. аграрно-економіч. універ. – Дніпропетровськ, 2012. – № 7. – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1264>.
5. Taylor C. Railway Gazette International [Text] / UK, 2009. – № 10. – Р. 63, 65-66, 68-70.
6. Предварительное технико-экономическое обоснование проекта высокоскоростных железных дорог в Украине [Текст] / «SYSTRA». – К., 2002. – 48 с.
7. Алпысова, В. А. Моделирование и прогнозирование пассажиропотока высокоскоростной магистрали на примере поездов "Сапсан" направления Санкт-Петербург - Москва [Текст] / В. А. Алпысова, Н. С. Бушуев, Д. О. Миненко // Транспорт Урала. – Екатеринбург, 2014. – Вып. 2 (41). – С. 50-53.
8. Вуколов, Э. А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов Statistica и Excel [Текст]: учеб. пособие / Э. А. Вуколов. – 2-е изд., исправ. и доп. – М.: ФОРУМ, 2008. – 464 с.

---

Костенніков Олексій Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-89.  
E-mail: [aleksejkostennikov3@gmail.com](mailto:aleksejkostennikov3@gmail.com).

Бауліна Ганна Сергіївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85.

Богомазова Ганна Євгенівна, асистент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)-730-10-85.

Нікішин Дмитро Володимирович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)-730-10-85.

Панкратов Максим Володимирович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)-730-10-85.

Kostennikov Oleksiy, phd. techn. sciences, associate professor department of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-85, 21-97.

Baulina Ganna, phd. techn. sciences, associate professor department of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-85, 21-97.

Bogomazova Ganna, assistant department of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-85, 21-97.

Nikishyn Dmytro, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 730-10-85.

Pankratov Maksim, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 730-10-85.

Стаття прийнята 23.11.2017 р.



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

**COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS OF THE  
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF RAILWAY  
TRANSPORT**

*Випуск 173*

«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  
Всі статті пройшли подвійне сліпе наукове рецензування.

Відповідальний за випуск Янченко Л. В.

Редактори Еткало О. О., Решетилова В. В.

---

КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Підписано до друку 31.10.2017 р.  
Формат паперу А4. Папір писальний.  
Умовн.друк. арк. 17,25. 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.