



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
УКРАЇНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Випуск 145

Харків 2014

УДК 656.2
ББК 3У.28
З 416

У збірнику розглянуті питання щодо розвитку перевізного процесу, удосконаленню технології роботи залізничних станцій, контейнерних та мультимодальних терміналів, швидкісного пасажирського руху.

Також розглянуто перспективні конструктивні рішення розроблення нових матеріалів та технологій виготовлення виробів транспортного призначення, які забезпечують підвищення довговічності, зносостійкості, надійності та працездатності деталей машин і механізмів для залізничного транспорту.

Розроблено екологічно чисті, ресурсозберігаючі технології виготовлення виробів із заданими експлуатаційними властивостями.

Збірник призначений для інженерно-технічних працівників залізничного транспорту та промисловості, науковців, аспірантів та магістрів.

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

Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus (Польща). Реєстрацією збірника можна ознайомитися на сайті <http://jml2012.indexcopernicus.com/masterlist.php?page=127>.

ISSN 1994-7852

Свідцтво про державну реєстрацію КВ № 8617 видане 06.04.2004 р. Друкується за рішенням Вченої ради академії, протокол № 5 від 27 травня 2014 р.

Збірник включено до переліку № 1 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Постанова президії ВАК України № 1-05/4 від 26 травня 2010 р.)

РЕДАКЦІЙНО-ВИДАВНИЧА РАДА:

Члени Ради:

д.т.н., професор С.В. Панченко – голова Ради
д.т.н., професор Д.В. Ломотько – заступник голови
к.т.н., професор А.О. Каграманян – заступник голови
завідуючий НДЧ – заступник голови
д.т.н., професор А.Б. Бойнік
д.т.н., професор Т.В. Бутько
д.е.н., професор В.Л. Дикань
д.т.н., професор А.М. Котенко
д.т.н., професор С.В. Лістровий

д.т.н., професор В.І. Мойсеєнко
д.т.н., професор С.І. Приходько
д.е.н., професор Л.О. Позднякова
д.т.н., професор А.А. Плугін
д.т.н., професор Ю.В. Соболев
д.т.н., професор Е.Д. Тартаковський
д.т.н., професор Л.А. Тимофєєва
д.т.н., професор А.П. Фалендиш
д.т.н., професор Я.В. Щербак

Рухомий склад залізниць

д.т.н., професор Е.Д. Тартаковський – головний редактор
д.т.н., професор В.І. Кисельов МДУШС (Росія)
д.т.н., професор О.М. Грищенко ПДУШС (Росія)
д.т.н., професор А.П. Фалендиш
д.т.н., професор О.Б. Бабанін
д.т.н., професор Я.В. Щербак
д.т.н., професор В.Г. Пузир
д.т.н., професор І.Е. Мартинов
д.т.н., професор Ю.С. Калабухін

Експлуатація залізниць

д.т.н., професор Т.В. Бутько – головний редактор
д.т.н., професор В.Я. Негрей БелДУТ (Білорусь)
д.т.н., професор Д.Г. Неволін УрДУШС (Росія)
д.т.н., професор М.М. Бабаєв
д.т.н., професор А.Б. Бойнік
д.т.н., професор А.М. Котенко
д.т.н., професор О.Г. Шибєєв
д.т.н., професор В.Н. Бобровський
д.т.н., професор І.В. Жуковичський
д.т.н., професор С.С. Альошинський

Технологія металів та матеріалознавство

д.т.н., професор Л.А. Тимофєєва – головний редактор
д.т.н., професор Л.М. Акулович, Білоруський державний аграрний технічний університет (Білорусь)
д.т.н., професор Мілорад Мілованшевич, Белградський університет машинобудувальний факультет (Сербія)
д.т.н., професор В.А. Власовець
д.т.н., професор Е.С. Геворкян
д.т.н., професор С.А. Клименко
д.т.н., професор В.І. Мороз
д.т.н., професор В.М. Остапчук

За загальною редакцією докторів техн. наук, професорів Т.В. Бутько, Л.А. Тимофєєвої

ISSN 1994-7852

Зареєстровано 2 червня 2007 р.
у ISSN International Centre 20. Rue
Bachaumont, 75002 PAPIS, FRANCE

©Українська державна академія
залізничного транспорту, 2014

ЗМІСТ

Експлуатація залізниць

<i>Константинов Д.В., Болдир Т.В.</i> Моделювання системи розподілу вагонопотоків на технічних станціях	5
<i>Долгополов П.В., Манзуля В.П., Рожченко А.О.</i> Удосконалення перевізного процесу на транспортному полігоні на основі моделі диспетчерського управління	11
<i>Кулешов В.В., Дочія К.В., Оробченко С.А.</i> Удосконалення диспетчерського управління регіональними центрами залізниць в умовах інформатизації	17
<i>Константинов Д.В., Коновалюк Л.В.</i> Дослідження сучасних пасажирських перевезень залізничним транспортом України	24
<i>Колісник А.Г.</i> Удосконалення технології роботи прикордонної сортувальної станції шляхом впровадження супутникових технологій	29
<i>Огар О.М.</i> Розрахунок конструктивних параметрів структур гіркових горловин з вагонними уповільнювачами легких типів	34
<i>Крячко К.В., Саленко О.Є., Єршов В.А.</i> Визначення впливу конструктивних параметрів пасажирських станцій на їх пропускну спроможність	40
<i>Пархоменко Л.О.</i> Дослідження напрямків розвитку швидкісного і високошвидкісного пасажирського руху поїздів на залізницях України	44
<i>Котенко А.М., Лаврухін О.В., Шилаєв П.С., Світлична А.В., Шевченко В.І., Пилипейко О.М.</i> Перевезення негабаритних і великовагових вантажів в транспортних системах	50
<i>Коваленко В.В., Малахова О.А.</i> Удосконалення пасажирських перевезень на основі раціоналізації використання парку пасажирських вагонів	60
<i>Хоробрих П.М.</i> Аналіз підходів до проведення судової залізнично-транспортної експертизи	64
<i>Рибальченко Л.І., Франковський Д.В.</i> Оптимізація використання порожніх вагонів в умовах дефіциту рухомого складу	69
<i>Макаренко Л.І.</i> Удосконалення процесу просування вагонопотоків в умовах функціонування міжнародних транспортних коридорів	72
<i>Петрушов В.В., Погребна Г.Ю.</i> Удосконалення роботи контейнерного терміналу на станції Харків – Ліски та розрахунок його переробної спроможності	78
<i>Сумищенко М.М., Бажан А.В.</i> Оцінка конструкції сортувальної гірки	82
<i>Прохорченко А.В., Петренко В.Г.</i> Дослідження пропускну спроможності залізничної інфраструктури з позиції теорії транспортних потоків	88
<i>Бутько Т.В., Савчук Т.М.</i> Удосконалення управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами на залізничній мережі	95

Рухомий склад залізниць

<i>Тартаковський Е.Д., Фалендиш А.П., Шапран Є.М., Залеський Л.І., Сумцов А.Л.</i> Використання гальмівних колодок нової конструкції на залізницях України	100
--	-----

<i>Мороз В.І., Братченко О.В., Логвіненко О.А.</i> Результати моделювання кінематики удосконаленого привода клапанів локомотивних енергетичних установок д80 та д49	104
<i>Братченко О.В.</i> Опис особливостей формування крутних моментів у механічній системі енергетичної установки тепловоза на основі використання гармонічного аналізу	110
<i>Кулагін Д.О.</i> Керування моторвагонним рухомим складом за умови відставання від графіка руху	115
<i>Астахова К.В.</i> Аналіз особливостей конструкції та функціонування розподільних валів транспортних дизелів	120
<i>Бобрицький С.В.</i> Дослідження особливостей зносу тягових зубчатих передач електропоїздів серії ЕР-2	125
<i>Труфанова А.В.</i> Основні результати експлуатаційних випробувань здвоєних циліндричних підшипників касетного типу	129

Технологія металів та матеріалознавство

<i>Остапчук В.Н., Федченко І.І.</i> Особенности износа поверхности катания колес	134
<i>Тимофеев С.С.</i> Моделирование упруго-пластических свойств покрытия	138
<i>Тимофеева Л.А., Комарова А.Л.</i> Повышение износостойкости режущих инструментов для обработки железоуглеродистых сплавов	143
<i>Пуятин Л.И., Тимофеева Л.А.</i> Особенности применения отливок из высокопрочного чугуна	150
<i>Піскачова І.В., Бантюков С.Є., Колісник М.О.</i> Аналіз надійності мікропроцесорних систем релейного захисту й автоматики для енергосистем залізничного транспорту	154
<i>Морозов В.С.</i> Анализ материалов для электрических контактов электрооборудования железнодорожного транспорта	159
<i>Дьомін А.Ю.</i> Системний підхід до оцінки якості нанесення захисного покриття при відновленні деталей транспортного призначення	163
<i>Ленив Я.Г.</i> Анализ способов восстановления распределительных валов транспортных ДВС	167
<i>Ягодинский Е.С.</i> Характер повреждений деталей автосцепного устройства и способы их восстановления	171
<i>Геворкян Е.С., Петасюк Г.А., Мельник О.М.</i> Математичне моделювання міцнісних характеристик електроконсолідованих матеріалів у системі $ZrO_2-Al_2O_3$	174
<i>Лоцман К.Р.</i> Математико-статистическое исследование влияния погрешностей исходных дирекционных углов и погрешностей углов поворота на надежность полигонометрических ходов	179
<i>Пустовойтова О.М., Камчатная С.Н., Набока С.Ю., Лоцман К.П.</i> Инновационные подходы к процессу проектирования надежных и экономических сечений элементов сложных стержневых систем с использованием энергетического критерия	183

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЗАЛІЗНИЦЬ

УДК 565.212

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ ВАГОНОПОТОКІВ НА ТЕХНІЧНИХ СТАНЦІЯХ

Канд. техн. наук Д.В. Константінов,
студ. Т.В. Болдир

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВАГОНОПОТОКОВ НА ТЕХНИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Канд. техн. наук Д.В. Константинов,
студ. Т.В. Болдырь

MODELING OF DISTRIBUTION SYSTEM OF TRAFFIC VOLUMES OF TECHNICAL STATIONS

Cand. of techn. sciences D.V. Konstantinov,
student T.V. Boldyr

У статті розглянуто питання моделювання системи розподілу вагонопотоків на технічних станціях по залізницях України. Подано модель системи підтримки прийняття рішень, призначеної для наближеного прогнозування процесу обробки вагонопотоків. Модель розроблено на основі математичного апарату методу динаміки середніх і диференціальних рівнянь Колмогорова.

Ключові слова: оперативне регулювання, вагонопотоки, наближене прогнозування, система підтримки прийняття рішень, моделювання.

В статье рассмотрен вопрос моделирования системы распределения вагонопотоков на технических станциях по железным дорогам Украины. Представлена модель системы поддержки принятия решения, которая предназначена для приближенного прогнозирования процесса обработки вагонопотоков. Модель разработана на основе математического аппарата метода динамики средних и дифференцированных уравнений Колмогорова.

Ключевые слова: оперативное регулирование, вагонопотоки, приближенное прогнозирование, система поддержки принятия решений, моделирование.

The article deals with traffic volume modelling at technical stations of Ukraine's railways. It has been studied the functioning of a sorting yard and revealed major shortcomings of the existing system of traffic volume control. Lack of efficient methods and state-of-the-art information technologies requires improvements in operation management. The present stage of development and wide application of information technologies requires the implementation of a decision-making system. The article describes a model of the decision support system intended for traffic volume forecasting. The model has been designed on the base of the mathematical apparatus of dynamics of average and differential Kolmogorov equations.

Key words: control, traffic volume, forecasting, decision-support system, modelling.

Вступ. Залізничний транспорт – одна з найважливіших галузей народного господарства нашої країни, основний вид транспорту, що виконує більше 60 % вантажообігу. Успішність роботи залізниць у ринкових умовах залежить від приділення

значно більшої уваги маркетинговим принципам роботи з вантажовласниками, які полягають у вивченні потреб власників вантажів і розробленні пропозицій щодо їх задоволення. При цьому важливим є вирішення внутрішніх питань оптимізації виробничої

діяльності, що пов'язано з необхідністю поліпшення використання рухомого складу, забезпечення схоронності і прискорення доставки вантажів, раціоналізації перевезень на основі логістичних принципів («від дверей до дверей», «у призначений термін»), наукової організації праці, ритмічності експлуатаційної роботи [1].

Тому для вирішення всіх зазначених завдань необхідно удосконалювати процес управління вагонопотоками шляхом оптимального їх використання та розподілу під виробничими завданнями на мережі залізниць, що, безумовно, пов'язано з удосконаленням системи формування поїздів на технічних станціях. Отже, актуальним питанням у сучасних умовах розвитку залізниць є дослідження та моделювання процесу роботи технічних станцій, що може бути основою для подальшого розроблення комплексу оптимізаційних заходів і пропозицій щодо удосконалення процесу формування поїздів.

Актуальність. При виконанні внутрішньодержавних і міжнародних транспортних зв'язків, у яких задіяні залізниці України, серед усіх технічних станцій головну роль відіграють сортувальні станції. Сортувальні станції розміщені переважно на шляху Європейських транспортних коридорів і на перехрестях основних залізничних напрямів перевезень і є основою великих транспортних вузлів і великих промислових центрів.

Виконання на високому рівні операцій з переробки поїздів потребує відповідного технічного оснащення сортувальних станцій, розроблення і впровадження в дію досконалих технологій роботи і кадрового забезпечення висококваліфікованими працівниками. Особливе значення в роботі сортувальних станцій має система планування роботи.

Планування роботи сортувальних станцій здійснюється з метою встановлення виробничих завдань і подальшого їх регулювання, основних експлуатаційних показників роботи, фінансових показників і забезпечення ефективної оперативної діяльності станції. Планування оперативної роботи технічної станції передбачає забезпечення виконання технологічних операцій у конкретних умовах на добу та зміну. Підставою для змінного і поточного планування є інформація про підхід поїздів, вагонів, локомотивів і розрахунок їх

припущеної наявності на станції до початку періоду, що планується. Для чіткої організації роботи станції розроблені найбільш раціональні маршрути прямування локомотивів по станційних коліях.

Система оперативного планування сприяє безперешкодному прийманню, своєчасному формуванню та відправленню поїздів; скороченню часу перебування вагонів на станції; підвищенню продуктивності маневрових засобів і виконанню планів навантаження.

Оперативне управління технічною станцією повинно максимально ефективно розподіляти роботу станції, щоб забезпечити безперервну, надійну і максимально швидко обробку вагонопотоків. Тому одним зі способів підвищення ефективності оперативного управління є необхідність розвантаження роботи людини-оператора, забезпечуючи цим не тільки прискорення виконання завдань, а і підвищення безпеки руху. А це у свою чергу забезпечить більшу надійність залізничних перевезень, які постійно конкурують із автомобільним транспортом.

Постановка завдання. Отже, враховуючи проблеми залізничного транспорту, які пов'язані з організаційною роботою, потрібні постійний контроль і своєчасне їх вирішення. А саме для забезпечення безперебійної роботи станцій необхідне надання оперативному персоналу залізничної станції можливості прогнозування подій на основі аналізу минулого періоду, можливості ідентифікації вхідних ситуацій транспортних подій на станціях певної дільниці. Такий підхід не повною мірою відображає задоволення потреби в разі побудови системи підтримки прийняття рішення і являє собою перший крок до побудови повнофункціональної системи.

У сучасних умовах розвитку сучасних технологій створення оперативної управлінської системи потребує розроблення і запровадження системи підтримки прийняття рішень (СППР) в умовах створення автоматизованих робочих місць (АРМ), а саме інформаційно-радіційних АРМів [1]. Функціонування такої СППР повинно бути спрямовано на надання управлінському персоналу найбільш оптимальних рішень, отриманих на основі попередніх даних, з прогнозів переміщень вагонопотоків.

Аналіз останніх досліджень. Одними з останніх розробок у даному напрямку є системи оперативного коригування Плану формування поїздів (ПФП) на основі прогнозування та регулювання напрямків прямування вагонопотоків, які дозволяють покращити прийняття своєчасних рішень, спрямованих на підвищення переробної спроможності опорних технічних станцій мережі за рахунок прискорення просування вагонопотоків, що дозволить скоротити простій вагонів під накопиченням, зменшити витрати на накопичення вагонів, раціонально розподілити сортувальну роботу між станціями та забезпечити своєчасну доставку вантажів у погоджені з замовником терміни [2, 3].

Сучасні системи підтримки прийняття рішень не забезпечують надання оперативного рішення в умовах нерівномірності вантажопотоків і вимагають більш гнучкого реагування на раптові зміни інформації, і саме тому вимагають подальшого і своєчасного удосконалення відповідно до тенденцій розвитку сучасних інформаційних технологій.

Основний матеріал. Для вирішення питання удосконалення системи оперативного управління технічною станцією з подальшою перспективою формування гнучкої системи поїздоутворення доцільним є моделювання роботи технічної станції, яке відобразить сутність процесу обробки вагонопотоків з

можливістю короткострокового прогнозування стану кожного елемента системи технічної станції. Для вирішення цього завдання доцільно обрати моделювання на основі використання диференціальних рівнянь Колмогорова за методом динаміки середніх [4].

Розглянемо показники роботи технічної станції, які представлені помісячно за перші сім місяців і подовово за перші десять днів вересня 2013 року, а саме середній час знаходження на технічній станції транзитного вагона без переробки. При цьому можна зауважити, що час подовового знаходження одного вагона під вантажними операціями дуже нерівномірний і непередбачуваний. Тому для забезпечення оптимального оперативного управління, безперервної вантажної роботи і роботи станції в цілому необхідне попереднє планування даного виду роботи. Також якщо розглядати вантажну роботу по місяцях, можна зазначити, що вона на початку року має відносно стабільний об'єм, але вже у березні починається зменшення об'єму роботи з найменшим значенням у травні. Потім спостерігається невелике коливання об'єму в напрямку збільшення в червні та все одно середній час знаходження вагона під вантажними операціями зменшується. Коливання подовового і помісячного об'єму вантажної роботи зазначені на рис. 1 та 2.

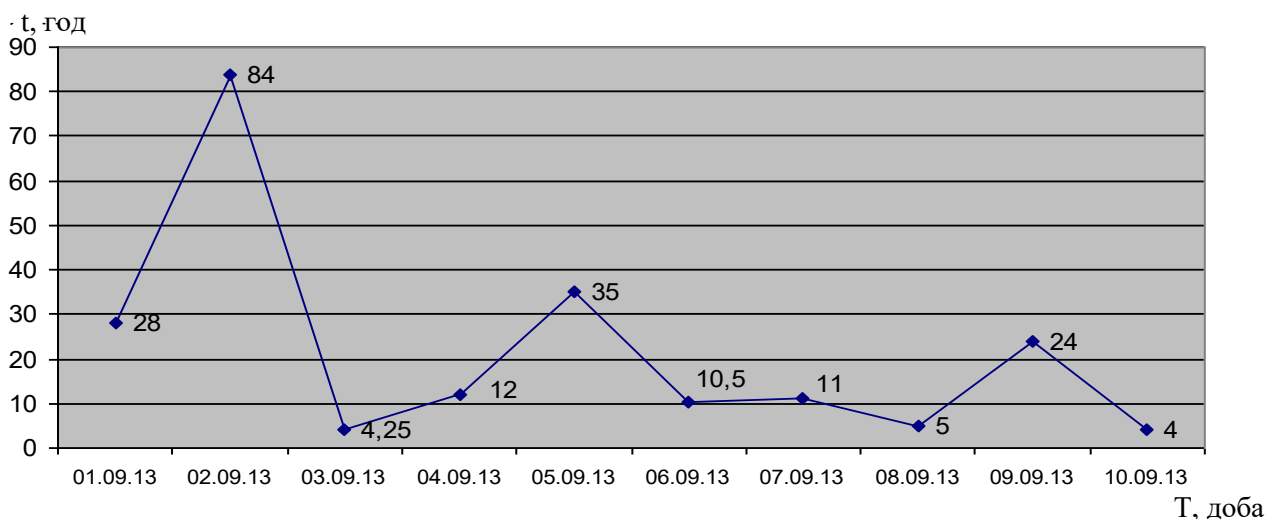


Рис. 1. Середній час знаходження одного вагона під вантажними операціями по днях за першу декаду вересня 2013 року

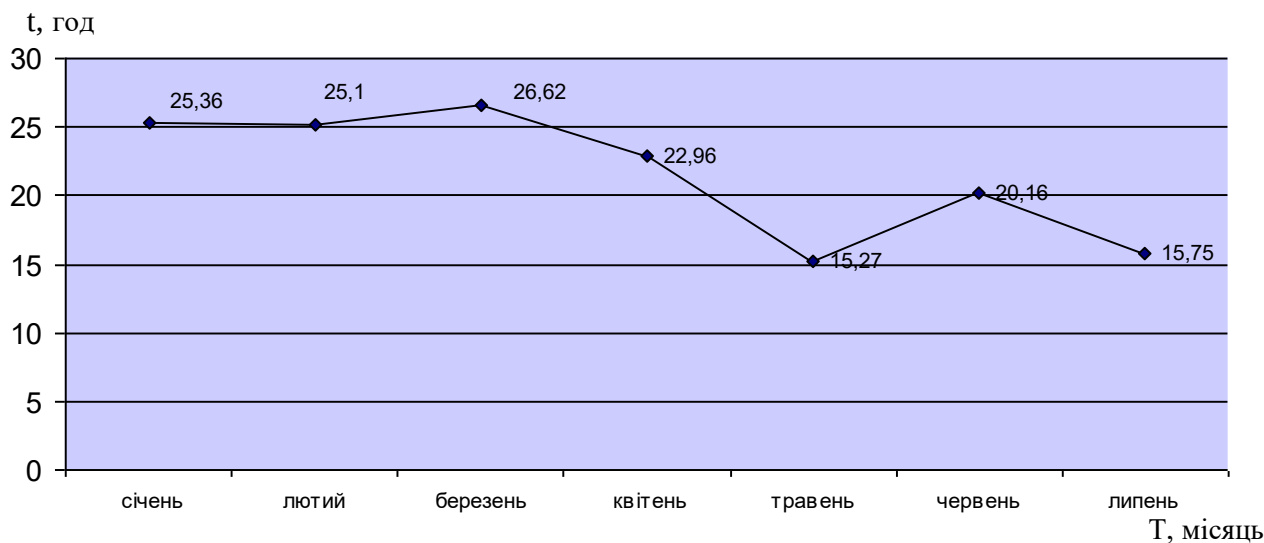


Рис. 2. Середній час знаходження вагона під вантажними операціями по місяцях 2013 року

Першим етапом вирішення поставленого завдання є побудова структури роботи

технічної станції з використанням теорії графів у вигляді зваженого графа $F(m)$ (рис. 3).

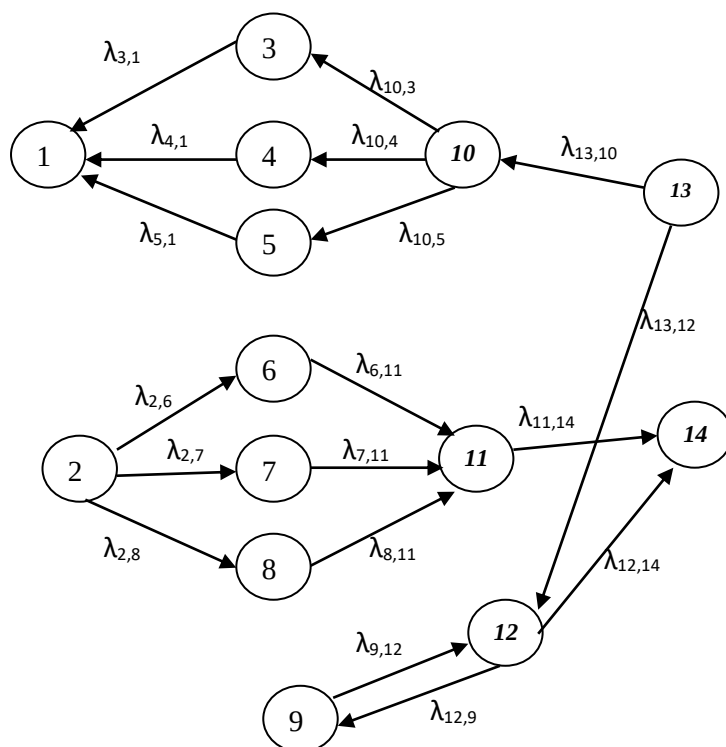


Рис. 3. Зважений граф системи роботи парку приймання сортувальної станції $F(m)$

На даному графі позначено вершини 1-8, 10, 11 – колії проміжної станції, яка розташована з боку переважного вагонопотоку

і за необхідності розосереджує згущений вагонопотік на підході до технічної станції. Вершини 9,12 – це дільниці наближення

прилеглого перегону, 14 – відповідає колії приймального парку сортувальної станції.

Вагою кожної вершини зваженого графа $F(m)$ є кількість вагонів m , що знаходяться в даному елементі станції в певний розрахунковий період часу. Вагою кожного ребра є інтенсивність переходу m вагонів із одного елемента станції в інший $\lambda_{i,j}$, що є параметром зі значним ступенем нерівномірності і визначається залежно від

значень часу виконання основних технологічних операцій у процесі переробки вагонопотоків.

Другим етапом для відображення процесу переміщення елементів m між вершинами графа з певними інтенсивностями $\lambda_{i,j}$ та формування загального вигляду процесу розподілу вагонопотоків між елементами станції з часом побудуємо систему диференціальних рівнянь Колмогорова:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dm_1}{dt} = \lambda_{3,1} * m_3 + \lambda_{4,1} * m_4 + \lambda_{5,1} * m_5; \\ \frac{dm_2}{dt} = -\lambda_{2,6} * m_2 - \lambda_{2,7} * m_2 - \lambda_{2,8} * m_2; \\ \frac{dm_3}{dt} = -\lambda_{3,1} * m_3 + \lambda_{10,3} * m_{10}; \\ \frac{dm_4}{dt} = -\lambda_{4,1} * m_4 + \lambda_{10,4} * m_{10}; \\ \frac{dm_5}{dt} = -\lambda_{5,1} * m_5 + \lambda_{10,5} * m_{10}; \\ \frac{dm_6}{dt} = \lambda_{2,6} * m_2 - \lambda_{6,11} * m_6; \\ \frac{dm_7}{dt} = \lambda_{2,7} * m_2 - \lambda_{7,11} * m_7; \\ \frac{dm_8}{dt} = \lambda_{2,8} * m_2 - \lambda_{8,11} * m_8; \\ \frac{dm_9}{dt} = -\lambda_{9,12} * m_9 + \lambda_{12,9} * m_{12}; \\ \frac{dm_{10}}{dt} = -\lambda_{10,3} * m_{10} - \lambda_{10,4} * m_{10} - \lambda_{10,5} * m_{10} + \lambda_{13,10} * m_{13}; \\ \frac{dm_{11}}{dt} = \lambda_{6,11} * m_6 + \lambda_{7,11} * m_7 + \lambda_{8,11} * m_8 - \lambda_{11,14} * m_{11}; \\ \frac{dm_{12}}{dt} = \lambda_{9,12} * m_9 - \lambda_{12,9} * m_{12} - \lambda_{12,14} * m_{12} + \lambda_{13,12} * m_{13}; \\ \frac{dm_{13}}{dt} = -\lambda_{13,10} * m_{13} - \lambda_{13,12} * m_{13}; \\ \frac{dm_{14}}{dt} = \lambda_{11,14} * m_{11} + \lambda_{12,14} * m_{12}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Для побудови графічних залежностей, що будуть відображати процес зміни кількості вагонів у кожному елементі станції з часом, використано програмування з використанням

системи програмної алгебри scilab ver. 5.3.0. Програмний запис частини системи рівнянь Колмогорова наведено нижче.

```
function dx=f(t,x)
dx(1)=0.96*x(3)+0.54*x(4)+0.7*x(5)
dx(2)=-0.7*x(2)-x(2)-0.6*x(2)
dx(3)=-0.96*x(3)+0.96*x(10)
dx(4)=-0.54*x(4)+0.54*x(10)
dx(5)=-0.7*x(5)+0.7*x(10)
dx(6)=0.7*x(2)-0.7*x(6)
dx(7)=x(2)-x(7)
dx(8)=0.6*x(2)-0.6*x(8)
dx(9)=-0.6*x(9)+0.6*x(12)
dx(10)=-0.96*x(10)-0.54*x(10)-0.7*x(10)+1.9*x(13)
dx(11)=0.7*x(6)+x(7)+0.6*x(8)-2.3*x(11)
dx(12)=0.6*x(9)-0.6*x(12)+1.9*x(13)-2.3*x(12)
dx(13)=-1.9*x(13)-0.6*x(13)
dx(14)=2.3*x(11)+0.6*x(12)
endfunction
ic=[110;120;48;27;35;35;50;30;30;95;115;30;95;115]/initial conditions
```

За результатами програмного розрахунку отримано графіки залежностей процесів

розподілу вагонопотоків між елементами станції, що зображені на рис. 4.

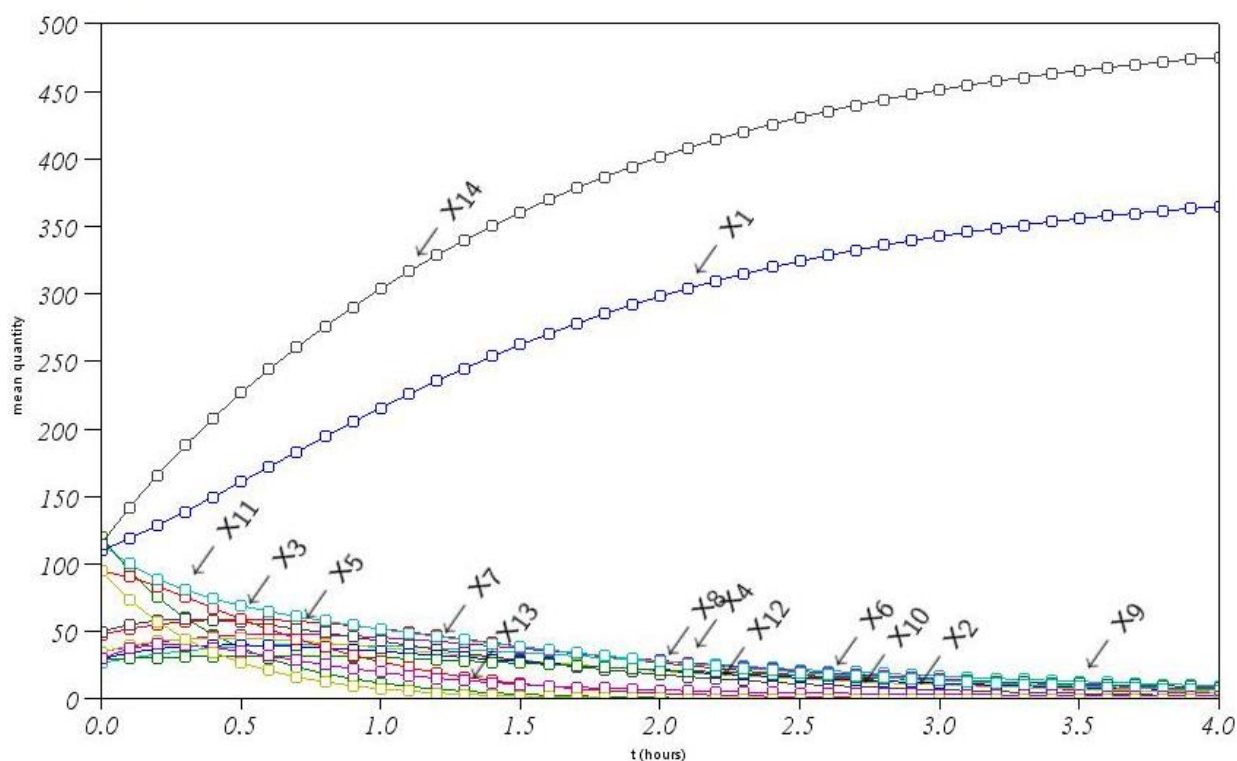


Рис. 4. Залежності розподілу вагонопотоків між елементами станції

Висновок. Подані результати моделювання можуть бути використані в якості системи наближеного прогнозування процесу

обробки вагонопотоків у кожному елементі сортувальної станції, прогнозні значення якої в перспективі можуть бути використані в систе-

мі гнучкого управління обробкою вагонопотоків і регулювання процесу поїздоутворення.

Список використаних джерел

1. Константинов, Д.В. Моделирование оперативного регулирования маршрутами примисского ruchu на основе нечеткой логики та нейронних мереж [Текст] / Т.В. Бутко, Д.В. Константинов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – №1(80)'. – С. 13–19.
2. Кудрявцева, В.А. Основы эксплуатационной работы железных дорог [Текст]: учеб. пособие для студ. учреждений среднего профессионального образования / В.А. Кудрявцева; Образовательно-издательский центр «Академия» – М.: Академия, 2005. – С. 109-120.
3. Інструктивні вказівки з організації вагонопотоків на залізницях України [Текст]. – К.: Головне управління перевезень, 2005. – С. 25-27.
4. Методи дослідження складних систем [Текст]: метод. вказівки з курсу „Основи теорій систем і управління” / Т.В. Бутко, О.М. Ходаківський, В.М. Прохоров та ін.; Українська державна академія залізничного транспорту. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – С. 17-25.
5. Автоматизовані робочі місця АРМ на базі відображених моделей АСК ВП УЗ-Є. Автоматизоване робоче місце чергового по станції. Опис застосування (102101.0.23.02.0.001) [Електронний ресурс] / Львівська залізниця, 2013. – Режим доступу: <http://www.railway.lviv.ua>.

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

Константинов Денис Володимирович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри управління експлуатаційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 091-90-14-246.
Болдир Тетяна Валеріївна, студентка групи 12-V-ОПУТм Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 066-88-98-964.

Konstantinov D., cand. of technical science, senior lecturer of the Operation Work Management Department UkrSART.
Boldyr T.V., student of Ukrainian State Academy of Railway Transport.

УДК 656.254.5

УДОСКОНАЛЕННЯ ПЕРЕВІЗНОГО ПРОЦЕСУ НА ТРАНСПОРТНОМУ ПОЛІГОНІ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ

**Канд. техн. наук П.В. Долгополов,
студенти В.П. Манзуля, А.О. Роженко**

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА НА ТРАНСПОРТНОМ ПОЛИГОНЕ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

**Канд. техн. наук П.В. Долгополов,
студенты В.П. Манзуля группы, А.А. Роженко**

IMPROVING TRANSPORTATION PROCESS IN THE TRANSPORT POLYGON MODEL BASED ON THE MODEL OF SUPERVISORY CONTROL SYSTEM

**Cand. of techn. sciences P.V. Dolgoplov,
students V. Manzulya, A. Rozhenko**

У статті розглянуто питання про перевізний процес на транспортному полігоні на основі моделі диспетчерського управління. Представлено організацію руху поїздів за жорсткими нитками графіка в комплексі з сучасними диспетчерськими системами управління. Досліджено поперечний і поздовжній спосіб прокладання вантажних поїздів. Розглянуто новітні технології експлуатаційної роботи, що базуються на автоматизованих системах комплексного управління перевізним процесом.

Ключові слова: вантажні перевезення, графік руху поїздів, енергоефективність.

В статье рассмотрен вопрос о перевозочном процессе на транспортном полигоне на основе модели диспетчерского управления. Представлена организация движения поездов по жестким нитям графика в комплексе с современными диспетчерскими системами управления. Исследованы поперечный и продольный способ прокладки грузовых поездов. Рассмотрены новейшие технологии эксплуатационной работы, основанные на автоматизированных системах комплексного управления перевозочным процессом.

Ключевые слова: грузовые перевозки, график движения поездов, энергоэффективность.

In the article we explored the transportation process on transport polygon based on the model of control system. Represented organization of the train traffic by the tight thread of schedule in combination with modern dispatching systems of control. We investigated transverse and longitudinal method of laying freight trains and considered modern technologies of operational work based on automated systems of complex management of transportation process.

So, the organization of the train traffic by the tight thread of schedule in combination with modern dispatching systems of train traffic control contributes: increasing of the delivery goods speed, reducing of downtime on industrial and freight stations, reducing of the time that wagons spend on freight operations.

And it helps to improve efficiency of the transport process and attractiveness of railway to cargo owners.

Keywords: freight transportation, schedule of trains, power efficiency.

Вступ. Залізничний транспорт являє собою важливу ланку у функціонуванні економіки держави та світу в цілому. Таким чином, важливим є вирішення внутрішніх питань оптимізації виробничої діяльності, що пов'язано з необхідністю поліпшення використання рухомого складу, забезпечення схоронності і прискорення доставки вантажів, раціоналізації перевезень на основі логістичних принципів («від дверей до дверей», «у призначений термін»). В умовах жорсткої конкуренції на транспортному ринку, розгалуженості залізничної мережі та складної розгалуженості вагонопотоків актуальним є завдання побудови та удосконалення перевізних технологій і систем керування перевезеннями.

Тому дану статтю присвячено актуальному питанню удосконалення роботи залізничного полігону на основі новітніх методів і систем організації перевезень.

Аналіз сучасних наукових розробок і публікацій. Удосконаленню логістичних технологій у перевізному процесі останнім часом приділялося багато уваги в роботах М.І. Данька, Т.В. Бутько, Д.В. Ломотька та інших науковців. У наукових джерелах [1, 2] присвячено багато уваги формуванню логістичних технологій перевезень вантажів за умови визначення раціонального терміну доставки вантажу, як однієї із основних вимог вантажовласників. Дослідження проблеми

формування оптимальної технології просування вантажопотоків у рамках логістичного обслуговування здійснюється з урахуванням можливості використання жорстких ниток графіка руху. Нормативно це регулюється ст. 116 Статуту [3], де закріплено відповідальність залізниці за невиконання терміну доставки. Також у різних роботах [4, 5] приділяється багато уваги новим підходам оптимізації перевізного процесу експлуатаційної роботи на основі нових технологій автоматизованих систем комплексного управління та оперативних методів диспетчерського управління і енергоефективності.

Проте доцільність використання даних технологій в умовах перевізного процесу на транспортному полігоні в дослідженнях вчених не знайшло детального висвітлення.

Постановка мети дослідження. Для раціоналізації технології роботи транспортного полігону необхідно реалізувати ряд завдань:

- реалізація руху певних вантажних поїздів по жорстких нитках графіка руху поїздів;

- розроблення нових технологій експлуатаційної роботи, що базуються на автоматизованих системах комплексного управління перевізним процесом;

- застосування новітніх оперативних методів диспетчерського управління на основі ресурсозбереження.

Таким чином, метою даної роботи є удосконалення перевізного процесу на транспортному полігоні на основі сучасних систем організації перевезень.

Вирішення завдання. Моделювання завантаження ниток жорсткого графіка лише за даними первинних заявок на перевезення не дає, як правило, ідеальних рішень по масі і складу поїздів. Інтереси клієнтури задовольняються завдяки доставці вантажу точно в строк за рахунок мінімізації часу знаходження вагона на технічних і, особливо, сортувальних станціях, а інтереси залізничного транспорту виражаються в стабільності графіка руху, зниженні об'ємів сортувальної роботи, прискоренні обороту вагона. У результаті різко покращиться контроль за перевезеннями і стане реальнішим управління.

Але, як показує практика, що в час жорсткої конкуренції та ринкових умов необхідно більше орієнтуватися на клієнта, тобто вантажовідправника. Останнім часом є потреба у більш оперативному виконанні перевезення, коли клієнт бажає «тут і зараз» перевезти вантаж, скористуватися послугами залізниці. У такому випадку нам необхідно створити жорсткі нитки графіка руху поїздів, щоб у разі потреби обслуговувати клієнтуру.

Пропонована технологія також значно підвищить ефективність роботи залізниці. Розроблення такого графіка вимагає тіснішої

оперативної взаємодії з клієнтурою. Комплекс інформаційних технологій управління перевезеннями може бути реалізований таким чином. Кожна заявка клієнта потрапляє на «інформаційну біржу заявок», паралельно з якою функціонує «інформаційна біржа справних вантажних вагонів». Кожній заявці підбирається в реальному масштабі часу вагон, що якнайповніше задовольняє потреби з номенклатури вантажу, порційності відправки, вигляду упаковки, можливостей вантажного і складського господарства в пунктах відправлення і призначення, режиму перевезення, надійності збереження, собівартості, рентабельності і так далі. На основі цієї інформації формується відправна модель.

Для прокладання вантажних поїздів при великому заповненні пропускної спроможності на однокільному графіку (більше 70-75 %) потрібно застосовувати поперечне прокладання вантажних поїздів, починаючи з обмежуючого перегону на всі 24 години з використанням найвигіднішої схеми прокладання на цьому перегоні (рис. 1).

Найбільші труднощі викликає прокладання жорстких ниток графіка руху поїздів на однокільних дільницях. Тому у статті досліджено дві найбільш поширені схеми прокладання саме таких ниток:

- поперечний спосіб;
- поздовжній спосіб.

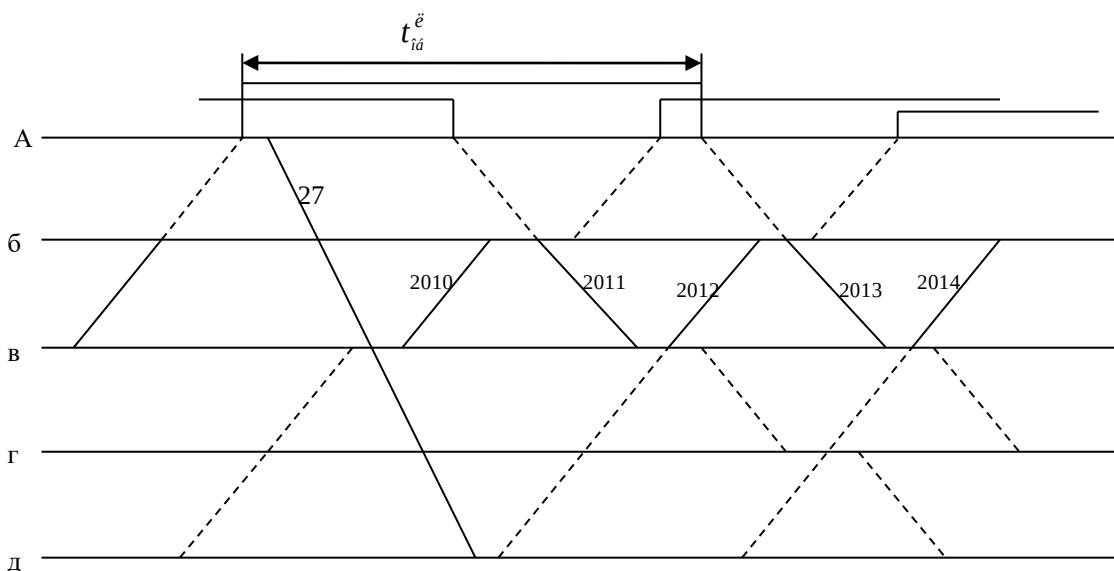


Рис.1. Побудова графіка поперечним способом, починаючи з перегону б-в

При заповненні менше 70 % пропускної спроможності потрібно застосовувати поздовжнє прокладання, починаючи з перегону, який примикає до станції обороту локомотивів, з одночасною підв'язкою

локомотивів (рис. 2). У цьому випадку спочатку слід визначити раціональний інтервал між попутними вантажними поїздами $I_{ван}$ в періоді доби, який не зайнятий пасажирськими та іншими фіксованими поїздами, за формулою

$$I_{\hat{a}\hat{a}i} = \frac{1440 - (\varepsilon_{\hat{o}\hat{a}} N_{\hat{o}\hat{a}} + \varepsilon_{i\hat{a}\hat{n}} N_{i\hat{a}\hat{n}} + \varepsilon_{\hat{c}\hat{a}} N_{\hat{c}\hat{a}})}{N_{\hat{a}\hat{a}i}}, \quad (1)$$

де $\varepsilon_{шв}$ – коефіцієнт знімання вантажних поїздів швидкісними;

$\varepsilon_{пас}$ – коефіцієнт знімання вантажних поїздів пасажирськими;

$\varepsilon_{зб}$ – коефіцієнт знімання вантажних поїздів збірними;

$N_{шв}$, $N_{пас}$, $N_{зб}$, $N_{ван}$ – кількість швидкісних, пасажирських, збірних, вантажних поїздів відповідно.

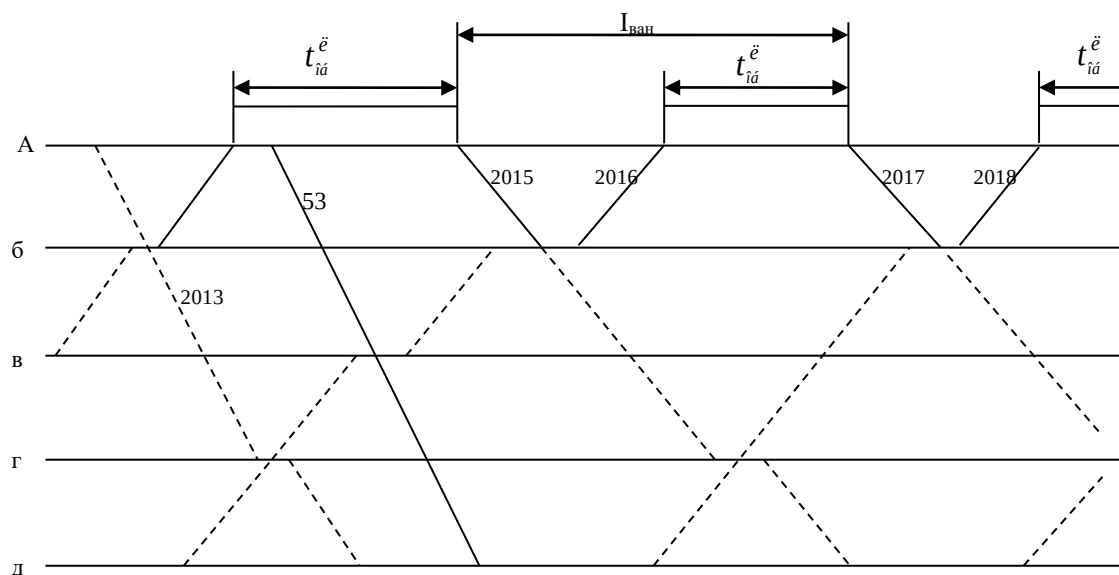


Рис.2. Побудова графіка поздовжнім способом, починаючи з перегону А-Б

Прокладання вантажних поїздів на двоколінійній ділянці має вестись рівномірно протягом доби і без обгонів. За необхідності обгін пасажирськими поїздами вантажних проводиться на технічних станціях або на станціях з легким профілем підходів. Потрібно витримувати, як і на одноколійних дільницях, середній міжпоїздний інтервал.

У кожній зоні можливого безобгінного руху вантажних поїздів між пасажирськими слід пропускати $N_{\hat{a}\hat{a}i}^{G_s}$ поїздів

$$N_{\hat{a}\hat{a}i}^{G_s} = \frac{\dot{O}_G}{\sum_{i=1}^n T_{G_s}} N_{\hat{a}\hat{a}i}, \quad (2)$$

де T_{zi} - тривалість даної безобгінної зони, хв;

$\sum_{i=1}^n T_{G_s}$ - загальна тривалість зон для безобгінного пропускання вантажних поїздів за добу, хв;

$N_{ван}$ - загальне число прокладених на графіку вантажних поїздів.

У кожній зоні інтервал між попутними вантажними поїздами повинен бути не більше, хв,

$$I_{\text{Г}} = \frac{\dot{O}_{\text{Г}}}{N_{\text{Г}} - 1}, \quad (3)$$

і не менше інтервала в пакеті (рис. 3).

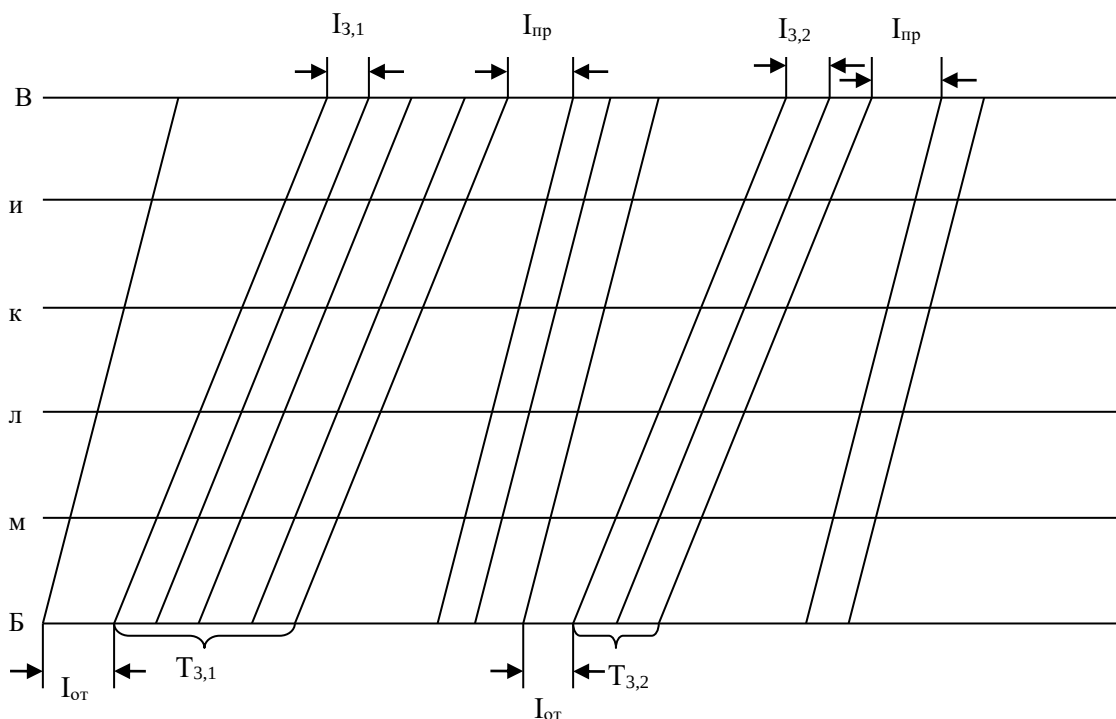


Рис. 3. Пропускання вантажних поїздів у безобгінних зонах у парному напрямку на двоколіїній дільниці

Графік складається в кожному напрямку окремо від станції основного депо до пункту обороту локомотивів. Після того як будуть прокладені вантажні поїзди одного напрямку, прокладаються поїзди зворотного напрямку з підв'язкою обороту локомотивів з урахуванням встановленої норми місцезнаходження локомотивів у пункті обороту і можливої ворожості маршрутів поїздам зустрічного напрямку.

Сьогоднішні можливості обчислювальної мережі залізничного транспорту дозволяють реалізувати пропоновану технологію за допомогою складання дискретного плану, заснованого на заявках клієнтури. Важливе місце в запропонованій технології займає система автоматичного прочитування інформації з рухомого рухливого складу у виділених на мережі контрольних пунктах. Інформаційні технології, доповнені контролем

фактичного виконання за допомогою системи автоматичної ідентифікації, дозволять покращити експлуатаційний процес методами заохочень і штрафів за якість виконання завдань, поетапно зводячи резерви, що закладаються, до мінімуму. Комп'ютерне зіставлення цих засобів і фактичного їх виконання робить можливою оцінку результатів роботи виконавців, ставлячи в залежність від них оплату праці. Такий захід буде ефективною стимул-реакцією забезпечення точного виконання формованих завдань. Робота за принципом дискретного управління перевізним процесом і введення створення на основі «жорсткого графіка» в осяжній перспективі здатна значно поліпшити всі показники роботи залізничного транспорту. Викладена схема організації руху при стійких кореспонденціях і можливості введення «жорсткого графіка» перевезень змінює

концепції розроблення плану формування і побудови графіка руху поїздів. При вирішенні питань про схему доставки вантажів споживачеві в першу чергу повинні вирішуватися завдання обслуговування вантажів технологічною маршрутизацією (рис. 4).

Одним з пріоритетних завдань оптимізації технології експлуатаційної роботи є впровадження на мережі докладного автоматизованого графіка виконаного руху поїздів.

Основним завданням системи є об'єднання існуючих інформаційних систем у єдиний комплекс.

Система забезпечує інформування користувачів про просування вагонів і поїздів на полігоні управління і труднощі в роботі, реалізацію підтримки, формування, прийняття, передачу рішень користувачів, забезпечує їх виконання при взаємодії різних рівнів управління.

У сучасних умовах необхідно застосовувати оперативні методи диспетчерського

управління і енергоефективності, але випадки непередбачених обставин перешкоджають їх виконанню.

Енергозберігаючі методи диспетчерського управління та керування поїздів не застосовують, коли рух здійснюється не за графіком, оскільки в цьому випадку всі резерви застосовуються для зменшення запізнення. Але навіть у цьому випадку на деяких ділянках оптимізовані режими руху можуть забезпечити економію без збільшення часу запізнення. У деяких випадках час запізнення за рахунок цього може навіть скоротитись. Якщо при цьому також збільшується пропускна спроможність лінії чи ділянки, то в такій оптимізації зацікавлені також і підприємства – власники інфраструктури.

У Німеччині, наприклад, інфраструктурна компанія DB Netz розробляє в рамках проекту FreeFloat і розширення системи управління KE/KL+ZLR (розпізнавання і вирішення конфліктних ситуацій + управління рухом поїздів) систему оптимізації експлуатаційних процесів.



Рис. 4. Структурне відображення методики дослідження

Висновок. Таким чином, організація руху поїздів за жорсткими нитками графіка в комплексі з сучасними диспетчерськими системами управління рухом поїздів сприяють:

- підвищенню швидкості доставки вантажів;
- скороченню простою на технічних і вантажних станціях;

- скороченню часу знаходження вагонів під вантажними операціями.

Це у свою чергу дозволяє підвищити ефективність транспортного процесу та привабливості залізниці для вантажовласників.

Список використаних джерел

1. Ломотько, Д.В. Оптимізація системи доставки вантажів на основі множини критеріїв ресурсозберігаючих підходів [Текст] / Д.В. Ломотько, Д.І. Мкртичян // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2006. – № 3/2. – С. 6-9.
2. Галабурда, В.Г. Оптимальное планирование перевозок и маркетинг [Текст] / В.Г. Галабурда // Железнодорожный транспорт. – 1991. – №8. – С. 60-63.
3. Статут залізниць України [Текст]. – К.: Транспорт України, 1998. – 200 с.
4. Бутько, Т.В. Формування логістичної технології просування вантажопотоків за жорсткими нитками графіка руху поїздів [Текст] / Т.В. Бутько, Д.В. Ломотько, А.В. Прохорченко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С. 23-31.
5. Ткачов, Ф.Г. Удосконалення логістичних інформаційних систем на технічній станції. Пропозиції щодо покращення роботи технічних станцій [Текст] / Ф.Г. Ткачов, Н.О. Копченко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2009. – № 2/2. – С. 17-20.
6. Управление эксплуатационной работой на железнодорожном транспорте [Текст]: учебник; в 2 т. / В.И. Ковалёв, А.Т. Осьминин, В.А. Кудрявцев и др. – М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – Т. 2. – 440 с.

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

Долгополов Петро Віталійович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 095-09-03-747.

Манзуля Віктор Павлович, студент Української державної академії залізничного транспорту.

Роженко Антон Олександрович, студент Української державної академії залізничного транспорту.

Dolgoplov P., cand. of techn. sciences. Department of management of operational work, Ukrainian State Academy of Railway Transport.

Manzulya V., Rozhenko A., students Ukrainian State Academy of Railway Transport.

УДК 656.212:656.225

УДОСКОНАЛЕННЯ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ РЕГІОНАЛЬНИМИ ЦЕНТРАМИ ЗАЛІЗНИЦЬ В УМОВАХ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ

Канд. техн. наук В.В. Кулешов, магістри К.В. Дочія, С.А. Оробченко

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫМИ ЦЕНТРАМИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАТИЗАЦИИ

Канд. техн. наук В.В. Кулешов, магистры К.В. Дочия, С.А. Оробченко

IMPROVEMENT SUPERVISORY CONTROL OF THE REGIONAL CENTERS OF THE RAILWAYS UNDER INFORMATION

Candidate of Techn. Sciences V. Kuleshov, masters K. Dochiya, S. Orobchenko

Розглянута схема оперативної взаємодії у головному та регіональних центрах управління перевезеннями із операторами перевезень на залізницях України. Наведена схема орієнтованого інформаційного графа диспетчерського центра управління залізницею. Подана інформаційна структура дозволяє гнучко виконувати подальше деформування підмножин відповідно до укрупнення

диспетчерських дільниць, дистанцій, закриття для вантажної роботи молодіжних станцій. Визначена матриця дій системи, що відображає кінцеві стани входів елементів після взаємодії.

Ключові слова: диспетчер, залізниця, полігон диспетчерського управління, оператор перевезень, регіональний центр управління.

Рассмотрена схема оперативного взаимодействия в главном и региональных центрах управления перевозками с операторами перевозок на железных дорогах Украины. Приведена схема ориентированного информационного графа диспетчерского центра управления железной дороги. Представленная информационная структура позволяет гибко выполнять дальнейшее деформирование подмножеств в соответствии с укрупнением диспетчерских участков, дистанций, закрытие для грузовой работы молодёжных станций. Определена матрица действий системы, отражающая конечные состояния входов элементов после взаимодействия.

Ключевые слова: диспетчер, железная дорога, полигон диспетчерского управления, оператор перевозок, региональный центр управления.

A scheme for operational cooperation in the main and regional traffic management centers with transport operators on the railways of Ukraine. A scheme of graph-based information control centers railway. Representation of the information structure allows the flexibility to execute further deformation subsets in accordance with consolidation of dispatching sites distances, closing for commercial work of inactive stations. Defined matrix system actions, reflecting the final status of the inputs of elements after the interaction.

Keywords: manager, railways, range of supervisory control, operator transportation, regional control center.

Вступ. На залізницях України відбуваються зміни технології диспетчерського управління, що дозволяють раціонально сформувати полігони, якими будуть керувати регіональні і головний центри, не обмежуючись лише межами дирекцій залізничних перевезень, оптимізувати кількість диспетчерських дільниць і збільшити їх довжину до 300 - 500 км. За допомогою новітніх систем, які в режимі реального часу відображають рух поїздів, типи поїздів, місце їх знаходження, затримки і прискорення в графіку, диспетчери будуть оперативно отримувати повну інформацію про стан перевезень і матимуть можливість швидко реагувати для усунення відхилень від графіка руху. Після введення інновацій зменшиться кількість стиків і залишиться тільки дві ланки, які керуватимуть процесом руху: Головний центр, який координуватиме рух поїздів на великих відстанях – від станції відправлення до станції призначення, та регіональні центри, які здійснюватимуть оперативне управління. Зараз йде удосконалення регіональних центрів управління рухом на Донецькій і Південній залізницях. На інших залізницях здійснюється перерозподіл роботи між диспетчерськими дільницями.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. З метою оптимізації системи управління рухом поїздів ще в 1988 р. залізниці приступили до проектування і будівництва єдиних дорожніх і регіональних автоматизованих диспетчерських центрів управління перевезеннями (АДЦУ). Однак через відсутність прийнятих в повному обсязі в постійну експлуатацію сучасних систем ДЦ і обмеженість коштів на інфраструктуру каналів зв'язку процес створення АДЦУ набув затяжного характеру. У той же час, у зв'язку із різким зниженням обсягів перевезень перед галуззю постали завдання скорочення експлуатаційних витрат, впровадження ресурсозберігаючих технологій. Необхідність реорганізації підвищила актуальність впровадження сучасних комп'ютерних систем управління рухом поїздів. Українські залізниці розділені на 135 ділянок протяжністю від 25 до 100 км. Треба їх об'єднувати, створювати великі полігони. У зв'язку із створенням нової організаційно-правової та економічної моделі управління залізничним транспортом України відбуваються структурні перетворення, які передбачені [1, 2], та зміни в системі управління рухом поїздів. Згідно з

Державною цільовою програмою реформування залізничного транспорту на 2010-2019 р.р. передбачено створення центру управління перевезень – Головного (ГЦУП) та на залізницях – шість регіональних (РЦУП), що включатимуть 14 районів управління, які створюватимуться на базі відділів перевезень дирекцій з їх укрупненням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В нормативних документах [1-2] докладно не враховані застосування методів диспетчерського управління у регіональних центрах управління перевезеннями в умовах інформатизації при перевезеннях парком вагонів різних власників. В книзі під ред. П.С. Грунтова [3] не розглянуті питання взаємодії Автоматизованих диспетчерських центрів управління експлуатаційної роботи залізниць із операторськими компаніями. У навчальному посібнику під ред. М.І. Данька [4] при організації перевезень не враховані розвинені інформаційні технології, за допомогою яких можливо забезпечити розвиток залізничних послуг користувачам. У розробці [5] мало досліджені підходи до формування технології взаємодії залізничних адміністрацій та власників рухомого складу в умовах єдиної системи управління парком вантажних вагонів різних форм власності в частині прийняття керівних рішень на умовах ресурсозбереження. У роботах [6-9] мало проаналізовані питання організації маршрутних перевезень на єдиних вимогах інформаційної технології взаємодії залізничних адміністрацій та операторів перевезень за умовами логістики. У книзі Б.Я. Советова [10] розглянуті основи побудови АСУ, проте не враховані міждержавні перевезення залізничним транспортом.

Визначення мети та задачі дослідження. Мета та задачі дослідження-удосконалення диспетчерського управління у регіональних центрах управління перевезеннями в умовах інформатизації.

Основна частина дослідження. Склад диспетчерських дільниць та організація поїзної роботи, виконання плану формування поїздів, норм технічного плану, змінно-добового плану роботи регулювальних завдань, пропуску

вагонопотоків, використання в межах залізниці локомотивів при застосуванні електронного екрана про місцезнаходження поїздів, а також зручного доступу до довідкової інформації. Запропонована схема структури оперативної взаємодії диспетчерів ГЦУП, РЦУП із операторами перевезень на залізницях України наведена на рис. 1.

Запропоновано розвивати функції комплексної системи, спрямовані насамперед на забезпечення безпеки технологічного процесу, схоронності вагонів і вантажів, зниження впливу «людського фактора»; розширення зони автоматизації. На порядку денному прискорення окремих операцій, скорочення простою вагонів, концентрація сортувальної роботи на великих автоматизованих об'єктах з розвиненою інфраструктурою.

У такий спосіб формується необхідна база для створення динамічної моделі мережі у реальному часі, яка побудована на об'єктивній перевізній інформації, існуючому технічному і колійному розвитку роздільних пунктів, вузлів, дільниць. Саме така модель – основа для автоматизації планування, керування та аналізу результатів роботи станцій, вузлів, дільниць.

Контури управління охоплюють інформаційний банк ГЦУП, РЦУП, пов'язаний із банком даних станцій, вузлів, дільниць. Передбачається обмін даними з використанням пунктів концентрації обробки перевізних документів у вузлах залізниць. Кожний напрямок залізниці буде елементом (підмножиною) району РЦУП. Диспетчерські (дільничні, вузлові) полігони будуть підмножинами напрямків. Відповідно на диспетчерському полігоні підмножинами є дільниці, станції, депо, перегони [9]. Підмножинами станцій є технологічні комплекси: вантажні комплекси, пункти технічного обслуговування локомотивів і вагонів, дільниці дистанцій колії, сигналізації та зв'язку, енергопостачання. Інформаційну сукупність цих елементів можна уявити у вигляді шестирівневого орієнтованого графа (див. рис. 2).

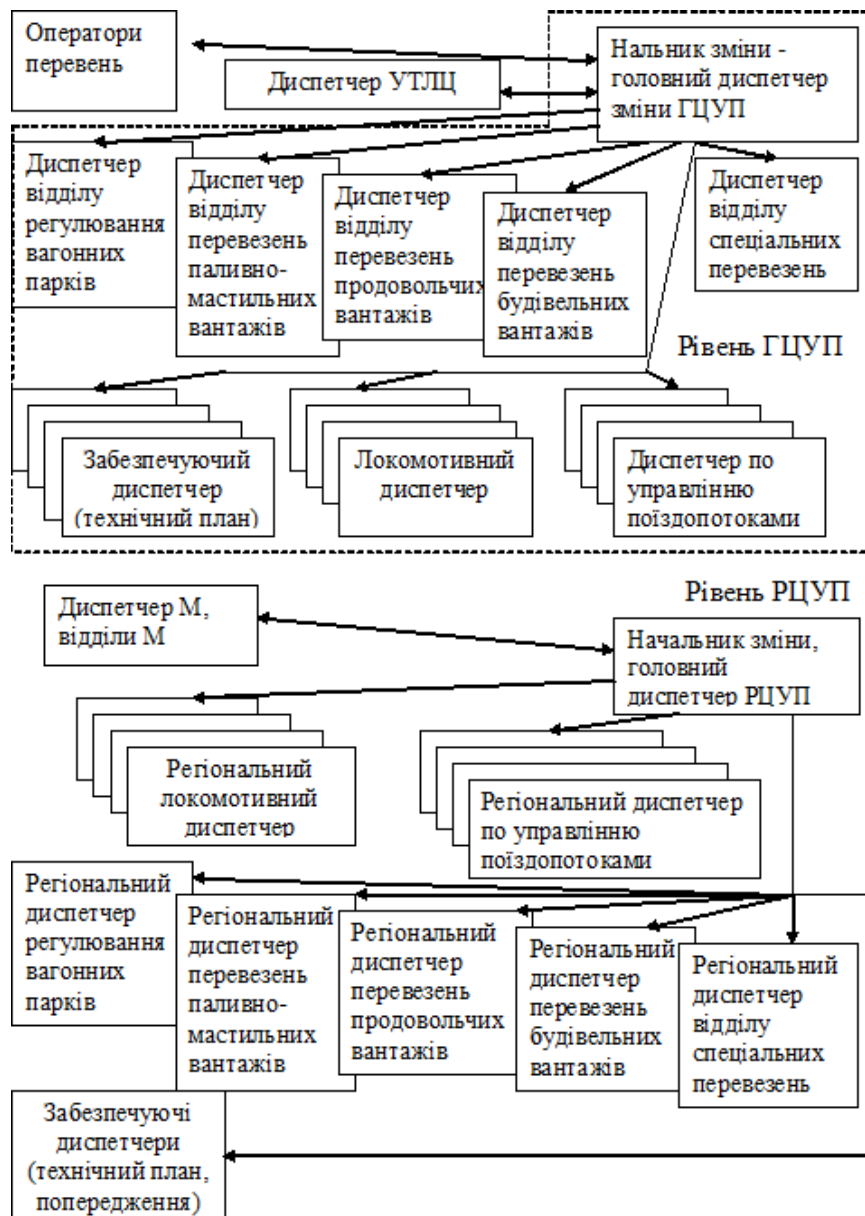


Рис. 1. Схема оперативної взаємодії диспетчерів ГЦУП, РЦУП із операторами перевезень на залізницях України

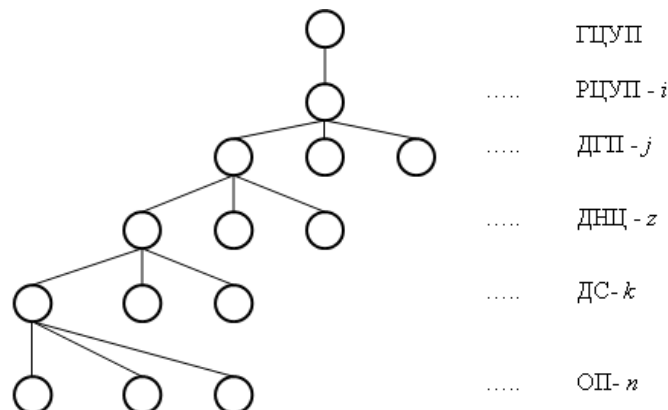


Рис. 2. Схема орієнтованого інформаційного графа диспетчерського центра управління залізницею

Рівні графа даної інформаційної структури не ототожнюються із рівнем ієрархії управління процесами перевезень, що функціонують на даній інформаційній базі. На нульовому рівні графа знаходиться головний центр управління (ГЦУП) в Укрзалізниці.

На 1 рівні подані регіональні центри управління (РЦУП), кількість яких рівна i . У кожному РЦУП (2 рівень) є j напрямків залізниці (ДГП). На напрямку (3 рівень) є z диспетчерських дільниць. Диспетчерська дільниця (4 рівень) складається із k роздільних пунктів, у т.ч. розпорядні (лінійні) та опорні проміжні станції (ДС). На 5 рівні розпорядні станції включають n операторів перевезень або рухомого складу (ОП). На рівнях 0 - 4 повинні бути відображені інформаційні сукупності всіх елементів мережі, а на 5 рівні – інформаційні сукупності лише елементів системи, які необхідні для управління її функціонуванням.

Подана інформаційна структура дозволяє гнучко виконувати подальше деформування підмножин відповідно до укрупнення, наприклад, диспетчерських дільниць, дистанцій, віднесення дільниці або дистанції до іншої ДН, закриття для вантажної роботи малодіяльних станцій та ін. При цьому достатньо змінити адресу підпорядкування елементів більш низького рівня елементу більш високого рівня.

В структурі РЦУП виділено три взаємопов'язаних аспекти: організаційний, функціональний і технічний [10]. В загальному вигляді можливо сполучення кожного елемента r організаційної структури з багатьма іншими елементами, або навпаки, вхід даного елемента поєднується з виходами декількох інших елементів k . Тоді питома вага кожної пари елементів для кожної пари елементів записана рівністю

$$x_{rk} = \omega_{rk} \cdot y_k, \quad (1)$$

де ω_{rk} - відповідно, вхід і вихід пари елементів структури РЦУП;

y_k - показник питомої ваги відповідного елемента (класність та т. ін.).

Якщо будь-яка пара елементів не має сполучення, то $\omega_{rk} = 0$ при $k = r$. Узагальнюючи матриці зв'язків, отримуємо матрицю організаційної структури системи Ω

$$\Omega = \begin{vmatrix} 0 & \omega_{12} & \dots & \omega_{1n} \\ \omega_{21} & 0 & \dots & \omega_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \omega_{m1} & \omega_{m2} & \dots & 0 \end{vmatrix}. \quad (2)$$

Організаційна структура РЦУП, зображена на рис. 1, містить п'ять пар елементів $E_1 - E_5$. Враховуючи взаємозв'язки, а також те, що елемент E_5 є вихідним, складемо матрицю

$$\Omega = \begin{vmatrix} 0 & \omega_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \omega_{23} & \omega_{24} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_{35} \\ \omega_{41} & 0 & 0 & 0 & \omega_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Розмір матриці можливо коригувати в залежності від перебудови або розвитку інфраструктури, також власне змін структури самого диспетчерського керівництва на залізницях України.

Функціональна структура A_i буде побудована з використанням коефіцієнтів часткового ефекта

$$A_i = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{vmatrix}. \quad (4)$$

У випадку, коли коефіцієнти часткового ефекта постійні, отримуємо вигляд перетворення, тобто $Y = A_i \cdot X$. При $A = const$ перетворення в елементах функціональної структури є лінійним. Тому

$$Y = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{vmatrix} X. \quad (5)$$

Отримуємо

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Зв'язки між складовими можуть бути визначені виразами

$$\begin{aligned} y_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \\ y_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \\ \dots & \dots \dots \dots \dots \\ y_m &= a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \end{aligned} \quad (7)$$

Функціональна структура включає в себе N лінійних елементів, причому $m = n$. Введемо вектори входів і виходів системи: $X = (x^1, x^2, \dots, x^N)$, $Y = (y^1, y^2, \dots, y^N)$. Таким чином,

$$X = \begin{pmatrix} x^1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & x^2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & x^N \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} y^1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & y^2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & y^N \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Функціональна матриця елементів (А) структури РЦУП

$$A = \begin{pmatrix} A_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & A_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & A_N \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Організаційна структура стану входів елементів РЦУП

$$\begin{pmatrix} 0 & x_1^2 & \dots & x_1^N \\ x_2^1 & 0 & \dots & x_2^N \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_N^1 & x_N^2 & \dots & x_N^N \end{pmatrix} = \Omega Y, \quad (10)$$

де x_1^2 – стан входу другого елемента, пов'язаного із виходом першого $Y = AX$. Тоді отримуємо

$$\begin{pmatrix} 0 & x_1^2 & \dots & x_1^N \\ x_2^1 & 0 & \dots & x_2^N \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_N^1 & x_N^2 & \dots & 0 \end{pmatrix} = \Omega AX. \quad (11)$$

Враховуючи, що X є вектором, який характеризує початкові стани входів елементів, а матриця відображає кінцеві стани входів елементів після взаємодії, можливо зробити висновок, що спосіб дії системи визначається не тільки способом дії її елементів (A), але і способом їх сполучення (Ω). Цим пояснюються властивості системи, що породжуються.

Технічна структура РЦУП містить нормативно-довідкову та розпорядницьку інформацію для автоматизованих процедур керівництва експлуатаційною роботою.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. При переході до нової структури, заснованої на системі центрів управління перевезеннями, функції з безпосереднього управління і планування поїзної і вантажної роботи, що виконуються зараз дорожніми диспетчерськими центрами, перейдуть до ГЦУП і частково до опорних центрів (місцева робота).

Залізниці та дирекції залізничних перевезень в умовах удосконалення диспетчерського управління у регіональних центрах управління перевезеннями здійснюють адміністративно-господарське управління діяльністю структурних підрозділів, що входять до їх складу, взаємодію із відправниками, отримувачами, операторами перевезень і органами місцевого самоврядування регіону, забезпечують надійну роботу технічних засобів.

Впровадження запропонованої моделі організаційно-функціональної структури системи управління перевезеннями дозволяє знизити втрати на стиках між залізницями; покращити показники експлуатації парків вагонів залізниць та операторів перевезень, поїзних і маневрових локомотивів, ємності

колійного розвитку станцій; скоротити витрати на перевезення вантажів та прискорити їх доставку.

Впровадження перерахованого комплексу заходів дозволить збільшити технічні параметри мережі: тягове плече

роботи локомотивів 1000-2000 км (зараз 300 км); плече роботи локомотивної бригади до 500 км (зараз 170 км); довжина диспетчерської ділянки до 500 км; довжина гарантійного плеча безвідмовної роботи вагонів 1000-1500 км (зараз 380 км).

Список використаних джерел

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року. Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1555-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www/URL: http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html/](http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html/) 10.12.2009. – Загл. з екрану.
2. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки. В редакції постанови Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2011 р. № 1106 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www/URL: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1106-2011-p](http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1106-2011-p). – Загл. з екрану.
3. Автоматизированные диспетчерские центры управления эксплуатационной работой железных дорог [Текст] / под ред. П.С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1990. – 286 с.
4. Данько, М.І. Мікропроцесорна диспетчерська централізація «КАСКАД» [Текст]: навч. посібник / М.І. Данько, В.І. Мойсеєнко, В.З. Рахматов, В.І. Троценко, М.М. Чепцов. – Харків, 2005. – 176 с.
5. Данько, М.І. Удосконалення функціональних можливостей автоматизованого аналізу стану технічних засобів в частині прийняття керівних рішень на умовах ресурсозбереження [Текст] / М.І. Данько, А.М.Котенко, А.В. Кулешов, В.В. Кулешов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 4/7 (40). – С. 4-7.
6. Кулешов, А.В. Аналіз рівня інформатизації в різних системах обслуговування вантажовласників на станціях залізничних вузлів [Текст] / А.В. Кулешов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 124. – С. 136-142.
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. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 124. – С. 83-90.
8. Кулешов, В.В. Удосконалення інформаційної технології взаємодії залізничних адміністрацій та операторів перевезень за умовами логістики [Текст] / В.В. Кулешов, О.С. Олефір, Д.В. Селюк, І.В. Турченко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. заліз. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 137. – С. 55-61.
9. Кулешов, В.М. Основны принципы разработки информационной технологии функционирования автоматизированного диспетчерского центра железной дороги [Текст] / В.М. Кулешов // Проблемы внедрения информационных технологий на транспорте. Сб. науч. тр. Ин-та кибернетики им. В.М. Глушкова. – К., 1992. – С. 63-67.
10. Советов, Б.Я. Основы построения АСУ [Текст] / Б.Я. Советов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. – 134 с.

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

Кулешов Валерій Вячеславович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Української державної академії залізничного транспорту.

Дочіа Кока Володимирович, слухач гр. 13-VI-УППм Української державної академії залізничного транспорту.

Оробченко Сергій Андрійович, слухач гр. 13-VI-УППм Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: kharkov-kuleshov@yandex.ua.

Kuleshov Valery, candidate of technical sciences, associate professor. The Department of railway stations and units. Dochiya Coca, Orobchenko Sergei, Students group 13-VI-UPPm. Ukrainian state Academy of railway transport. Contact Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: kharkov-kuleshov@yandex.ua.

УДК 656.025.2 (477)

**ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗАЛІЗНИЧНИМ
ТРАНСПОРТОМ УКРАЇНИ**

Канд. техн. наук Д.В. Константинов,
студ. Л.В. Коновалюк

**ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ УКРАИНЫ**

Канд. техн. наук Д.В. Константинов,
студ. Л.В. Коновалюк

**RESEARCH OF MODERN PASSENGER TRANSPORTATION OF RAILWAY TRANSPORT IN
UKRAINE**

Cand. of techn. science D.V. Konstantinov,
student L.V. Konovalyuk

У статті проведено дослідження сучасних швидкісних пасажирських перевезень залізничного транспорту України та подано пропозиції щодо їх удосконалення. Було розглянуто питання ефективності експлуатації сучасної системи швидкісного руху на прикладі поїздів категорії Інтерсіті+ та Інтерсіті і визначено перспективи її розвитку. Як найбільш перспективний напрямок було обрано необхідність впровадження вітчизняного швидкісного рухомого складу, створення системи підтримки прийняття рішень для гнучкого управління експлуатацією рухомого складу та застосування елементів маркетинго-логістичне управління для підвищення якості обслуговування пасажирів.

Ключові слова: пасажирські перевезення, швидкісні пасажирські перевезення, маркетинго-логістичного управління, поїзди категорії Інтерсіті+ та Інтерсіті.

В статье проведено исследование современных скоростных пассажирских перевозок железнодорожного транспорта Украины и представлены предложения по их совершенствованию. Были рассмотрены вопросы эффективности эксплуатации современной системы скоростного движения на примере поездов категории Интерсити+ и Интерсити и определены перспективы ее развития. В качестве наиболее перспективных направлений были выбраны необходимость внедрения отечественного скоростного подвижного состава, создание системы поддержки принятия решений для гибкого управления эксплуатацией подвижного состава и применения элементов маркетинго-логистического управления для повышения качества обслуживания пассажиров.

Ключевые слова: пассажирские перевозки, скоростные пассажирские перевозки, маркетинго-логистическое управление, поезда категории Интерсити+ и Интерсити.

In the article deals with the study of modern high-speed passenger railway transport of Ukraine and the proposals on their improvement. The sides discussed the efficiency of operation of modern systems of high-speed traffic on the example of trains category intercity+ and intercity and determined prospects of its development. As the most promising areas was selected the necessity of introduction of domestic high-speed rolling stock, creation of the system of decision support for flexible control of the operation of the rolling stock and the application of the elements of the marketing and logistics management to improve the quality of passenger service.

Keywords: passenger transportation, high-speed passenger transportation, marketing and logistics management, trains category Intercity+ and Intercity.

Вступ. Україна належить до регіонів з значним розвитком залізничного транспорту.

На нього припадає основна частина вантажообігу і перевезень пасажирів.

Залізничний транспорт має особливе значення у забезпеченні економічних зв'язків як у межах України, так і в її зв'язках з іншими країнами. У сфері пасажирських перевезень порівняно з іншими видами пасажирського транспорту залізниці мають низку переваг, з яких найбільш важливими є:

- регулярність та надійність перевезень незалежно від пори року, місяця, дня тижня, часу доби та погодних умов;
- невисока вартість перевезення порівняно з іншими видами транспорту;
- можливість використання спальних місць при перевезеннях в нічних та деяких денних поїздах;
- розташування залізничних вокзалів у центрах міст чи близько до них з виходами до інших транспортних вузлів міст.

Актуальність. Пасажирські перевезення залізничного транспорту – збиткові. Однією з причин є невідповідність темпів зростання цін на продукцію та ресурси (металопрокат, залізобетонні шпали, запасні частини для рухомого складу, дизельне паливо та електроенергія тощо) до темпів підвищення тарифів на пасажирські перевезення, неефективне використання місткостей пасажирських вагонів різних типів поїздів, недостатньо ефективного планування перевезень, незручність діючих розкладів руху для багатьох пасажирів, що призводить до підвищення експлуатаційних витрат в порівнянні з рівнями доходів.

За прогнозами фахівців, загальна потреба в перевезенні пасажирів залізничним транспортом (крім приміського сполучення) становить близько 60,5 млн осіб на рік. При цьому потенційний обсяг пасажирських перевезень з урахуванням наявного парку пасажирських вагонів без його поновлення та з урахуванням списання зменшиться в 2013 р. на 200 тис. людей, в 2014 р. - на 4,9 млн осіб, в 2015 р. - на 3,1 млн людей, в 2016 р. - на 4,3 млн осіб і в 2017 р. - на 1,2 млн осіб [3]. Послугами пасажирського транспорту за перший квартал 2013 року скористалися на 4,6% менше українців. За січень-березень 2013 року послугами пасажирського транспорту скористалися 1,6 млрд пасажирів, виконана пасажирська робота в обсязі 28,6 млрд пас.км, що становить відповідно 95,4 і 99,9 % від обсягів січня-березня 2011 року [2].

За останні роки російські залізниці не мають збитків з пасажирських перевезень, а

українські залізниці за останні п'ять років отримали збитків від пасажирських перевезень близько 30 млрд грн. Головними причинами цього є застарілий рухомий склад, низькі швидкості руху, низькі показники населеності та пасажиропотоків на фоні високих експлуатаційних витрат, що постійно зростають. Отже, потрібно шукати нові шляхи для досягнення прибутковості швидкісних пасажирських перевезень [3].

Зв'язок з державними науковими програмами. Представлене дослідження виконане відповідно до існуючих державних програм розвитку залізничного транспорту, а саме Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту від 27 грудня 2006 р. № 651-р., Концепції державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки від 31 грудня 2004 р. № 979-р. та Транспортної стратегії України на період до 2020 року від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р. [4].

Аналіз останніх досліджень. Для запровадження швидкісного пасажирського руху проводиться комплекс робіт для модернізації інфраструктури та подальше розділення залізничних ліній на вантажні та пасажирські. Система організації пасажирських перевезень перебудовується за європейськими стандартами, серед яких є зменшення збитковості пасажирського сектора та зміна якості надання послуг пасажирам. Зокрема, для покращення обслуговування пасажирів Укрзалізницею здійснюється низка заходів щодо впровадження швидкісного пасажирського руху, придбання пасажирського рухомого складу нового покоління (електропоїздів Hyundai і Skoda), покращення сервісу, переобладнання та модернізації дільниць, задіяних у швидкісному русі, тощо. В рамках розвитку проекту впровадження високошвидкісного пасажирського руху на залізницях України Укрзалізниця придбала нові двосистемні міжрегіональні електропоїзди Hyundai (IC+) у дев'ятивагонній комплектації та фірмові двоповерхові швидкісні електропоїзди Skoda (IC) у шестивагонній комплектації, що здійснювалось в рамках проекту впровадження в Україні швидкісного пасажирського руху [1]. Це, безумовно, надало нові можливості розвитку вітчизняних залізниць. Однак впровадження нового рухомого складу в експлуатацію було

пов'язано з багатьма проблемами технічного та технологічного характеру, що не дозволило досягти максимальної ефективності його експлуатації та в повній мірі вирішити питання прискорення пасажирського руху. До того ж прийнята система їх експлуатації, графік курсування, напрямки прямування та фактично відсутність можливості регулювання композиції обмежують можливості гнучкої експлуатації, що дозволила би ефективно використовувати наявні технічні ресурси. Отже, в подальшому розвитку потрібно перевірити доцільність впровадження інших, наприклад вітчизняних, зразків швидкісного рухомого складу, які матимуть більші можливості технічного характеру та перспективи гнучкого використання в технологічному відношенні. А також особливу увагу слід приділити системі планування та управління швидкісним рухом, що, безумовно, потребує використання маркетингових та логістичних підходів.

Транспортною логістикою та маркетингом в пасажирських перевезеннях займались багато зарубіжних вчених, серед яких Д. Бауерсокс, Д.Дж. Клос, Д. Ламберт, Дж. Сток, М. Хаммер та ін. Серйозні наукові дослідження проводять російські вчені, зокрема А.У. Альбеков, Н.В. Афанасьєва, Є.А. Голіков, С.Б. Карнаухов, Д.Д. Костоглодов, А.В. Парфьонов, С.М. Розер та ін. Серед вітчизняних вчених – І.М. Аксьонов, Ю.С. Бараш, О.В. Дикань, Є.В. Крикавський, Ю.Ф. Кулаєв, М.В. Макаренко, В.К. Мироненко, М.Л. Окландер, Ю.Є. Пашенко, Є.М. Сич, Н.І. Чухрай. Проте сьогодні специфіка застосування маркетингових та логістичних методів на залізничному транспорті не отримала належного відображення. Тому ці дослідження надзвичайно актуальні [3].

Постановка завдання. До головних завдань залізничного транспорту України належать підвищення якості обслуговування пасажирів, збільшення доходів від пасажирських перевезень, зниження експлуатаційних витрат, удосконалення управління всім пасажирським комплексом. Для підвищення ефективності пасажирських перевезень необхідно провести низку заходів на конкретних об'єктах господарства — впровадити комплексну автоматизацію галузевих підприємств, вдосконалити їхні організаційні структури та технологічні

процеси, чітко розмежувати функції управління в залежності від виду сполучення.

На сьогоднішній день на залізницях України швидкісні електропоїзди – найбільш перспективний рухомий склад на шляху розвитку швидкісних пасажирських перевезень, які вимагають набагато більшої уваги, особливо в питанні технології експлуатації [1].

В умовах поглиблення світових інтеграційних процесів проходять зміни у функціонуванні транспортних ринків як окремих країн, так і у світовому масштабі. Це особливо проявляється посиленням координації та взаємодії різних видів транспорту, прискоренням пересування пасажирів як в межах держав, так і в міжнародних масштабах, що вимагає застосування нового швидкісного рухомого складу та впровадження принципів маркетингу і логістики в систему управління перевезеннями. Створення ефективної моделі швидкісних пасажирських перевезень на основі маркетинго-логістичного управління стає сьогодні важливим завданням розвитку всієї залізничної транспортної системи, що необхідно в умовах реформування залізничного транспорту [3].

Основний матеріал. Дослідження існуючих маршрутів прямування нових швидкісних міжрегіональних поїздів "Інтерсіті" та "Інтерсіті +" дозволяє підкреслити недостатню ефективність планування системи курсування цих поїздів, що об'єднують найбільші за розмірами населення та, відповідно, потребами в перевезеннях мегаполіси східної України. Суттєва зміна розкладу руху та відсутність дійсно високої швидкості в умовах відміни інших видів поїздів на напрямках курсування ІС+ та ІС негативно відображається на іміджі залізниць України. Однак, окрім якості прокладання маршрутів сполучення, окремої уваги потребує дослідження ефективності призначення встановлених композицій міжрегіональних швидкісних поїздів щодо існуючих розмірів попиту на перевезення. Його можливо провести шляхом аналізу основних експлуатаційних показників, таких як добові пасажиропотоки та населеність поїздів.

Для аналізу ефективності даних маршрутів візьмемо добові показники пасажиропотоків та населеності швидкісних електропоїздів "Інтерсіті", "Інтерсіті +" за 01.01.2013 р. і подамо у вигляді графіків (рис. 1-2) [1].

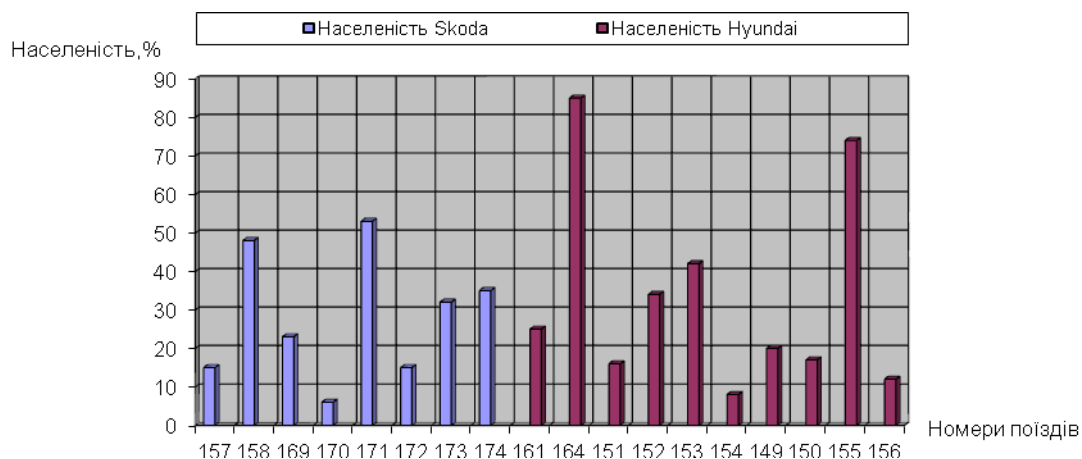


Рис. 1. Графік коливання добової населеності всіх маршрутів міжрегіональних швидкісних поїздів за 01.01.2013 р.

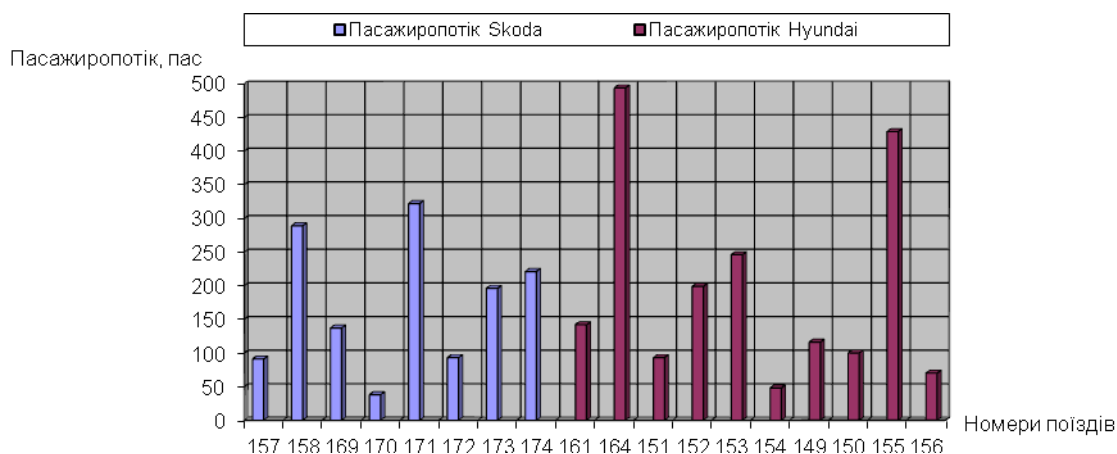


Рис. 2. Графік коливання добового пасажиропотоку всіх маршрутів міжрегіональних швидкісних поїздів за 01.01.2013 р.

Отже, аналіз експлуатаційних показників, поданий на графіках, показує, що рівень населеності і пасажиропотоків не відповідає композиції рухомого складу при заданих розмірах руху. Це підкреслює недостатню ефективність використання нового рухомого складу та недосконалість існуючої системи регулювання їх експлуатації. Внаслідок цього при стабільно високих витратах на експлуатацію нові поїзди "Інтерсіті" та "Інтерсіті +" приносять занадто низькі доходи, що сприяє продовженню терміну окупності [1].

Для вирішення цієї проблеми доцільними є подальша розробка та впровадження гнучкої адаптивної системи експлуатації електропоїздів категорії IC+ і IC на основі оперативної заміни складів збільшеної або зменшеної місткості

відповідно до рівня запланованого пасажиропотоку в основних пунктах обороту на пасажирських станціях великих мегаполісів. Реалізація оперативної технології потребує надання системі управління адаптації та сприятливості до змін ситуації на ринку перевезень, що обумовлює при сучасному розвитку інформаційних технологій необхідність розробки та впровадження системи підтримки прийняття рішень (СППР), спрямованої на оптимізацію процесу прийняття оперативних рішень на всіх рівнях управління швидкісним пасажирським комплексом. Тому з огляду на складність управління швидкісними пасажирськими перевезеннями та наявність при плануванні нечіткої вхідної інформації для розв'язання поставленої науково-прикладної

задачі доцільним є використання сучасного підходу на основі математичного апарату нечіткої логіки та нейронних мереж [1].

Результати отриманих експериментальних даних в [5] показали ефективність запропонованого методу проектування математичної моделі СППР для оперативного корегування поїздоутворенням в дальньому сполученні. Розробка на прикладі [5] нової моделі, пристосованої шляхом навчання та адаптації до особливостей коливань пасажиропотоків міжрегіональних поїздів "Інтерсіті" та "Інтерсіті +", дозволить отримати якісно нову модель СППР оперативного регулювання композиції даних поїздів [1].

Запропонований метод проектування математичної моделі оперативного регулювання швидкісним пасажирським рухом дозволяє, використовуючи нелінійні принципи, подати експертні висновки за допомогою правил, а існуюча гібридна технологія адаптивних нейро-нечітких систем висновків ANFIS – (Adaptive Network-based Fuzzy Interference System) дає можливість автоматизувати процес настроювання моделі [1].

Створення запропонованої СППР може бути одним з перших та важливих етапів впровадження маркетинго-логістичної системи організації та управління швидкісними пасажирськими перевезеннями на залізничному транспорті України. Ця система управління забезпечить координацію перевізних та пропускових можливостей залізниць та зростаючих обсягів пасажиропотоків, тобто логістична система повинна бути цілісною, забезпечити акумулювання всіх інформаційних технологій управління перевезеннями, а саме: створення мережі багатофункціональних логістичних центрів або спеціалізованих логістичних підрозділів, формування довгострокових проєктів щодо забезпечення сервісного обслуговування пасажирів. Принциповою особливістю розвитку сучасної організації управління перевізним процесом є перехід від інформаційних до інформаційно-аналітичних систем управління, важлива роль в яких належить взаємозв'язку маркетингових та логістичних досліджень. Логістичні підрозділи, що оцінили маркетингову інформацію про реальний попит, забезпечують логістичну пропозицію і забезпечують реалізацію цього

попиту в наданні транспортних послуг. Відсутність цілісних маркетингових структур не дає змоги сформувати перспективні пропозиції, що впливає на рівень конкурентоспроможності. Формування структури пасажирських залізничних перевезень на основі логістики створює умови для оптимізації перевізного процесу і формування інтермодальних транспортних систем, формування науково обґрунтованого графіка руху поїздів і його оперативного втручання з боку диспетчерської служби, уніфікації системи управління пасажирськими перевезеннями в умовах будівництва швидкісних магістралей, підвищення сфер конкурентної діяльності всіх перевізників у різних сегментах [3].

Маркетинговий підхід до організації пасажирських перевезень, тобто послуг тісно пов'язаний із логістичною оптимізацією та управлінням системами пасажиропотоків. Усі витрати для маркетингової діяльності залізничних підприємств, як і витрати на логістику, повинні враховуватись при встановленні тарифів на пасажирські перевезення, тобто йдеться про інформацію маркетингу та логістики, функції яких органічно поєднуються в спільні технології. Ці технології вимагають системних маркетингових досліджень транспортного ринку, цінової політики, логістичної оптимізації витрат в розподілі пасажиропотоків, які повинні задовольняти попит клієнтів [3].

Висновок. Отже, найбільш логічною подальшою перспективою розвитку сучасних швидкісних пасажирських перевезень є розвиток системи експлуатації поїздів категорії ІС+ та ІС на основі використання нових зразків швидкісного рухомого складу, переважно вітчизняного виробництва, технічні та експлуатаційні характеристики яких дозволять реалізувати гнучку систему експлуатації, управління якою можливе на основі СППР. Створення такої системи експлуатації дозволить в подальшому реалізувати маркетинго-логістичне управління швидкісним рухом, ефективна реалізація якого дозволить підвищити якість обслуговування пасажирів, збільшити доходи від пасажирських перевезень, знизити експлуатаційні витрати.

Список використаних джерел

1. Константинов, Д.В. Удосконалення системи міжрегіональних пасажирських перевезень залізниць України [Текст] / Д.В. Константинов, О.Г. Черваньова // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 135. – С.113-119.
2. Объем пассажирских перевозок в Украине снизился [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zatramvaj.org.ua/anonsu/Obem-passazhirskih-perevozok-v-Ukraine-snizilsya>.
3. Копитко, В.І. Маркетинго-логістичний підхід в організації пасажирських перевезень на залізничному транспорті [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.vuzlib.org/>
4. Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту від 27 грудня 2006 р. N 651-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua/>
5. Бутько, Т.В. Застосування нейро-нечіткого моделювання в системах підтримки прийняття рішень для оперативного корегування поїздоутворенням пасажирських составів [Текст] / Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2006. – Вып. 1/2(19). – С.32-36.

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

Константинов Денис Володимирович, канд. техн. наук, кафедра управління експлуатаційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 0577301088.
Коновалюк Любов Василівна, студентка факультету “Управління процесами перевезень” Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 0502075743.

Konstantinov D.V., Candidate of Science, Senior Lecturer, Department of management of operational work, Ukrainian State Academy of Railway Transport.
Konovalyuk L.V., Student of group 12-5-Organization of transportation and management on transport, Master Ukrainian State Academy of Railway Transport.

УДК 656.212.5:656.254

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ ПРИКОРДОННОЇ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ СУПУТНИКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Студ. А.Г. Колісник

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ ПОГРАНИЧНОЙ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Студ. А.Г. Колесник

IMPROVEMENT TECHNOLOGY WORKS SWITCHYARD BY INTRODUCTION OF SATELLITE TECHNOLOGY

Student A. Kolisnyk

Пропонується удосконалити процес розпуску вагонів на сортувальній гірці шляхом впровадження сучасних супутникових технологій, що допоможе зменшити час розпуску составів за рахунок виключення однієї з обов'язкових операцій, а саме осаджування вагонів з боку гірки для ліквідації простору між вагонами, які знаходяться на накопичувальних коліях сортувального парку.

Ключові слова: ГЛОНАСС, позиціонування, осаджування, трекер, ресурсозбереження.

Предлагается усовершенствовать процесс роспуска вагонов на сортировочной горке путем внедрения современных спутниковых технологий, что позволит уменьшить время роспуска составов за счет исключения одной из обязательных операций, а именно осаживания вагонов со стороны

горки для ликвидации пространства между вагонами, которые находятся на путях накопления сортировочного парка.

Ключевые слова: ГЛОНАСС, позиционирование, осаживание, трекер, ресурсосбережение.

It is proposed to improve the process of dissolution of the cars on the hill sorting through the introduction of modern satellite technology, which will help reduce the time of dissolution trains by eliminating one of the essential operations such as sedimentation cars from the hills to eliminate the space between the cars, which are funded on tracks sorting Park. Implementation of such systems will help improve the process of dissolution of the trains at the border switchyard, which will reduce the time to disband-forming trains, reducing fuel and energy costs. Save time on operations-forming disbandment will reduce idle cars in marshalling border stations, including cars belonging other states are simple and inexpensive.

Keywords: GLONASS, positioning, precipitation, tracker, resource.

Вступ. ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система) – радіонавігаційна супутникова система, створена за підтримки уряду Російської Федерації. Вона є однією з двох функціонуючих на сьогодні систем глобальної супутникової навігації. ГЛОНАСС призначена для оперативного навігаційно-часового забезпечення необмеженого числа користувачів наземного, морського, повітряного і космічного базування.

Відповідно до положень Транспортної стратегії України на період до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-Р), одним із основних напрямків підвищення ефективності роботи прикордонних сортувальних станцій в рамках забезпечення конкурентоспроможності є удосконалення існуючих та створення нових, у тому числі навігаційно-супутникових, технологій. Впровадження глобальних навігаційних супутникових систем потребує нових підходів та науково обґрунтованих рекомендацій щодо вибору оптимальної технології розпуску поїздів на сортувальній гірці прикордонної станції.

Постановка задачі у загальному вигляді. З урахуванням вищенаведеного робимо висновок, що першою необхідною умовою для початку використання супутникових технологій в організації перевізного процесу на залізницях України є розробка високоточного координатного простору, створення цифрових шляхів з усіма елементами залізничної інфраструктури. Другою умовою є забезпечення позиціонування на цифрових моделях шляхів із необхідною

точністю рухомих одиниць (локомотивів, вагонів та ін.).

Основна частина дослідження.

Організація і управління маневровою роботою вимагають безперервного потоку інформації про позиціонування маневрових локомотивів на станційних коліях.

Для повністю автоматизованого управління процесом розформування та формування поїздів, подачі вагонів на вантажні fronti та інших операцій повинна бути поставлена і вирішена задача забезпечення позиціонування на станціях вантажних і пасажирських вагонів.

Серед критеріїв, що оцінюють якість проведення сортувальних операцій з використанням високоточних координатно-навігаційних систем (ГЛОНАСС), найбільш істотними є витрати на паливо (електроенергію) при розформуванні составів і тривалість виконання основних операцій гіркового циклу: насув, розпуск та розміщення вагонів на коліях накопичення. Як відомо, останній критерій у значній мірі впливає на тривалість сортувальних операцій гіркового циклу.

Досліджуючи вплив конструктивних параметрів сортувальних гірок з позиції економії часу, доцільно розробити модель, що враховує залежність сумарної витрати часу від характеру поздовжнього профілю насувної частини, часу на розпуск вагонів з гірки та швидкості розпуску вагонів. При формуванні моделі пропонується розглянути состав не як матеріальну точку, а у вигляді протяжного об'єкта зі зміною довжини і маси. Поздовжній профіль насувної частини двохелементний, як найбільш розповсюджений на залізницях України.

Поставлена задача має екстремальний характер. Тому як цільову функцію

пропонується розглянути таку модель процесу розформування составів на сортувальній гірці:

$$T_{p-\phi} = \int_0^{t_k} (b_0 + b_1 \cdot V(t, i_1, i_2) + b_2 \cdot (V(t, i_1, i_2))^2) dt \rightarrow T_{n \min},$$

де t_k - момент закінчення розпуску состава, с;

T_p - час на розформування составів;

V - швидкість состава у момент часу t , м/с;

Q - вихідна вага состава, кН;

l_c - вихідна довжина состава, м;

b_0, b_1, b_2 - емпіричні коефіцієнти;

i_1, l_1, i_2, l_2 - ухил, ‰, і довжина, м, відповідно першого і другого елементів профілю насувної частини.

Таким чином, цільова функція є інтегралом з перемінною верхньою межею.

Вибір оптимальних параметрів поздовжнього профілю насувної частини необхідно здійснювати при однакових вихідних даних: при одних і тих же профільній висоті (h_{np}) і довжині (l_{nac}) насувної частини. У цьому випадку довжину першої ділянки можна визначити виходячи з заданих ухилів i_1 і i_2 .

$$\begin{cases} F_k(V(t, i_1, i_2)) \leq F_{k \max}, \\ 0 \leq V(t, i_1, i_2) \leq V_p \text{ при } 0 \leq t \leq t_p, \\ |V(t, i_1, i_2) - V_p| \leq 0.5 \text{ при } t_p < t \leq t_k, \\ 0 \leq Q'(t) \leq Q, \quad 0 \leq l_c'(t) \leq l_c, \\ -2.5 \leq i_k \leq 2.5, \quad 50 \leq l_2 \leq 150, \\ 0 \leq i_1 \leq 2, \quad 8 \leq i_2 \leq 16, \\ l_1 + l_2 = l_{nac}, \quad i_1 \cdot l_1 + i_2 \cdot l_2 = h_{np}, \end{cases}$$

$$V(0) = 0, \quad t(0) = 0, \quad S(0) = 0, \quad Q'(0) = Q, \quad l_c'(0) = l_c.$$

Визначення швидкості розпуску состава

$$\begin{cases} \frac{dV(t, i_1, i_2)}{dt} = \frac{g}{P_n + Q'(t)} (F_k(V(t, i_1, i_2)) - W_k(V(t, i_1, i_2)) - \\ - (P_n + Q'(t)) \cdot i_{cp}(i_1, i_2, S(t), l_c'(t))), \\ ds = r(t, i_1, i_2) dt, \\ dS = V(t, i_1, i_2) dt, \end{cases}$$

де g - прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

r - відстань до попереднього вагона, м ;

P_d - вага локомотива, кН ;

$F_k(V(t, i_1, i_2))$ - сила тяги локомотива, Н ;

$W_k(V(t, i_1, i_2))$ - опір руху состава, Н ;

$i_{cp}(i_1, i_2, S(t), l_c'(t))$ - середній підйом, на якому знаходиться состав, що насувається, %;

$Q'(t)$, $l_c'(t)$ - відповідно вага, кН , і довжина, м , состава у момент часу t ;

$S(t)$ - пройдений шлях локомотивом до моменту часу t , м .

Впровадження сучасних супутникових технологій у процес розпуску вагонів на сортувальній гірці допоможе зменшити час розпуску составів за рахунок виключення однієї з обов'язкових операцій, а саме осаджування вагонів з боку гірки для ліквідації простору між вагонами, які знаходяться на коліях накопичення сортувального парку.

За допомогою високоточних глобальних навігаційних систем, впроваджених на сортувальній гірці, відстань зупинки вагонів один від одного можна буде контролювати за допомогою трекерів, вбудованих у вагонах, програмного забезпечення (ПЗ), яке методом найменших квадратів увесь час буде розраховувати відстань від вагона, що скочується з гірки, до вагона, що вже стоїть на коліях накопичення. За допомогою обладнання, яким буде оснащена гальмівна система вагонів, буде контролюватися швидкість відчепа.

Таким чином, трекер, встановлений на вагоні, подає сигнал на супутник, яким повідомляє свої точні координати місцезнаходження, далі інформація за

допомогою ПЗ, а саме СППР, обробляється. Знаючи координати вагона, який стоїть попереду на колії накопичення, розраховується відстань між вагонами, а потім необхідна швидкість розпуску. Якщо вона більше, ніж потрібна, то подається сигнал на пристрій, який знаходиться у гальмівному обладнанні вагона, а саме в резервуарі, і вагон набуває значення швидкості, яке буде необхідним для його зупинки з точністю за 2-3 мм від попереднього вагона, що виключить можливість створення простору між вагонами і жоден вагон не отримає технічного пошкодження від удару.

Алгоритм роботи сортувальної гірки після впровадження сучасних високоточних координатно-супутникових систем наведений на рисунку.

Висновок. Запропонована модель розформування-формування составів забезпечує можливість найбільш ефективної роботи маневрового локомотива з використанням високоточних координатно-навігаційних систем з позиції ресурсозбереження. Впровадження таких систем допоможе удосконалити процес розпуску составів на прикордонній сортувальній станції, що дозволить зменшити час на розформування-формування составів, зменшити паливно-енергетичні витрати завдяки виключенню такої операції, як закінчення формування з боку сортувальної гірки. Економія часу на операціях формування-розформування приведе до зменшення простою вагонів на сортувальних прикордонних станціях, зокрема вагонів належності інших держав, простій яких дорого коштує.

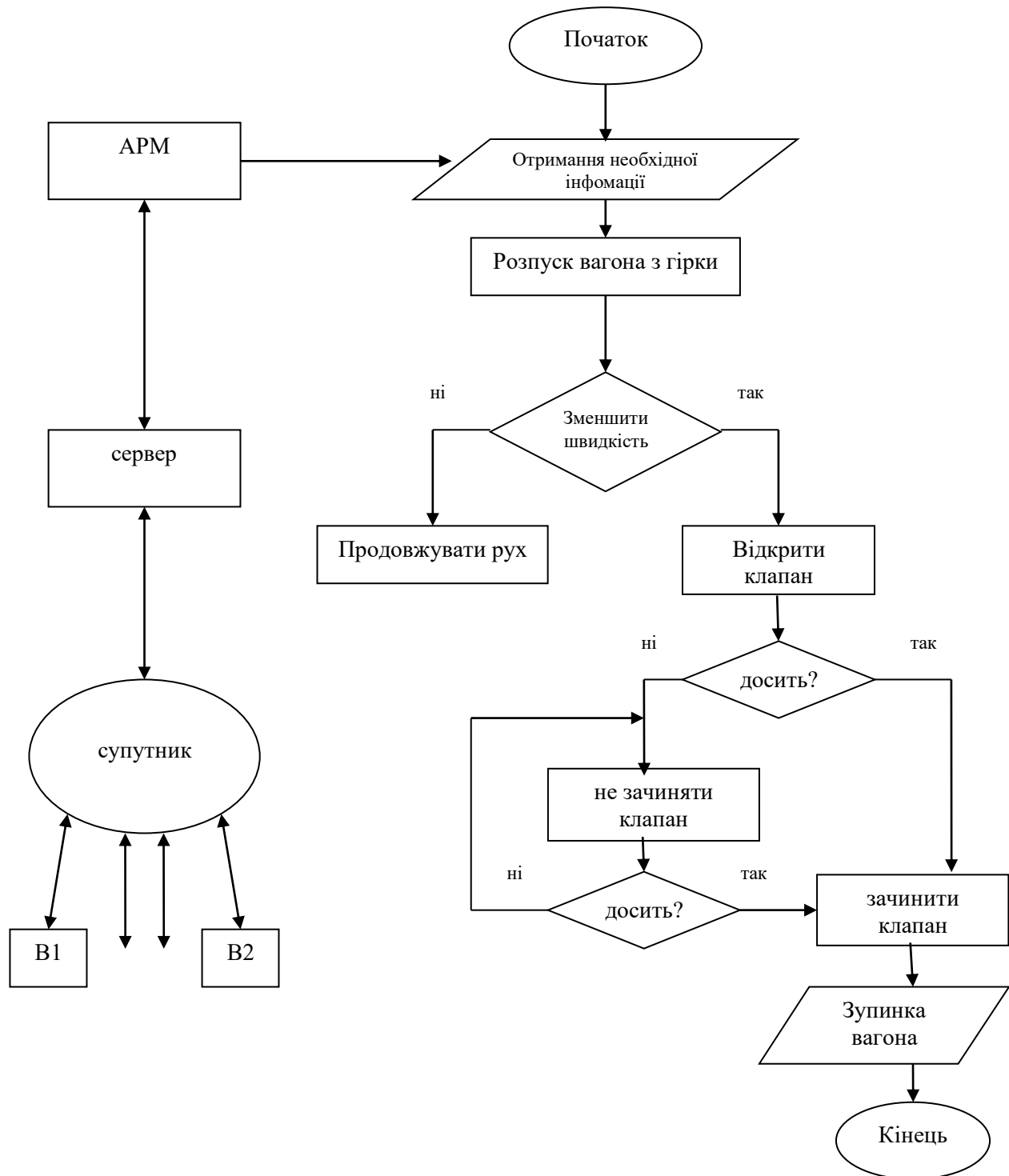


Рис. Алгоритм роботи сортувальної гірки

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: <http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html/> 10.12.2009.

2. Концепція державної програми реформування залізничного транспорту України [Текст]: схвалена розпорядженням КМУ № 651-р від 27.12.2006. – К.: Магістраль. – №1 (1179), 10-16 січня 2007 р. – 6 с.
3. Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.glonass-center.ru/GLONASS>.
4. Электронное издание «Глонасс-портал» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.glonass-portal.ru>.
5. Закон України «Про залізничний транспорт», введений в дію Постановою Верховної Ради України № 274/96-ВР від 04.07.1996 р. [Текст] // Відомості Верховної Ради. – 1996. – № 40. – 65 с.
6. Данько, М.І. Удосконалення функціональних можливостей автоматизованого аналізу стану технічних засобів в частині прийняття керівних рішень на умовах ресурсозбереження [Текст] / М.І. Данько, А.М. Котенко, В.В. Кулешов, А.В. Кулешов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. - № 4/7 (40). – С. 4-7.
7. Кулешов, В.М. Системний аналіз використання технічних засобів залізничних станцій [Текст] / В.М. Кулешов, М.П. Носенко, Ю.А. Рябушка // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – 2/6(26). - С. 14-16.
8. Крутин, А. Современные спутниковые технологии [Текст] // Железные дороги мира. – 2010. - № 12. – С. 19-25.
9. Шапкин, А.С. Математические методы и модели исследования операций. – 5 изд. [Текст] / А.С. Шапкин, В.А. Шапкин. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2009. - 400 с.
10. Офіційний веб-сайт «Міністерство інфраструктури України». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mtu.gov.ua>.

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

Колісник Андрій Геннадійович, студент групи 13-V-ОПУТм кафедра управління експлуатаційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. E-mail: kolesnik_andrey.10@mail.ru.

Kolisnyk Andriy, student, dept. of operational work of Ukrainian State Academy of Railway Transport. E-mail: kolesnik_andrey.10@mail.ru.

УДК 656.212.5

РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СТРУКТУР ГІРКОВИХ ГОРЛОВИН З ВАГОННИМИ УПОВІЛЬНЮВАЧАМИ ЛЕГКИХ ТИПІВ

Д-р техн. наук О.М. Огар

РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУР ГОРОЧНЫХ ГОРЛОВИН С ВАГОННЫМИ ЗАМЕДЛИТЕЛЯМИ ЛЕГКИХ ТИПОВ

Д-р техн. наук А.Н. Огарь

CALCULATION OF CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF HUMPS MOUTHS STRUCTURES WITH CAR RETARDER OF LIGHT TYPES

Doct. of techn. sciences O. Ogar

Обґрунтовано доцільність використання структур гіркових горловин нового класу. Вказано на недоліки типових структур гіркових горловин, а також структур, що експлуатуються на залізничних станціях України і країн СНД. Зазначено шляхи усунення виявлених недоліків в окремих закордонних країнах. Проаналізовано наукові підходи до проектування і розрахунку параметрів гіркових горловин. Сформовано математичну модель визначення потрібної кількості вагонних

уповільнювачів на гальмових позиціях сортувальної гірки та раціонального варіанта їх розташування в межах спускної частини.

Ключові слова: сортувальна гірка, конструктивні параметри, гіркова горловина, вагонний уповільнювач, гальмова позиція, структура, ресурс.

Обоснована целесообразность использования структур горочных горловин нового класса. Указано на недостатки типовых структур горочных горловин, а также структур, которые эксплуатируются на железнодорожных станциях Украины и стран СНГ. Отмечены пути устранения выявленных недостатков в отдельных зарубежных странах. Проанализированы научные подходы к проектированию и расчету параметров горочных горловин. Сформирована математическая модель определения необходимого числа вагонных замедлителей на тормозных позициях сортировочной горки и рационального варианта их расположения в пределах спускной части.

Ключевые слова: сортировочная горка, конструктивные параметры, горочная горловина, вагонный замедлитель, тормозная позиция, структура, ресурс.

Using reasonability of new class of hump mouth structures was based. The disadvantages of typical structures of hump mouths, also structures, which are used at the Ukrainian and CIS railway stations were pointed to. Disposal ways of revealed disadvantages in separate foreign countries were noted. Scientific ways to designing and calculation of hump mouths parameters were analyzed. Mathematic definition model of needed number of car retarder at the break positions of sorting hump and rational variant their disposition within drain part was formed. Optimization criterion of constructive structure parameters of hump mouths with car retarder of light types was proposed. Scientific task was produced as task in stochastic integer-valued programming with non-linear target function and non-linear limitation inequality. In conclusion, proposed mathematic definition model of needed number of car retarder at the break positions of sorting hump and rational variant their disposition within drain part is allowed to get one or several alternative placing schemes of low-power delay mechanism in the testing area, it is given a possibility more objective estimation of effectiveness application of hump mouths structures of new class.

Key words: sorting hump, constructive parameters, hump mouth, car retarder, break position, structure, resource.

Вступ. Одними з основних конструктивних параметрів гіркової горловини, що визначають рівень використання виробничих і перевізних ресурсів, є кількість гальмових позицій (ГП) на спускній частині (СЧ) і кількість уповільнювачів, що може бути встановлено на них. Під виробничими ресурсами в даному випадку розуміються засоби регулювання швидкості скочування відчепів, що встановлюються на спускній частині і підгіркових коліях, під перевізними – вагони робочого парку. При цьому слід відзначити суттєву залежність показників, на основі яких визначається рівень використання виробничих і перевізних ресурсів (потужність паркової гальмової позиції (ПГП), середня швидкість співударяння вагонів і середня величина «вікна» на коліях підгіркового парку), від основних конструктивних параметрів гіркової горловини. У зв'язку з цим доцільним є використання структур гіркових горловин нового класу [1], що забезпечать підвищення

якісних показників сортувального процесу і, відповідно, заощадження виробничих і перевізних ресурсів.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Типові структури гіркових горловин, а також структури, що експлуатуються, в основному орієнтовані на використання одно- або двопозиційного регулювання швидкості скочування відчепів. Досвід застосування таких горловин на залізничних станціях України і країн СНД показав низьку їх ефективність з точки зору забезпечення необхідного рівня інтервального і прицільного регулювання. Цей суттєвий недолік структур гіркових горловин в окремих закордонних країнах намагалися вирішити декількома шляхами: повною автоматизацією сортувального процесу, застосуванням вагоноосаджувачів, уповільнювачів-прискорювачів, точкових і гвинтових уповільнювачів тощо. Використання

так званого квазібезперервного регулювання швидкості скочування відцепів на спускній частині і підгіркових коліях суттєво підвищило якісні показники сортувального процесу, не дивлячись на окремі недоліки даної системи регулювання. Враховуючи те, що виробництво подібних уповільнювачів поки що в Україні відсутнє, а закупівля їх за кордоном є економічно недоцільним, ідею квазібезперервного регулювання певною мірою можна реалізувати шляхом розроблення структур гіркових горловин з більшою кількістю гальмових позицій на спускній частині, орієнтованих на використання малопотужних (паркових) уповільнювачів РНЗ-2, РНЗ-2М, ЗВУ-07.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Створенням і розвитком теоретичних підходів до проектування і розрахунку параметрів гіркових горловин займалися такі вчені, як Л.В. Абуладзе, Є.В. Архангельський, І.В. Берестов, В.І. Бобровський, В.Я. Болотний, Т.В. Бутько, М.І. Данько, О.М. Долаберідзе, Ю.І. Єфіменко, В.К. Івашкевич, А.М. Карпов, Д.М. Козаченко, Б.О. Кривошей, М.Н. Луговцов, С.С. Мацкель, Є.В. Нагорний, В.Я. Негрей, В.Д. Нікітін, В.М. Образцов, В.Є. Павлов, І.Є. Савченко, І.І. Страковський, М.М. Уздін та ін.

Основною метою удосконалення наукових підходів щодо розрахунку конструктивних параметрів структур гіркових горловин, які відображені в останніх працях [2-5], є мінімізація витрат на розформування составів. Разом з тим останні дослідження спрямовані в основному на удосконалення існуючих конструкцій гіркових горловин, а не на розроблення нових, що забезпечують заощадження енергетичних, виробничих і перевізних ресурсів.

Визначення мети і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення заощадження виробничих і перевізних ресурсів при використанні структур гіркових горловин нового класу шляхом розроблення наукового підходу до розрахунку їхніх раціональних конструктивних параметрів. Виходячи з цього основним завданням дослідження є формування математичної моделі визначення потрібної кількості вагонних уповільнювачів на гальмових позиціях сортувальної гірки та раціонального варіанта їх розташування в межах спускної частини.

Основна частина дослідження. Потрібна кількість вагонних уповільнювачів на ГП СГ та раціональний варіант їх розташування в межах спускної частини для заданої конструкції гіркової горловини пропонується визначати за критерієм мінімуму капіталовкладень у засоби регулювання швидкості скочування відцепів, які передбачається використовувати на позиціях сортувального пристрою. Якщо кожному колійну дільницю, призначену для розміщення вагонного уповільнювача, розглядати як окремий елемент гіркової горловини, то для побудови моделі необхідно ввести такі множини і величини:

I – множина колійних дільниць гіркової горловини;

i – номер колійної дільниці з множини I , $i \in I$;

J – множина сортувальних колій;

j – номер сортувальної колії із множини J , $j \in J$;

I^j – підмножина колійних дільниць по маршруту скочування на сортувальну колію j , $I^j \subset I$;

$i(j)$ – номер колійної дільниці з підмножини I^j , $i(j) \in I^j$;

$I^{s1}, I^{s2}, \dots, I^{sk}$ – підмножина колійних дільниць по маршруту скочування хорошого бігуна (ХБ) відповідно до стрілочного переводу 1, 2, ..., k , $I^{s1}, I^{s2}, \dots, I^{sk} \subset I$;

$i(s1), i(s2), \dots, i(sk)$ – номер колійної дільниці відповідно з підмножини $I^{s1}, I^{s2}, \dots, I^{sk}$,

$i(s1) \in I^{s1}, i(s2) \in I^{s2}, \dots, i(sk) \in I^{sk}$;

$I^{k\partial 2}, I^{k\partial 3}, \dots, I^{k\partial n}$ – підмножина колійних дільниць по маршруту скочування ХБ відповідно до колійної дільниці 2, 3, ..., n , де n – порядковий номер останньої колійної дільниці гіркової горловини, $I^{k\partial 2}, I^{k\partial 3}, \dots, I^{k\partial n} \subset I$;

$i(k\partial 2), i(k\partial 3), \dots, i(k\partial n)$ – номер колійної дільниці відповідно з підмножини $I^{k\partial 2}, I^{k\partial 3}, \dots, I^{k\partial n}$,

$i(k\partial 2) \in I^{k\partial 2}, i(k\partial 3) \in I^{k\partial 3}, \dots, i(k\partial n) \in I^{k\partial n}$;

$Z_{\Gamma}(i(j))$ – множина ступенів гальмування ХБ на вагонному уповільнювачі, що розташований на $i(j)$ -й колійній ділянці, $Z_{\Gamma}(i(j)) = \{0,1,2,3,4\}$, $i(j) \in I^j$, $I^j \subset I$;

$z_{\Gamma i(j)}$ – ступінь гальмування ХБ із множини $Z_{\Gamma}(i(j))$, $z_{\Gamma i(j)} \in Z_{\Gamma}(i(j))$. Якщо $z_{\Gamma i(j)} = 0$, то на вагонному уповільнювачі, що розташований на $i(j)$ -й колійній ділянці, гальмування ХБ не відбувається.

Величина капіталовкладень у вагонні уповільнювачі визначається планом їх розподілу і не залежить від часових параметрів. Останні необхідні тільки для визначення технологічних параметрів скочування розрахункових бігунів при заданій комбінації

розташування уповільнювачів на полігоні. Отримані числові характеристики руху бігунів вказують на можливість приналежності комбінації області допустимих рішень.

Формально розподіл вагонних уповільнювачів на полігоні можна представити набором незалежних величин, значення яких встановлюються в результаті розв'язання задачі та однозначно визначають кількість і місце встановлення уповільнювачів на гальмових позиціях сортувальної гірки. Такими величинами можуть служити логічні змінні $x_i \in \{0,1\}$, $i \in I$. Якщо в результаті розв'язання задачі виявиться, що $x_i = 1$, це означає, що на i -й колійній ділянці СЧ має стояти вагонний уповільнювач.

У відповідності з цим цільову функцію можна записати в такому аналітичному вигляді

$$K(x) = K_{yn}^{cq} \cdot \sum_{i \in I} x_i + K_{yn}^{ck} \cdot \sum_{\substack{j \in J, \\ i(j) \in I^j}} N_{yn}^{nzn} \left(V_{\beta}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(j)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(j)}(x_{i(j)}) \right) \right) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де K_{yn}^{cq}, K_{yn}^{ck} – вартість вагонних уповільнювачів, обраних для застосування на гальмових позиціях відповідно спускної частини і ППП, тис. грн;

$H_{\Gamma i(j)}^{XB}$, $z_{\Gamma i(j)}$ – відповідно величина, кДж/кН, і ступінь гальмування ХБ на вагонному уповільнювачі, що розташований на $i(j)$ -й колійній ділянці;

$x_{i(j)}$ – кількість вагонних уповільнювачів на $i(j)$ -й колійній ділянці, $x_{i(j)} \in \{0,1\}$, $i(j) \in I^j$, $I^j \subset I$;

N_{yn}^{nzn} – кількість вагонних уповільнювачів на ППП j -ї сортувальної колії,

$$N_{yn}^{nzn} = \left\lceil \frac{1}{h_{yn}^{ном}} \left(\frac{V_{вх\ nzn}^{XB}{}^2 - V_{вих\ nzn}^{XB}{}^2}{2 \cdot g'_{XB}} + l_{nzn} \cdot (i_{nzn} - \omega_o^{XB} - \omega_{кр}^{XB} - \omega_{св}^{XB} - \omega_{сн}^{XB}) \cdot 10^{-3} \right) \right\rceil, \quad (2)$$

де $h_{yn}^{ном}$ – номінальна потужність уповільнювачів ППП, кДж/кН;

$V_{вх\ nzn}^{XB}$ – найбільша швидкість входу ХБ на ППП j -ї сортувальної колії, м/с. $V_{вх\ nzn}^{XB}$ є функцією $V_{\beta}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(j)}^{XB} \left(z_{\Gamma i(j)}(x_{i(j)}) \right)$, де $i(j) \in I^j$, $I^j \subset I$;

$V_{вих\ nzn}^{XB}$ – швидкість виходу ХБ з ППП, $V_{вих\ nzn}^{XB} = 1,4$ м/с;

g'_{XB} – прискорення вільного падіння з урахуванням моменту інерції мас, що обертаються, ХБ, м/с²;

l_{nzn} – довжина ділянки ППП, у межах якої здійснюється регулювання, м;

i_{nzn} – крутість уклону ППП, ‰;

ω_o^{XB} – основний питомий опір ХБ, Н/кН;

$\omega_{кр}^{XB}, \omega_{св}^{XB}, \omega_{сн}^{XB}$ – середні значення додаткового питомого опору ХБ відповідно від кривих, середовища і вітру, снігу та інею в межах дільниці ПП, Н/кН.

Задача визначення потрібної кількості вагонних уповільнювачів на ГП СГ та раціонального варіанта їх розташування в межах спускної частини для заданої конструкції гіркової горловини розв'язується при таких обмеженнях-нерівностях:

$$\left\{ \begin{array}{l} P(V_{\text{вх } \kappa \partial 2}^{XB}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa \partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa \partial 2)}(x_{i(\kappa \partial 2)}))) \leq V_{\max}) \geq a_v; \\ \dots \dots \dots \\ P(V_{\text{вх } \kappa \partial n}^{XB}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa \partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa \partial n)}(x_{i(\kappa \partial n)}))) \leq V_{\max}) \geq a_v; \\ P(\delta_{PB-XB}^{*s1}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB}(z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)}))) \geq 0) \geq a; \\ P(\delta_{XB-PB}^{*s1}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB}(z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)}))) \geq 0) \geq a; \\ \dots \dots \dots \\ P(\delta_{PB-XB}^{*sk}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB}(z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)}))) \geq 0) \geq a; \\ P(\delta_{XB-PB}^{*sk}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB}(z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)}))) \geq 0) \geq a; \\ P(\delta_{PB-XB}^{*\kappa \partial 2}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa \partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa \partial 2)}(x_{i(\kappa \partial 2)}))) \geq 0) \geq a; \\ P(\delta_{XB-PB}^{*\kappa \partial 2}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa \partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa \partial 2)}(x_{i(\kappa \partial 2)}))) \geq 0) \geq a; \\ \dots \dots \dots \\ P(\delta_{PB-XB}^{*\kappa \partial n}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa \partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa \partial n)}(x_{i(\kappa \partial n)}))) \geq 0) \geq a; \\ P(\delta_{XB-PB}^{*\kappa \partial n}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa \partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa \partial n)}(x_{i(\kappa \partial n)}))) \geq 0) \geq a; \\ F(V_{\text{в}}) = \frac{1}{\sigma(V_{\text{в}}) \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{V_{\text{в}}} \exp\left(\frac{-(V_{\text{в}} - M(V_{\text{в}}))^2}{2 \cdot (\sigma(V_{\text{в}}))^2}\right) dV_{\text{в}}; \\ F(\beta) = \frac{1}{\sigma(\beta) \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\beta} \exp\left(\frac{-(\beta - M(\beta))^2}{2 \cdot (\sigma(\beta))^2}\right) d\beta, \end{array} \right. \quad (3)$$

де $V_{\text{вх } \kappa \partial 2}^{XB}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa \partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa \partial 2)}(x_{i(\kappa \partial 2)})))$, ..., $V_{\text{вх } \kappa \partial n}^{XB}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa \partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa \partial n)}(x_{i(\kappa \partial n)})))$ – швидкість входу ХБ, м/с, відповідно на колійну дільницю 2, ..., n, $i(\kappa \partial 2) \in I^{\kappa \partial 2}$, ..., $i(\kappa \partial n) \in I^{\kappa \partial n}$;

a_v – задана імовірність виконання умови входу ХБ на колійні дільниці гірки зі швидкістю, що не перевищує $V_{\max}$;

$V_{\max}$ – максимально можлива швидкість входу вагонів на вагонні уповільнювачі ГП спускної частини, м/с;

$$\begin{array}{l} \delta_{PB-XB}^{*s1}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB}(z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)}))), \delta_{XB-PB}^{*s1}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB}(z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)}))), \dots, \\ \delta_{PB-XB}^{*sk}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB}(z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)}))), \delta_{XB-PB}^{*sk}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB}(z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)}))), \\ \delta_{PB-XB}^{*\kappa \partial 2}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa \partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa \partial 2)}(x_{i(\kappa \partial 2)}))), \delta_{XB-PB}^{*\kappa \partial 2}(V_{\text{в}}(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa \partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa \partial 2)}(x_{i(\kappa \partial 2)}))), \dots, \end{array}$$

$$\delta_{PB-XB}^{*\kappa\partial n}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)}))) \cdot \delta_{XB-PB}^{*\kappa\partial n}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)}))) -$$

випадкове значення інтервалу відповідно на стрілочному переводі 1, ..., k і колійній ділянці 2, ..., n при скочуванні розрахункових бігунів у розрахункових сполученнях РБ-ХБ і ХБ-РБ, с, де РБ – розрахунковий бігун.

Задача, що розглядається, є задачею стохастичного цілочисельного програмування з нелінійною цільовою функцією і нелінійними

обмеженнями-нерівностями. Перетворимо вихідну імовірнісну задачу в еквівалентну детерміновану задачу при $a=a_v=0,95$:

$$K(x) = K_{yn}^{cq} \cdot \sum_{i \in I} x_i + K_{yn}^{ck} \cdot \sum_{\substack{j \in J, \\ i(j) \in I^j}} N_{yn}^{nzn} (V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(j)}^{XB}(z_{\Gamma i(j)}(x_{i(j)}))) \rightarrow \min, \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{aligned} &M(V_{\text{вх} \kappa\partial 2}^{XB}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)})))) + 1,645 \cdot \sqrt{D(V_{\text{вх} \kappa\partial 2}^{XB}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)}))))} \leq V_{\max}; \\ &\dots\dots\dots \\ &M(V_{\text{вх} \kappa\partial n}^{XB}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)})))) + 1,645 \cdot \sqrt{D(V_{\text{вх} \kappa\partial n}^{XB}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)}))))} \leq V_{\max}; \\ &M(\delta_{PB-XB}^{*s1}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB}(z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB}^{*s1}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB}(z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)}))))} \geq 0; \\ &M(\delta_{XB-PB}^{*s1}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB}(z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB}^{*s1}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(s1)}^{XB}(z_{\Gamma i(s1)}(x_{i(s1)}))))} \geq 0; \\ &\dots\dots\dots \\ &M(\delta_{PB-XB}^{*sk}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB}(z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB}^{*sk}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB}(z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)}))))} \geq 0; \\ &M(\delta_{XB-PB}^{*sk}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB}(z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB}^{*sk}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(sk)}^{XB}(z_{\Gamma i(sk)}(x_{i(sk)}))))} \geq 0; \\ &M(\delta_{PB-XB}^{*\kappa\partial 2}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB}^{*\kappa\partial 2}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)}))))} \geq 0; \\ &M(\delta_{XB-PB}^{*\kappa\partial 2}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB}^{*\kappa\partial 2}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial 2)}(x_{i(\kappa\partial 2)}))))} \geq 0; \\ &\dots\dots\dots \\ &M(\delta_{PB-XB}^{*\kappa\partial n}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{PB-XB}^{*\kappa\partial n}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)}))))} \geq 0; \\ &M(\delta_{XB-PB}^{*\kappa\partial n}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)})))) - 1,645 \cdot \sqrt{D(\delta_{XB-PB}^{*\kappa\partial n}(V\theta(t), \beta(t), H_{\Gamma i(\kappa\partial n)}^{XB}(z_{\Gamma i(\kappa\partial n)}(x_{i(\kappa\partial n)}))))} \geq 0. \end{aligned} \right. \quad (5)$$

Повною множиною варіантів розв'язання даної комбінаторної задачі є підмножина фазового простору $\Omega \quad Y = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$, де $X_1, X_2, \dots, X_n$ – множина значень відповідно незалежної змінної $X_1, X_2, \dots, X_n$. Враховуючи те, що $X_i = \{0, 1\}$, де $i = \overline{1, n}$, вказана множина варіантів складається з 2^n різних двійкових комбінацій n -го розряду від $(0, 0, \dots, 0)$ до $(1, 1, \dots, 1)$ включно [6].

Оскільки кількість варіантів розв'язання для будь-якої з горловин достатньо велика,

доцільно дану задачу розбити на окремі задачі, що орієнтовані на визначення потрібної кількості вагонних уповільнювачів на ГП СГ та раціонального варіанта їх розташування в межах спускної частини при скочуванні розрахункових бігунів на групу сортувальних колій (пучок або декілька пучків).

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Запропонована математична модель визначення потрібної кількості вагонних уповільнювачів на гальмових позиціях сортувальної гірки та раціонального варіанта їх розташування в

межах спускної частини дозволяє отримати одну або декілька альтернативних схем розміщення малопотужних уповільнювачів на

полігоні. Це надає можливість більш об'єктивно оцінювати ефективність застосування структур гіркових горловин нового класу.

Список використаних джерел

1. Огар, О.М. Напрямки удосконалення конструкцій гіркових горловин сортувальних пристроїв з позиції ресурсозбереження [Текст] / О.М. Огар, О.В. Розсоха // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 5/2 (29). – С. 54-58.
2. Бобровский, В.И. Совершенствование конструкции и технологии работы сортировочных комплексов железнодорожных станций [Текст]: монография / В.И. Бобровский, Д.Н. Козаченко, А.И. Колесник [и др.]. – Днепропетровск: Изд-во Маковецкий, 2012. – 236 с.
3. Бобровский, В.И. Оптимизация параметров элементов плана сортировочных путей [Текст] / В.И. Бобровский, А.И. Колесник, А.С. Дорош // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. – Вип. 38. – С. 35-40.
4. Бобровский, В.И. Совершенствование метода расчета параметров плана горочных горловин [Текст] / В.И. Бобровский, А.И. Колесник // Зб. наук. праць ДонІЗТ. Серія: «Автоматика, телемеханіка, зв'язок». – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – № 26. – С. 40-47.
5. Колесник, А.И. Определение рациональных углов поворота дополнительных кривых горочной горловины [Текст] / А.И. Колесник // Вісник Академії митної служби України. Серія: «Технічні науки». – 2011. – №1(45). – С. 48-56.
6. Литвиненко, А.Е. Метод направленного перебора в системах управления и диагностирования [Текст]: монография / А.Е. Литвиненко. – К., 2007. – 328 с.

Огар Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри залізничних станцій та вузлів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar-07@yandex.ru.

Ogar Alexander, doct. of techn. sciences, Ukrainian state academy of railway transport chair "Railway stations and junctions" professor. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar-07@yandex.ru

УДК 656.224:075.8

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПАСАЖИРСЬКИХ СТАНЦІЙ НА ЇХ ПРОПУСКНУ СПРОМОЖНІСТЬ

Канд. техн. наук К.В. Крячко, магістри О.Є. Саленко, В.А. Єршов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАССАЖИРСКИХ СТАНЦИЙ НА ИХ ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ

Канд. техн. наук К.В. Крячко, магистры А.Е. Саленко, В.А. Ершов

DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF STRUCTURAL PARAMETERS OF PASSENGER STATIONS ON THEIR CAPACITY

Cand. of techn. sciences K. Kryachko, A. Salenko, V. Ershov

Запропоновано методику розрахунку пропускної спроможності горловин головних пасажирських станцій, яка дозволяє здійснювати удосконалення їх конструкцій залежно від обсягів пасажирського руху з урахуванням переміщень на паралельних маршрутах.

Ключові слова: *пропускна спроможність, конструкція горловини, графік руху поїздів, суміжні маршрути, розрахунковий період, згущений період, постійні операції, стрілочна вулиця, ранжирний парк, перонні колії.*

Предложена методика расчета пропускной способности горловин пассажирских станций, которая позволяет усовершенствовать их конструкции в зависимости от размеров пассажирского движения с учетом передвижений на параллельных маршрутах.

Ключевые слова: пропускная способность, конструкция горловин, график движения поездов, смежные маршруты, расчетный период, сгущенный период, постоянные операции, стрелочная улица, ранжирный парк, перронные пути.

Passenger stations are significant differences both on technology and design, therefore, the definition of bandwidth necks for some of them can be implemented by the method that is used for district stations. But passenger stations largest cities should use a method that takes into account a significant number of constructive-technological parameters that require special calculations with the use of probability theory. The technique of calculation of throughput of necks of passenger stations, which allows improving their designs depending on the size of a passenger movement with regard to travel on the parallel routes.

Keywords: bandwidth, the design of the rings, train schedule, adjacent routes, accounting period, condensed period, ongoing operation, analog street, park sludge suburban train, ramp way.

Вступ. Головні пасажирські станції України характеризуються значною інтенсивністю переміщень у горловинах, особливо тих, які обслуговують пасажирський рух у переважному напрямку. Зважаючи на те, що більшість таких станцій були побудовані та реконструйовані близько п'ятдесяти і більше років тому, їх конструкції вимагають суттєвого удосконалення. Але складність полягає ще в тому, що основна більшість з них розташована в середині крупних міст і не дає можливості розроблення раціональних варіантів, тому попередньо необхідно провести дослідження впливу конструктивних і технологічних параметрів при використанні найновіших методик.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Визначення раціональних конструктивних параметрів пасажирських станцій з метою забезпечення необхідної їхньої пропускної спроможності для організації стабільної роботи основних магістральних напрямків є однією з основних проблем розвитку конкурентного ринку залізничних перевезень.

Особливо це питання стосується головних пасажирських станцій, які утворюють значні приміські поїздопотоки, обслуговують пасажирські поїзди різних категорій і їхній рухомий склад [1]. Серед спеціалізованих пасажирських станцій є такі, що не утворюють приміські та пасажирські поїздопотоки, а тільки обслуговують транзитний пасажирський рух; у зв'язку з цим вони не належать до головних.

Із загальної кількості спеціалізованих пасажирських станцій майже половина запроектована за схемами наскрізного типу, близько 30 % – тупикового і решта – комбінованого типу [2].

Через складність розвитку основної частини спеціалізованих пасажирських станцій, які розташовуються в центральній частині великих міст, виникли недосконалі конструкції стрілочних горловин із значною кількістю ворожих перехрещень поїзних і маневрових маршрутів, що викликає затримки при виконанні основних технологічних операцій, погіршення умов виконання якісних показників графіка та безпеки руху поїздів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемою удосконалення конструкцій пасажирських станцій займалися такі вчені, як К.Ю. Скалов, І.Ю. Савченко, М.В. Правдін, Ю.І. Єфименко та ін., але методики розрахунку на сьогодні слід удосконалювати із застосуванням методів математичного моделювання і теорії імовірностей.

Визначення мети і завдання дослідження. Метою та основним завданням роботи є визначення впливу конструкцій горловин головних спеціалізованих пасажирських станцій на їх пропускну спроможність залежно від розрахункових обсягів руху пасажирських і приміських поїздів.

Основна частина дослідження. У зв'язку з відсутністю на сьогодні розробленого і затвердженого типового технологічного процесу роботи пасажирської станції, у якому

була б наведена чітка методика визначення пропускної спроможності горловин протягом розрахункового періоду приймання і відправлення пасажирських і приміських поїздів з урахуванням тривалості виконання маневрових операцій з їх обслуговування, в Інструкції [3] не визначені основні вимоги до проектування основних конструктивних параметрів цих станцій.

Інженерно-технічні працівники пасажирської станції виконують розрахунки пропускної спроможності горловин за спрощеною методикою [4], що пропонується для дільничних станцій, основним недоліком якої є відсутність урахування впливу конкретних одночасних переміщень при виконанні основних технологічних маршрутів у даній горловині.

У цій роботі пропускну спроможність горловин головної пасажирської станції ($n_{\text{гл}}$) пропонується визначати залежно від коефіцієнта використання пропускної спроможності з урахуванням основних конструктивних параметрів горловини:

$$n_{\text{гл}} = \frac{n_i^{\phi}}{q_{\text{гл}}}, \quad (1)$$

де n_i^{ϕ} – фактична кількість переміщень у горловині протягом розрахункового періоду;

$q_{\text{гл}}$ – коефіцієнт використання пропускної спроможності горловини.

При визначенні розрахункового періоду спочатку необхідно знайти середній інтервал приймання і відправлення пасажирських і приміських поїздів протягом доби при літньому графіку руху поїздів як результат ділення тривалості доби на загальну кількість цих поїздів. Потім протягом доби визначаються періоди, коли поїзди приймаються та відправляються з інтервалами меншими, ніж середній. Таких періодів може бути декілька (як правило, вони виникають вранці та ввечері). Найбільше значення такого згущеного періоду ($T_{\text{зг}}$) приймається за розрахунковий період. Звичайно для кожної станції та для окремої горловини він визначається в результаті аналізу графіка руху поїздів з урахуванням додаткових поїздів у літній період.

$$q_{\text{гл}} = \frac{T_{\text{зв}}}{\Delta T_{\text{зг}}}, \quad (2)$$

де $T_{\text{зв}}$ – сумарна тривалість завантаження горловини всіма маршрутами (М) з урахуванням переміщень, що виконуються на паралельних маршрутах, хв;

$\Delta T_{\text{зг}}$ – можлива тривалість використання елементів горловини протягом розрахункового періоду,

$$\Delta T_{\text{зг}} = T_{\text{зг}} - \Delta T_{\text{по}}, \quad (3)$$

де $\Delta T_{\text{по}}$ – тривалість зайняття елементів горловини постійними операціями протягом розрахункового періоду з поточного утримання верхньої будови колії плановими видами ремонту; прибирання снігу та сміття; утримання пристроїв контактної мережі та ін.

Протягом доби на виконання цих операцій $T_{\text{по}}$ виділяється 75 хв для електрифікованих дільниць і 25 хв для дільниць з тепловозною тягою [4], тоді

$$\Delta T_{\text{по}} = T_{\text{по}} \cdot \frac{T_{\text{зг}}}{1440}; \quad (4)$$

$$T_{\text{зв}} = \sum_{i=1}^M T_{\text{зв},i}^{\text{н}};$$

$$T_{\text{зв},i}^{\text{н}} = n_i \cdot t_i - T_{\text{сум}}; \quad (6)$$

де n_i – кількість і-х маршрутів у горловині, які виконуються протягом розрахункового періоду;

t_i – тривалість використання і-го маршруту, хв.

Для проведення аналізу тривалості завантаження горловини необхідно скласти таблицю всіх можливих маршрутів, визначити тривалість їх суміщення з іншими паралельними маршрутами ($T_{\text{сум}}$). При виконанні аналізу слід ураховувати кількість основних колій у горловині ($m_{\text{г}}$), по яких можливі одночасні переміщення. Якщо $m_{\text{г}} = 1$, то $T_{\text{сум}}$ у формулі (6) не враховується, а при $m_{\text{г}} = 2$

$$T_{\text{сум}} = P_i \cdot P_j \cdot \Delta T_{\text{зг}}, \quad (7)$$

де P_i – імовірність появи i -го маршруту, що аналізується;

P_j – імовірність появи j -го маршруту, який може виконуватися паралельно з i -м маршрутом.

$$T_{\text{сум}} = (n_i \cdot \Delta T_{\text{зг}}) \cdot (n_j \cdot t_j / \Delta T_{\text{зг}}) \cdot \Delta T_{\text{зг}}, \quad (8)$$

$$T_{\text{зб},i}^{\text{н}} = n_i \cdot t_i - (1 - P_j) \quad (9)$$

У випадках, коли $m_r \geq 3$,

$$\begin{aligned} T_{\text{зб},i}^{\text{н}} &= n_i \cdot t_i \cdot \left(1 - \sum_{j=1}^{m_r} n_j \cdot t_j / \Delta T_{\text{зг}}\right) = \\ &= n_i \cdot t_i \cdot \left(1 - C \sum_{j=1}^{m_r} P_j\right), \end{aligned} \quad (10)$$

$$T_{\text{зб},i}^{\text{н}} = n_i \cdot t_i \cdot (1 - C \cdot P_{\text{сум}}), \quad (11)$$

де $P_{\text{сум}}$ – сумарна імовірність суміщення i -го маршруту з усіма можливими j -ми паралельними з ним маршрутами;

C – коефіцієнт, що враховує можливість збільшення паралельності за допомогою приготування варіантних маршрутів.

Якщо $P_{\text{сум}} \leq 0,5$, то при виконанні маневрових маршрутів C приймається 1,5; при $P_{\text{сум}} = 0,5 - 0,6$ $C=1,3$; а при $P_{\text{сум}} \geq 0,6$ $C=1,2$.

При виконанні поїзних маршрутів $C=1,0$.

Сумарна величина завантажень по кожному даному маршруту складає загальне завантаження горловини протягом розрахункового періоду.

При збільшенні обсягів руху зростає коефіцієнт використання пропускної спроможності горловини, що вимагає удосконалення її конструктивних параметрів.

Проведений аналіз результатів виконаних досліджень показав, що при $q_{\text{гл}} \leq 0,75$ кількість паралельних ходів у горловині $m_{\text{хг}}$, які у більшості випадків запроектовані у вигляді найпростіших стрілочних вулиць під кутом хрестовини до основних колій, може

укладатися по одному в кожний бік від середньої основної колії. Якщо $q_{\text{гл}} = 0,75 - 0,85$, то $m_{\text{хг}} = 2$, що укладаються в кожний бік від середніх основних колій, а при $q_{\text{гл}} = 0,85 - 0,95$ $m_{\text{хг}} = 3$.

У випадках, коли $q_{\text{гл}} \geq 0,95$, необхідно передбачати реконструктивні заходи з метою перебудови горловини. У першу чергу слід збільшити кількість основних колій для можливості підвищення імовірності суміщення паралельних переміщень і досягнення необхідної пропускної спроможності. Найбільша кількість головних колій може дорівнювати всім головним коліям, що підходять до даної горловини з урахуванням ходових колій, які ведуть до перонного парку, пасажирської технічної станції, ранжирного парку або моторвагонного депо.

При обмеженні фінансових ресурсів на першому етапі слід розробляти організаційні заходи з скорочення тривалості зайняття елементів горловини постійними операціями або перенесення їх за межі розрахункового періоду; збільшення швидкості руху в горловині з метою скорочення тривалості використання маршрутів приймання поїздів і маневрових переміщень; збільшення кількості можливих варіантних маршрутів за рахунок розроблення спеціальних тренажерів для вивчення передового досвіду прийняття своєчасних оперативних рішень.

При розробленні або коригуванні технологічного процесу роботи пасажирської станції особливу увагу слід приділити питанню раціональної спеціалізації перонних колій з метою максимально можливої рівномірності завантаження окремих конструктивних елементів горловин, а після цього слід розробляти варіанти удосконалення їх конструкції зі збільшенням кількості основних колій і паралельних ходів. При цьому, якщо спеціалізація колій взаємозамінна, то кількість паралельних ходів у горловині повинна бути однаковою в обидва боки від основних колій, але якщо окрема група колій спеціалізується для обслуговування приміського руху, то кількість паралельних ходів до них повинна бути більшою, ніж до інших секцій перонних колій.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. При розробленні або коригуванні технологічних процесів роботи головних пасажирських

станцій у додатках до них пропонується використовувати дану методику розрахунку пропускної спроможності горловин, яка дає змогу надавати пропозиції щодо подальшого удосконалення їх конструкції при зміні обсягів пасажирського руху.

У подальших дослідженнях планується визначення впливу типу пасажирських станцій на пропускну спроможність горловин залежно від кількості їх основних конструктивних елементів.

Список використаних джерел

1. Данько, М.І. Пасажирські станції України: проблеми розвитку та обслуговування у транспортному комплексі [Текст] / М.І. Данько, В.І. Крячко, К.В. Крячко // зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2007. – Вип. 11. – С. 5-16.
2. Довідник основних показників роботи залізниць України за 2002-2012 рр. [Текст] – К.: Швидкий рух, 2012. – 48 с.
3. Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР: ВСН 56-78 [Текст]. – М.: Транспорт, 1978. – 174 с.
4. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України: ЦД – 0036 [Текст]. – К.: Транспорт України, 2002. – 376 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.М. Котенко

Крячко Катерина Віталіївна, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-42. E-mail: katrinaaaa@mail.ru.
Саленко Олексій Євгенович, Єршов В'ячеслав Анатолійович, студенти Української державної академії залізничного транспорту.

Kryachko Ekaterina, cand. of techn. sciences, associate professor of the department of railway stations of the Ukrainian state Academy of railway transport. Ph. (057)730-10-42. E-mail: katrinaaaa@mail.ru.
Salenko A., Ershov V., students of Ukrainian state Academy of railway transport.

УДК 656.022

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ ШВИДКІСНОГО І ВИСОКОШВИДКІСНОГО ПАСАЖИРСЬКОГО РУХУ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Асп. Л.О. Пархоменко

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ СКОРОСТНОГО И ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ

Асп. Л.А. Пархоменко

RESEARCH DIRECTIONS THE DEVELOPMENT OF SPEED AND HIGH-SPEED PASSENGER TRAINS ON RAILWAYS UKRAINE

Postgraduate L. Parkhomenko

У роботі проведено аналіз напрямків розвитку швидкісного та високошвидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України на основі проведення досліджень ринку пасажирських перевезень та аналізу ефективності курсування звичайних і швидкісних пасажирських поїздів у межах існуючої моделі експлуатації залізничної мережі. Доведена ефективність впровадження швидкісних пасажирських перевезень для залізниць України.

Ключові слова: високошвидкісна магістраль, пасажиропотік, населеність, залізничний транспорт.

В работе проведен анализ направлений развития скоростного и высокоскоростного движения пассажирских поездов на железных дорогах Украины на основе проведения исследований рынка пассажирских перевозок и анализа эффективности курсирования обычных и скоростных пассажирских поездов в пределах существующей модели эксплуатации железнодорожной сети. Доказана эффективность внедрения скоростных пассажирских перевозок для железных дорог Украины.

Ключевые слова: высокоскоростная магистраль, пассажиропоток, населенность, железнодорожный транспорт.

This paper analyzes the trends of high-speed and high-speed passenger trains on the railways of Ukraine on the basis of market research and analysis of passenger traffic plying the effectiveness of conventional and high-speed passenger trains within the existing operating model railroad network. The analysis of changes in the competitiveness of rail transport in the passenger transportation market in the implementation of high-speed and high-speed rail passenger traffic. This paper analyzes the effectiveness of most profitable running of passenger trains normal speed (speed up to 120 km/h) and passenger trains new Hyundai and Skoda (speed up to 160 km/h), which began to run from 2012 on the railway network in Ukraine. We prove the efficiency of high-speed railway passenger transportation to Ukraine on the basis of an extensive network of specialized upgraded lines on which trains are capable of speeds up to 180 km/h with the possibility of partial interaction with conventional network.

Keywords: High-speed highway, Passenger traffic, Population, Railway transport.

Вступ. Одне 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 існуючих залізничних ліній для можливості руху пасажирських поїздів до 200 км/год

(Німеччина, Італія). Даний підхід передбачає застосування пасажирських поїздів, що здатні рухатися коліями звичайної залізничної мережі.

Викладення основного матеріалу. 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 2009-2013 рр. свідчить про сталу тенденцію падіння інтенсивності пасажиропотоку з середньою величиною у 1,09 % протягом 2011-2013 рр. (рис. 1).

На фоні незначного падіння кількості перевезених пасажирів загострюється конкуренція між залізничним і автомобільним транспортом. Так, залізничний транспорт протягом останніх п'яти років збільшив кількість перевезених пасажирів на 1,7 %, тоді як автомобільний транспорт втратив 1,8 %, рис. 2.

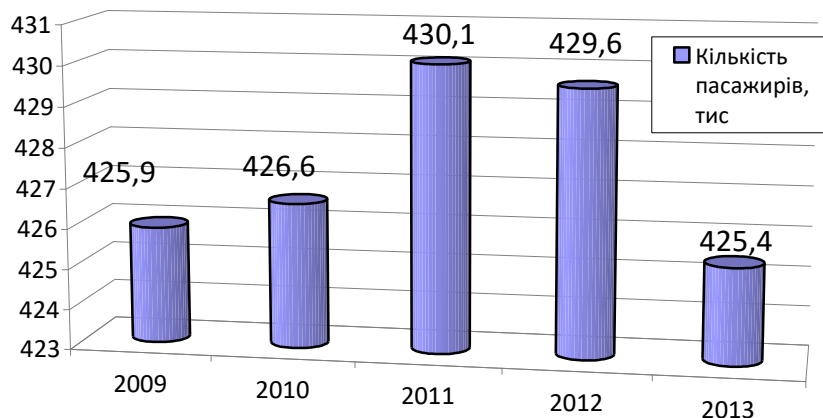


Рис. 1. Кількість відправлених пасажирів на залізницях України за 2009-2013 рр.

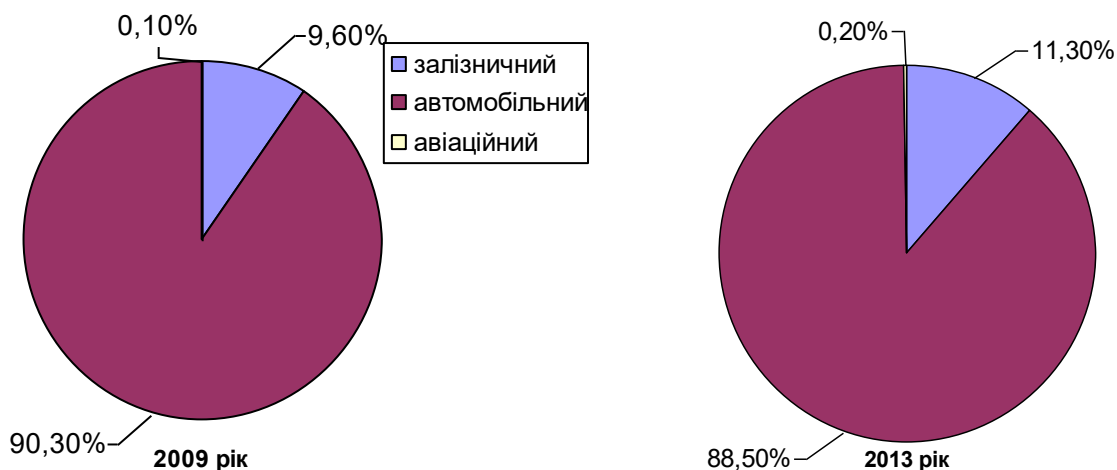


Рис. 2. Зміни загальної частки кількості перевезених пасажирів за 2009 та 2013 рр.

Досвід залізниць світу показує, що найбільш значне підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту можливе при впровадженні швидкісного руху пасажирських поїздів. Так, на діаграмах рис. 3 показані зміни частки залізничного транспорту в загальному обсязі перевезень до і після відкриття швидкісної залізничної лінії Сінкансен між містами Токіо і Ямагата у Японії [3]. 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 дозволяє конкурувати з автомобільним і авіаційним транспортом [4, 5]. 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 заснований 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.

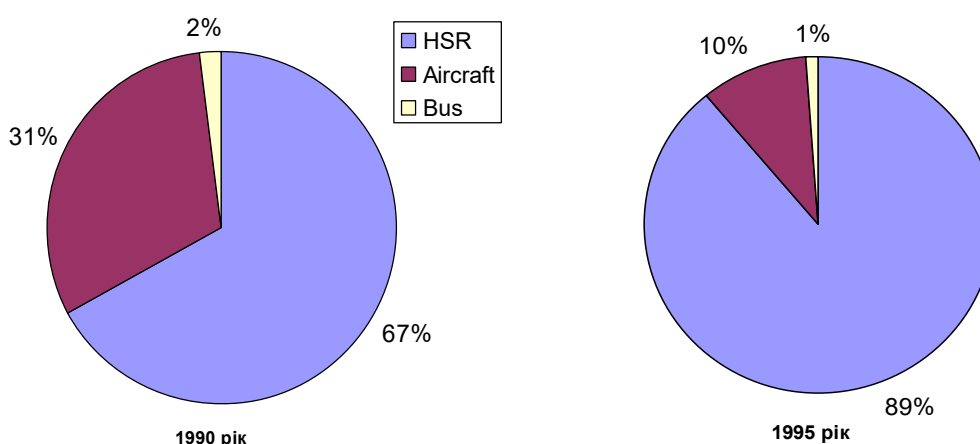


Рис. 3. Зміни в загальній частці обсягів перевезень після відкриття швидкісної залізничної лінії Сінкансен між містами Токіо і Ямагата

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 існуючої модернізованої інфраструктури з можливістю в перспективі збільшення швидкості. З цією метою в роботі проведено аналіз ефективності курсування найбільш доходних пасажирських поїздів звичайної швидкості (до 120 км/год) і нових пасажирських поїздів Хундай і Шкода (швидкість до 160 км/год), що почали курсувати з 2012 р. на мережі залізниць України. Показники ефективності курсування пасажирських поїздів звичайної швидкості наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Ефективність курсування пасажирських поїздів звичайної швидкості

Маршрут прямування	Кількість запропонованих місць	Реалізовано місць (перевезено)	Населеність, %	Доходи від продажу квитків, грн	Вирати, всього, тис. грн (через поїздо-кілометри)	Економічний ефект, тис. грн	Рентабельність, %
Харків-Київ	192628	182600	94,8	23021,0	21787,9	1233,1	5,7
Київ-Харків	44240	46800	105,8	6617,0	8107,9	-1490,9	-18,4
Суми-Київ	27252	21502	78,9	788,0	1805,4	-1017,4	-56,4
Харків-Луганськ	113466	83164	73,3	3124,9	5531,8	-2406,9	-43,5
Харків-Львів	227722	277435	121,8	23172,0	47152,8	-23980,8	-50,9
Харків-Тернопіль	191616	337560	176,2	11695,8	33142,0	-21446,2	-64,7
Харків-Симферополь	295764	283227	95,8	20299,1	39897,9	-19598,8	-49,1

Експлуатація залізниць

Наведений вище аналіз доводить, що ефективною є лише одна нитка поїзда на напрямку Харків-Київ з рівнем рентабельності 5,7 %. Аналіз ефективності курсування

швидкісних поїздів Хундай і Шкода (швидкість до 160 км/год) на залізницях України наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Ефективність курсування швидкісних поїздів Хундай і Шкода

Маршрут прямування	Кількість запропо- нованих місць	Реалізо- вано місць (переве- зено)	Населе- ність, %	Доходи від продажу квитків, грн	Вирати, всього, тис. грн (через поїздо- кілометри)	Еконо- мічний ефект, тис. грн	Рентабель- ність, %
Харків- Київ	40530	31572	77,9	6932,1	2596,7	4335,4	167,0
Харків-Київ	40530	24631	60,8	5363,3	2596,7	2766,6	106,5
Донецьк- Київ	26055	10618	40,8	3434,5	2555,3	879,2	34,4
Київ-Львів	40530	11980	29,6	3232,3	3043,7	188,6	6,2
Харків- Донецьк	41276	17246	41,8	936,7	1254,4	-317,7	-25,3
Донецьк- Луганск	40062	5972	14,9	178,0	541,8	-363,8	-67,1
Дніпропет- ровськ- Донецьк	41276	16617	40,3	770,4	927,0	-156,6	-16,9
Донецьк- Маріуполь	42490	2243	5,3	69,0	468,3	-399,3	-85,3
Харків- Дніпропет- ровськ	41276	5434	13,2	249,9	1030,4	-780,5	-75,8
Донецьк- Київ	27792	11451	41,2	3716,5	2725,7	990,8	-36,4

З табл. 2 видно, що після введення швидкісних поїздів Хундай на напрямках Харків-Київ, Донецьк-Київ, Київ-Львів рентабельність поїздів складає в середньому 136,5 %. Такі високі показники рентабельності обумовлені попитом на перевезення та підвищеними тарифами на проїзд у поїздах категорії Інтерсіті+. Високим попитом користуються регіональні поїзди Шкода, але з причин низьких тарифів на проїзд дані поїзди за всіма напрямками є нерентабельними.

Для більш детального аналізу в роботі запропоновано дослідити попит на різні класи вагонів у складах як звичайних, так і швидкісних поїздів. Діаграма кількості перевезених пасажирів по днях тижня окремо за класами комфортності вагонів у поїзді Хундай наведені на рис. 4.

Даний аналіз свідчить, що в середньому попит на проїзд у цих поїздах високий, але населеність вагонів 1 класу є низькою з причин високої вартості проїзного документа. На рис. 5 наведено динаміку пасажиропотоку поїзда Хундай № 161 Харків - Київ по днях тижня з 28 травня по 13 червня 2012 р. порівняно з аналогічним періодом 2011 р. при курсуванні міжрегіонального поїзда з вагонами Крюківського вагонобудівного заводу (КВЗ3). Даний аналіз свідчить, що попит на поїзд Хундай майже однаковий, а в деякі дні більший від попиту за той самий період на поїзд з вагонами КВЗ3. Так, населеність поїзда Хундай у середньому на 10,3 % вища за населеність поїзда з вагонами КВЗ3. За розрахунковий період пасажирський поїзд Хундай перевіз на 877 пасажирів більше від состава КВЗ3.

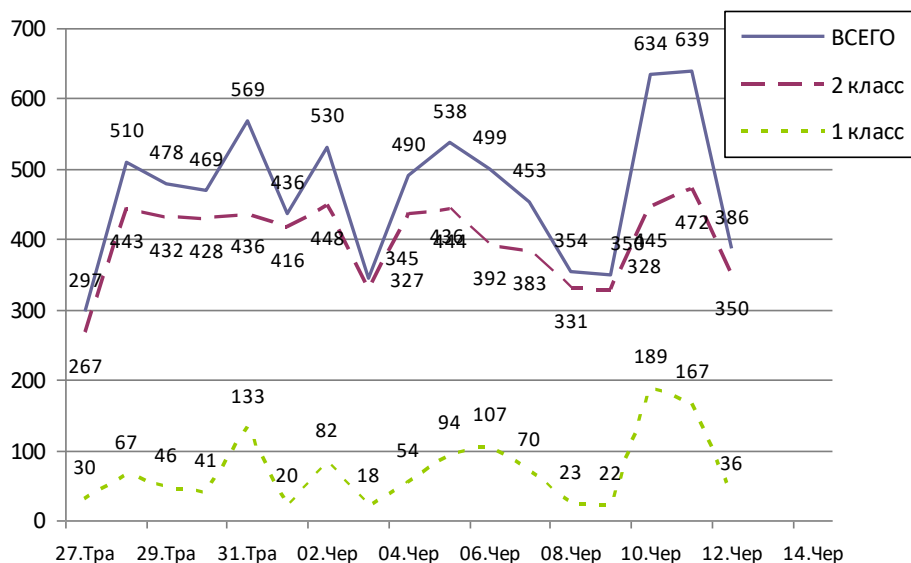


Рис. 4. Динаміка пасажиропотоку за типами вагонів поїзда Хюндай № 161 сполученням Харків – Київ за 2012 р.

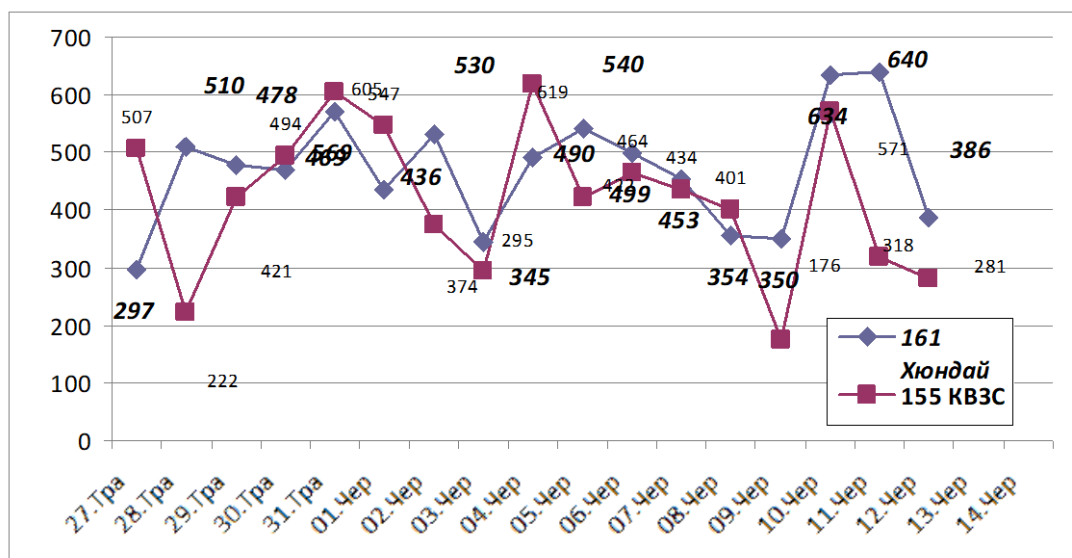


Рис. 5. Динаміка пасажиропотоку поїзда Хюндай № 161 Харків – Київ по днях тижня з 28 травня 2012 р. порівняно з аналогічним періодом 2011 р. при курсуванні міжрегіонального поїзда № 155 з вагонами КВСЗ

Проведений аналіз пасажиропотоків в умовах звичайної та прискореної швидкостей руху пасажирських поїздів на залізницях України свідчить про ефективність підвищення швидкості пасажирських поїздів. Крім того, попит на швидкісні поїзди також характеризується нерівномірністю по днях тижня, місяцях року, що обумовлено ефектом

вихідного дня та сезонними коливаннями. Аналіз попиту на вагони різних класів у складі поїзда Хюндай свідчить про помилкову тарифну політику з завищеними цінами на проїзд. Вже на наступному етапі впровадження швидкісного руху тарифну політику було змінено.

Висновки. На підставі проведеного аналізу визначено, що найбільш прийнятним

напрямок розвитку системи швидкісних залізничних пасажирських перевезень в Україні є змішаний варіант розвитку мережі швидкісних сполучень на основі модернізації існуючих залізничних ліній для можливості руху паса-

жирських поїздів до 200 км/год. Даний підхід передбачає розвиток розгалуженої мережі спеціалізованих ліній, на яких поїзди здатні розвивати швидкість до 180 км/год з можливістю часткової взаємодії зі звичайною мережею.

Список використаних джерел

1. Бутко, Т.В. Формування моделі розвитку залізничної системи швидкісних перевезень на основі принципів самоорганізації [Текст]/ Т.В. Бутко, 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 / 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/ M. Givoni // Transport Review, 2006. –Vol.26, No.5. – P. 593-611.
4. Phang, S.-Y. Strategic development of airport and rail infrastructure: the case of Singapore/ S.-Y.Phang// Transport Policy.– 2003. – №10.– P. 27-33.
5. Ginés de Rus Economic Analysis of High Speed Rail in Europe/ Ginés de Rus, Ignacio Barrón, Javier Campos, Philippe Gagnepain, Chris Nash, Andreu Ulled, Roger Vickerman //Fundación BBVA, 2009 Plaza de San Nicolás, 4. 48005 Bilbao. – 140 p.

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

Пархоменко Лариса Олексіївна, аспірант кафедри управління експлуатаційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Parkhomenko Larisa., postgraduate Department of Management of operational work, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

УДК 656.073.43

ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕГАБАРИТНИХ І ВЕЛИКОВАГОВИХ ВАНТАЖІВ У ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

Доктори техн. наук А.М. Котенко, О.В. Лаврухін, канд. техн. наук П.С. Шилаєв, асп. А.В. Світлична, канд. техн. наук В.І. Шевченко, інж. О.М. Пилипейко

ПЕРЕВОЗКИ НЕГАБАРИТНЫХ И ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ГРУЗОВ В ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

Доктора техн. наук А.Н. Котенко, А.В. Лаврухин, канд. техн. наук П.С.Шилаев, асп. А.В. Светличная, канд. техн. наук В.И. Шевченко, инж. О.Н. Пилипейко

TRANSPORTATION OF OVERSIZE AND HEAVY-WEIGHT CARGOES IN THE TRANSPORT SYSTEM

Doctors of techn. sciences A.M. Kotenko, A.V. Lavrukhin, cand. of techn. sciences P.S. Shylayev, A.V. Svetlichnaya, cand. of techn. sciences V.I. Shevchenko, eng. A.N. Pilipeyko

У статті висвітлено проблеми та обмеження в перевезеннях негабаритних і великовагових вантажів у транспортних системах різними видами транспорту, наведено метод вибору оптимального способу перевезення вантажів окремими видами транспорту або в їх комбінації. Для доставляння вантажів значної маси (понад 500 т) і негабаритних наземним транспортом

запропоновано модульний принцип побудови транспортних засобів. Створено граф станів і складено систему диференціальних рівнянь перевезення негабаритних і великовагових вантажів у транспортних системах.

Ключові слова: негабаритні і великовагові вантажі, обмеження, економічна доцільність, транспортабельність, модульний принцип, граф станів, диференціальні рівняння.

В статье изложены проблемы и ограничения в перевозке негабаритных и тяжеловесных грузов в транспортных системах различными видами транспорта, приведен метод выбора оптимального способа перевозки грузов отдельными видами транспорта или их комбинации. Для доставки грузов значительной массы (свыше 500 т) и негабаритных наземным транспортом предложен модульный принцип построения транспортных средств. Построен граф состояния и составлены дифференциальные уравнения перевозки негабаритных и тяжеловесных грузов в транспортных системах.

Ключевые слова: негабаритные и тяжеловесные грузы, ограничения, экономическая целесообразность, транспортабельность, модульный принцип, граф состояния, дифференциальные уравнения.

In this article the problems and restrictions of transportation of oversize and heavy cargo in transport systems by different types of transport have been presented. The method of selecting optimal mode for transportation of cargoes by various means of transport or their combination has been submitted. The modular design of vehicles for delivery of cargoes a large mass (more than 500t) and oversized of ground transports has been proposed. State graph and differential equations of transportation of cargoes by various means have been compiled.

The advantages and disadvantages of each mode of transport have been noted. Railway transport has the following advantages: all-weather, rhythmicity transportation over considerable distances. However, it has significant disadvantages: stringent requirements for the dimensions of the loading, restrictions on cargo weight, low availability of railways in certain regions.

The main advantages of road transport are: delivery cargo "door to door" almost unlimited load weight, free choice of tracks movement.

Key words: oversize and heavy cargo, economic feasibility, transportability, restrictions, economic feasibility, modular design, state graph, differential equations.

Вступ. Перевезення негабаритних і великовагових вантажів (НВВ) вважається однією з найважливіших транспортних послуг, яка приносить найбільші прибутки. Для цього потрібна потужна техніка і підготовлені висококваліфіковані спеціалісти. Цей вид перевезень є найбільш складним і потребує, як правило, численних узгоджень із державними підрозділами і транспортними службами залізниць. Останнім часом спостерігається тенденція збільшення попиту на такий вид послуг (продукція Харкова, Дніпропетровська – негабаритні і великовагові вантажі - турбіни, улаштування та ін.) в ЄС та СНД. Нещодавно до Казахстану зі станції Індустріальна (м. Харків) Південної залізниці відправлено 300-тонний статор-турбогенератор виробництва заводу «Електротяжмаш». Це вже третій негабаритний вантаж, відправлений залізничниками з початку 2014 року. Для залізниці робота з промисловими

підприємствами Харківщини, а особливо з таким гігантом, як підприємство «Електротяжмаш», є плідною та цінною. За оцінками спеціалістів, ринок перевезень негабаритних і великовагових вантажів зростає на 15 % щороку. Такі темпи зростання свідчать про те, що сегмент перевезень цих вантажів випереджає темп приросту регулярних перевезень. Ця тенденція обумовлена утворенням самостійної держави та розвитком будівельної індустрії, яка збільшує перевезення великогабаритної будівельної техніки та металоконструкцій.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Існує криза застарілої виробничої бази, що дісталась Україні від колишнього СРСР, і це у свою чергу стимулює модернізацію і розширення промислових підприємств. Завдяки цьому збільшуються замовлення на постачання

устаткування для енергетики, добувної та металургійної промисловості. Збільшуються змішані перевезення негабаритних і великовагових вантажів у прямих міжнародних залізнично-водних сполученнях за участю залізниць і морського транспорту, автомобільним транспортом і цивільною авіацією.

На кожному виді транспорту існує поняття негабаритного і великовагового вантажу. Але ж відсутнє однакове поняття НВВ, що пов'язано з особливостями та провізними можливостями інфраструктури, які застосовуються для перевезення специфічного за розмірами і масою вантажу, а також з безпекою самого процесу транспортування. Тому питання відносно теорії й технічних умов навантаження, перевезення негабаритних і великовагових вантажів є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями перевезення негабаритних великовагових вантажів у транспортних системах присвячена значна кількість наукових публікацій, серед яких роботи таких вчених: Аміров Т.К., Котенко А.М., Мироненко В.К., Пилипейко О.М., Троїцька Н.А., Шилаєв П.С.

Визначення мети та завдання дослідження. Встановлення оптимального варіанта перевезення на основі формалізації витрат при перевезенні негабаритних і великовагових вантажів різними видами транспорту, а також визначення економічної доцільності застосування того чи іншого виду транспорту або їх комбінації. Розроблення модульного принципу побудови наземних транспортних засобів для перевезення негабаритних і великовагових вантажів.

Основна частина дослідження. Перевезення негабаритів – специфічна галузь транспортування, яка вимагає не тільки значного досвіду і відповідних знань, але й спеціалізованого обладнання, у тому числі для навантаження і вивантаження. Перевезення негабаритних вантажів передбачає нестандартні рішення з їх розміщення на транспортних платформах суден, автомобілів або поїздів.

Перевезення негабаритних і великовагових вантажів – це в першу чергу розроблення спеціальних умов та індивідуального плану транспортування для кожної партії негабаритного вантажу індивідуально. Частіше за все у розряд негабаритних вантажів попадає різноманітна

техніка, тому умови транспортування повинні гарантувати цілісність і неушкодженість всіх механізмів у тій техніці, що перевозиться. До комплексу послуг із перевезень негабаритів входять такі процедури:

- розрахунок і складання логістичного плану транспортування;
- розроблення схем навантаження та кріплення на транспортному засобі та їх узгодження;
- отримання дозволу на перевезення;
- вибір і підготування траси (укріплення мостів, демонтування повітряних мереж енергопостачання тощо);
- створення та розроблення спеціальних транспортних рішень індивідуально для кожного вантажу;
- встановлення спеціального обладнання для перевезення в разі необхідності;
- супроводження перевезення вантажу працівниками Державної автомобільної інспекції та дистанції колій залізниці;
- митне очищення та оформлення усіх необхідних документів при проходженні митного контролю.

Загальне поняття негабаритних і великовагових вантажів на всіх видах транспорту можливо викласти так: до негабаритних і великовагових належать вантажі, що перевищують розміри і навантаження сучасного рухомого складу та існуючі габарити обмежуючих пристроїв і споруд.

При перевезеннях НВВ визначається поняття транспортабельності на рухомому складі даного виду транспорту.

Транспортабельність визначимо як технічну можливість доставки вантажу в нерозібраному стані (або з незначним розбиранням – зняття стріл, підйомного устаткування тощо) у транспортних системах на існуючому комплексі транспортних засобів з урахуванням трудомісткості додаткових робіт з підготовки вантажу до перевезення, траси, місць перевантаження, розроблення та узгодження проектної документації на перевезення. Транспортабельність на кожному виді оцінюється насамперед відповідністю габаритів і маси вантажу обмеженням, наявним на даному виді транспорту.

На залізничному транспорті до НВВ відносять вантажі, що перевищують нормативи за розмірами або потребують спеціальних умов розміщення, кріплення та перевезень.

Габаритними вважають вантажі, що підлягають перевезенню в межах мережі залізниць колії 1520 мм на загальних умовах і не перевищують загальносітьових габаритів навантаження. Вантаж є негабаритним, якщо він при розміщенні на відкритому рухомому складі, що знаходиться на прямій горизонтальній ділянці колії (при збігу в одній вертикальній площині поздовжніх осей вагона та колії), перевищує габарит навантаження або його вихід за межі габариту навантаження на кривих перевищує геометричний винос розрахункового вагона. Існує три зони негабаритності: нижня, бокова, верхня та сумісна верхня та бокова. Нижня зона має шість ступенів, бокова – шість і верхня – три ступені. Для довгомірних вантажів застосовується розрахункова негабаритність.

До великовагових відносять вантаж, якщо його маса або навантаження на раму (підлогу) вагона вище допустимої під час перевезення на універсальному чотиривісному рухомому складі, тобто вантаж масою більше 72 т.

Стандартна довжина розрахункового вагона на залізничному транспорті становить 24 м, усі вантажі довжиною до 24 м транспортують залізницями без обмежень. Максимальна довжина вантажу, перевезеного на зчепках залізничних платформ, визначається з розрахункової негабаритності, яка залежить не тільки від довжини, але і від ширини вантажу. У практиці перевезень НВВ залізничним транспортом є досвід використання рухомого складу максимум чотири платформи у зчепі. При цьому можливі варіанти установа: на одній платформі із двома платформами прикриття, на двох крайніх платформах із проміжною платформою та двома платформами прикриття. Турнікети, що підтримують вантаж, повинні розташовуватися в середині бази платформи у випадку двох порожніх платформ або в середині бази крайніх візків платформи у випадку однієї порожньої платформи.

Розрахункова негабаритність визначається за зсувом кінця вантажу назовні кривої і за зсувом центра вантажу всередину кривої. Сума зсуву вантажу назовні або всередину кривої і фактичного габариту вантажу дає шукану негабаритність, яку порівнюють із допустимими ступенями бокової та верхньої негабаритності.

Із сухопутних видів транспорту першим почав перевозити негабаритні і великовагові вантажі залізничний транспорт. Це певною мірою пов'язано з тим, що до моменту надходження перших партій подібних вантажів на автомобільному транспорті не було відповідних транспортних засобів для їхнього перевезення. Залізничний транспорт мав на той час рухомий склад для найпоширеніших типорозмірів НВВ. Перевагами перевезень негабаритних і великовагових вантажів залізничним транспортом є низькі тарифи; незалежність від погоди; високий рівень безпеки перевезень; наявність чіткої структури й технології управління перевезеннями; відсутня потреба в розробленні технічного або робочого проекту (виконується розроблення схем розміщення кріплення та розрахунки і проведення погоджень); досягнення економії на операціях з реконструкції та перебудови ділянок прямування вантажу. До недоліків залізничного транспорту належать низька географічна доступність; обмежена вантажопідйомність транспортних засобів; наявність габаритних обмежень; жорсткі вимоги до габаритів вантажів через наявність мостів, віадуків, пристроїв сигналізації, блокування та інших споруд. Слід зазначити, що порівняно з іншими видами транспорту, які досить стрімко удосконалюють транспортні засоби, збільшуючи їх вантажопідйомність і нарощуючи обсяги перевезень негабаритних і великовагових вантажів, залізниці залишаються в цих перевезеннях найбільш консервативними, втрачаючи таким чином значні обсяги перевезень.

На залізницях мінімальне значення маси вантажу, що не вимагає особливих заходів під час перевезення, може обчислюватися за стандартною вантажопідйомністю залізничної платформи (приблизно 72 т). Як було зазначено вище, установа максимальна вантажопідйомність транспортерів зчленованого типу – 500 т. Подальше збільшення маси вантажу (крім можливо окремої номенклатури трансформаторів) на залізниці мало реально через додаткову складність перевізного процесу, значні капітальні витрати на реконструкцію колій і створення дорогого та складного спеціалізованого рухомого складу.

Розроблення та узгодження проектів перевезення необхідне звичайно для вантажів значних розмірів і мас або для особливо

складних шляхових умов і перевантажувальних робіт. Перевезення негабаритних і великовагових вантажів обов'язково вимагає досконального вивчення траси (дільниць залізниць) на всіх видах транспорту і запровадження відповідних заходів з їх реконструкції з метою забезпечення безпеки руху та схоронності вантажу.

Залізничні перевезення негабаритних вантажів є незамінним способом транспортування на великі відстані значних обсягів перевезень. Таке перевезення негабаритних великовагових вантажів дозволяє легко долати значні відстані, при цьому не вимагаючи зайвих витрат. У цілому, дійсно, немає більш стабільних і економічних способів доставки таких вантажів, ніж залізничні перевезення. Крім того, залізничний транспорт дозволяє здійснювати доставку в максимально стислий термін, незалежно від кліматичних умов, що також виділяє його серед інших засобів транспортування.

На відміну від перевезення негабаритних вантажів автотранспортом, залізничні перевезення негабаритних вантажів здійснюються з використанням спеціального оснащення для успішного і якнайшвидшого транспортування в будь-які, навіть найбільш важкодоступні, райони. Ураховуючи той факт, що перевезення негабаритних вантажів за допомогою інших засобів найчастіше ускладнює навантаження та розвантаження, залізничний транспорт є оптимальним засобом доставки негабаритів.

Разом з тим досвід перевезення окремих НВВ показав, що транспортування залізницею не завжди вигідніше від змішаного водно-автомобільного сполучення. Наприклад, вартість перевезення атомного реактора з підприємства «Атоммаш» для Запорізької атомної електростанції в змішаному водно-автомобільному сполученні виявилось на 19,4 % дешевше, ніж залізницею, при цьому на 28 діб зменшився термін підготовки вантажу до перевезення і самого перевезення, скоротилася трудомісткість монтажних робіт.

На кожному виді транспорту існують обмеження перевезень, які прямо пов'язані з його технічними особливостями, особливостями транспортних мереж і відповідно особливостями рухомого складу.

Гострота проблеми регулярних перевезень НВВ на різних видах транспорту

стала відчутною зі збільшенням маси та габаритів промислового устаткування, що випускається. На водних видах транспорту, особливо на морському, обмеження, пов'язані з перевезеннями великовагових і негабаритних вантажів, дозволяють здійснювати транспортування подібного устаткування без особливих принципових змін у способах перевезення та конструкціях вантажних суден.

На річковому транспорті мінімальну масу перевезених вантажів можна встановити виходячи з класів, на які розділяються внутрішні водні шляхи. Кожний наступний клас водних шляхів має менші габарити суднового ходу, ніж попередній, а отже, меншу можливу вантажопідйомність за осіданням судна. Сьомий клас річкових шляхів має найнижчі значення можливої вантажопідйомності плавзасобів, що становить 100 т, тобто перевезення вантажів масою до 100 т або на борту плавзасобів, або на плаву можливе практично без додаткових витрат по всій мережі внутрішніх шляхів.

Технологія перевезень річковим транспортом багато в чому залежить від габаритів суднового ходу, тобто судноплавних габаритів водних магістралей. Габарити суден також залежать від габаритів суднового ходу. Тому визначальним фактором при віднесенні різних видів вантажів до негабаритних і великовагових на річковому транспорті слід вважати габарити суднового ходу, а не габарити судна. На річковому транспорті допускаються теоретично перевезення вантажів будь-якої маси (з існуючого зараз ряду НВВ). Основними факторами, що обмежують перевезення НВВ внутрішніми водними шляхами, є габарити останніх.

Повітряний транспорт не є рентабельним для більшості вантажних перевезень. Однак для доставки та монтажу в особливих умовах, у тому числі й в умовах бездоріжжя, окремої номенклатури вантажів, наприклад орбітальних космічних кораблів багаторазового використання, блоків ракети-носія «Енергія», виробів для нафтовиків і газодобувачів, гірників і енергетиків, створене ціле сімейство надважкого рухомого складу повітряного транспорту.

Можливості надважких транспортних літаків унікальні – маса вантажів може бути до 250 т, а габарити під час перевезення вантажу зовні фюзеляжу, тобто на «спині», можуть

досягати 70 м довжини та 10 м діаметра. Більш широко могли б в окремих випадках застосовуватися вертольоти, що не обмежують габаритів вантажу, але обмежують загальну масу перемішуваного вантажу до 30 т для спарених вертольотів.

На автомобільному транспорті до негабаритних належать великогабаритні, довгомірні, великовагові вантажі, розміри яких разом з транспортним засобом перевищують параметри: по висоті 4 м; по довжині 22 м; по ширині 2,6 м; по масі вантажу з транспортним засобом – більше 38 т.

Автотранспортні магістралі мають більш широкі можливості щодо перевезень негабаритних і великовагових вантажів порівняно із залізничними та максимальні розміри й інші параметри автотранспортних засобів. У наш час за допомогою причепів автотранспортними шляхами в Росії доставляються вантажі масою до 2000 тон.

Основна перевага автотранспорту полягає в тому, що цей вид транспорту забезпечує доставку вантажу «від дверей до дверей». Дуже часто таке перевезення великогабаритних вантажів – єдиний спосіб, наприклад у ситуаціях, коли необхідне перевезення негабаритних великовагових вантажів у межах однієї області, району або міста. До того ж залізничні колії можуть просто бути відсутніми поблизу місць відправлення й призначення (відсутня доступність залізниць). У цей час перевезення негабаритних вантажів автотранспортом є одним з поширених видів негабаритних перевезень. Перевезення негабаритних великовагових вантажів автотранспортом, як правило, здійснюється за допомогою спеціально обладнаних тягачів різної вантажопідйомності. У разі необхідності негабаритних перевезень, навантаження та розвантаження застосовуються особливі трапи з різним кутом нахилу під перевезення негабариту різного виду.

На морському флоті немає твердих обмежень, тому надалі в розрахунки брати їх недоцільно так само, як і обмеження на повітряному транспорті, що має на сьогодні вузьке, специфічне застосування.

За наявності альтернативних варіантів необхідний комплексний підхід до вибору виду сполучення з урахуванням ряду умов. За кожним варіантом розглядаються заходи щодо подолання окремих обмежень на видах

транспорту та дається оцінка робіт з вартості або часу проведення цих заходів.

Крім того, практично у всіх випадках необхідне розроблення додаткових заходів для підвищення безпечного провозення НВВ, обумовлене різними порушеннями руху і тяжкістю їх наслідків для учасників транспортного процесу.

На вантажних операціях з великоваговими і довгомірними вантажами рекомендується горизонтальний спосіб – насування на транспортні засоби за допомогою лебідок і вертикальний – застосування спарених кранів.

На сьогодні стан справ на важкому транспорті на ринку характеризується такими обставинами:

- з'явилася безліч (не завжди кваліфікованих) організацій і приватних осіб, що пропонують і виконують послуги з перевезення НВВ;

- законодавча, нормативно-технічна та нормативно-економічна база цього виду перевезень залишається надзвичайно слабкою, суперечливою та застарілою;

- практично припинені наукові дослідження та підготовка фахівців у галузі важкого транспорту;

- припинені роботи зі створення нових спеціалізованих транспортних засобів, а наявні на підприємствах гранично зношені та протягом тривалого часу не замінюються;

- відсутня координація діяльності численних перевізників НВВ, низька їх інформованість, можливість одержання юридичної, фінансової, технічної, консультативної та іншої допомоги.

Для подолання існуючих труднощів необхідно підсилити увагу Міністерства інфраструктури України до перевезень негабаритних і великовагових вантажів. Назріла необхідність вирішення в найближчі роки найбільш важливих для спеціалізованих перевезень проблем, що передбачають:

- регламентування діяльності Міністерства інфраструктури України як компетентного органу в галузі перевезень НВВ;

- створення в Міністерстві інфраструктури Центру з координації перевезень негабаритних і великовагових вантажів усіма видами транспорту;

- підготовку науково-технічної програми розвитку перевезень НВВ із використанням

матеріалів проекту академічної програми фундаментальних досліджень на період до 2015 року в розділі «Транспорт», створення підрозділу, пов'язаного з розвитком великовагового транспорту;

- ліцензування діяльності в галузі перевезень НВВ;

- підготовку міжвідомчих правил і інструкцій з перевезень НВВ окремими видами транспорту, особливо у змішаних сполученнях, включаючи транспортно-експедиційну діяльність, ураховуючи інтереси відповідних нормативних та інших документів.

При виборі виду транспорту в першу чергу необхідно враховувати можливість доставки вантажів “від дверей до дверей”, розглядаючи найбільш придатні варіанти перевезення вантажу.

На наземних видах транспорту (автомобільному і залізничному) для збільшення маси великовагових вантажів, що перевозяться, і їх негабаритності пропонується застосування модульного принципу формування при навантаженні. Модульний принцип транспортування, розроблений на кафедрі управління вантажною і комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту, передбачає формування транспортної одиниці з декількох модулів залежно від маси та розмірів вантажу.

Для вибору виду транспорту рекомендується виконання розрахунків економічної доцільності застосування того чи іншого виду способу перевезення або їх комбінації.

Вибір раціональної технології перевезень негабаритних і великовагових вантажів у транспортних системах виконується за цільовою функцією

$$W = f\left(\sum_{i=1}^A E, \sum_{j=1}^B F, \sum_{m=1}^C G, \sum_{n=1}^D H\right) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де W – загальні витрати на перевезення негабаритних і великовагових вантажів, грн;

A, B, C, D – відповідно кількість видів транспорту, задіяних на перевезенні негабаритних і великовагових вантажів;

E – витрати на доставляння вантажу залізничним транспортом, грн;

F – витрати на доставляння вантажу автомобільним транспортом, грн;

G – витрати на доставляння вантажу річковим транспортом, грн;

H – витрати на доставляння вантажу морським транспортом, грн.

Обмеження

$$\left. \begin{aligned} T_{дост} &\leq T_{норм}; \\ W &\leq S; \\ P_{\phi} &\leq P_{тр.з.}; \\ Z_{min} &\leq Z \leq Z_{max}; \\ t_{min} &\leq t \leq t_{max}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де $T_{дост}$ – фактичний строк доставки вантажу усіма видами транспорту, доб;

$T_{норм}$ – нормативний строк доставки вантажу, доб;

S – загальний прибуток від перевезення негабаритного і великовагового вантажу в транспортній системі, тис. грн;

P_{ϕ} – фактичне завантаження транспортного засобу – автомобільного, залізничного, т;

$P_{тр.з.}$ – вантажопідйомність транспортного засобу, т;

Z – кількість розвантажувальних машин у пунктах відправлення і призначення та в пунктах перевалки;

t – тривалість роботи вантажного фронту протягом доби, год.

Загальні витрати надоставляння негабаритних і великовагових вантажів залізницями визначаються як

$$\sum_{i=1}^A E = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5, \quad (3)$$

де R_1 – витрати на транспортування негабаритних і великовагових вантажів залізницею та їх обслуговування, грн;

R_2 – витрати на розроблення технічних умов навантаження, грн;

R_3 – витрати на узгодження технічних умов навантаження, грн;

R_4 – витрати на вантажні операції, грн;

R_5 – витрати на виготовлення контрольної рами (у разі потреби), грн.

Загальні витрати надоставляння вантажу автомобільним транспортом

$$\sum_{j=1}^B F = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 + U_6, \quad (4)$$

де U_1 - витрати на перевезення вантажу автотранспортом, грн;

U_2 - витрати на розроблення технічної документації, грн;

U_3 - витрати на узгодження перевезення, грн;

U_4 - витрати на вантажні операції, грн;

U_5 - витрати на підготовку траси, мостів і повітряних комунікацій (зв'язок, енергомережі), грн;

U_6 - витрати на супроводження вантажу працівниками ДАІ та дистанцій колій залізниці, грн.

Витрати на доставляння вантажу річковим транспортом

$$\sum_{m=1}^C G = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5, \quad (5)$$

де V_1 - безпосередні витрати на доставку вантажу річковим транспортом, грн;

V_2 - витрати на розроблення технічної документації, грн;

V_3 - витрати на виготовлення спеціального оснащення, грн;

V_4 - витрати на вантажні операції, грн;

V_5 - витрати, що виникають з причини очікування відкриття навігації, грн.

Загальні витрати при перевезенні морським транспортом

$$\sum_{n=1}^D H = T_1 + T_2 + T_3 + T_4, \quad (6)$$

де T_1 - безпосередні витрати на доставку вантажу морським транспортом, грн;

T_2 - витрати, що викликані затримкою вантажу з причини штормів на шляху прямування суден, грн;

T_3 - витрати на виготовлення спеціального оснащення, грн;

T_4 - витрати на вантажні операції, грн.

Для оптимізації транспортування негабаритного і великовагового вантажу залізничним, морським та автомобільним транспортом побудовано розмічений граф (рисунок) станів і складено диференціальні рівняння.

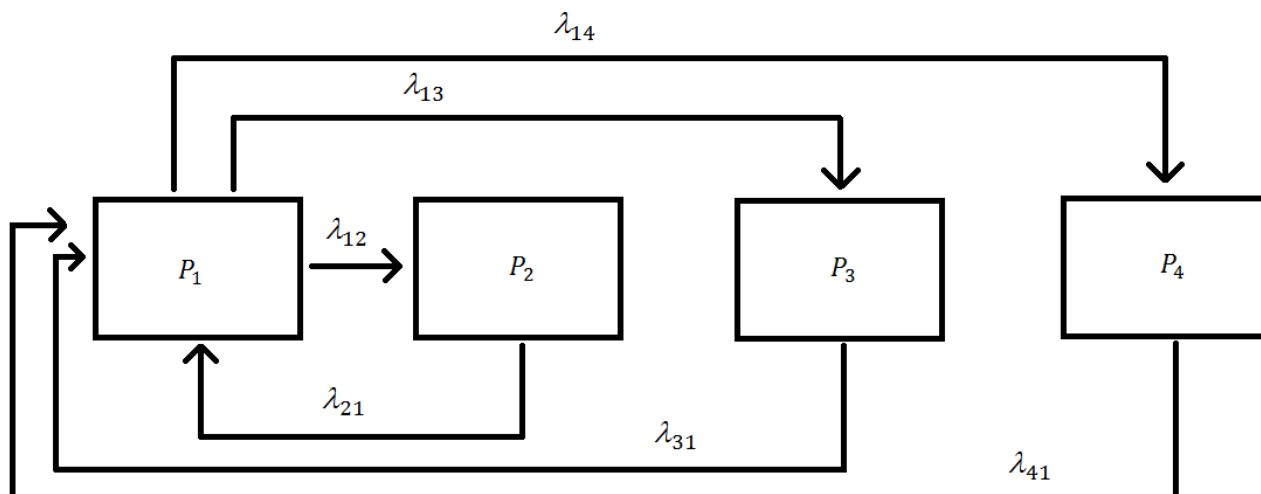


Рис. Розмічений граф станів транспортування вантажу в транспортних системах

Відповідно до графа станів, наведеному на рисунку, позначено вірогідності станів:

P_1 - вірогідність стану знаходження вантажу під вантажними операціями;

P_2 - вірогідність стану транспортування вантажу залізницею;

P_3 - вірогідність стану транспортування вантажу морським транспортом;

P_4 - вірогідність стану транспортування вантажу автомобільним транспортом.

Система диференціальних рівнянь може бути подана у вигляді

$$dP_1/dt = \lambda_{21}P_2 + \lambda_{31}P_3 + \lambda_{41}P_4 - P_1(\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14});$$

$$dP_2/dt = \lambda_{12}P_1 - \lambda_{21}P_2;$$

$$dP_3/dt = \lambda_{13}P_1 - \lambda_{31}P_3;$$

$$dP_4/dt = \lambda_{14}P_1 - \lambda_{41}P_4.$$

Нормувальна умова

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1.$$

Висновки з досліджень і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Сформовано поняття негабаритних і великовагових вантажів для перевезення усіма видами транспорту в транспортних системах.

Побудовано розмічений граф і складено диференціальні рівняння вірогідності станів негабаритного і великовагового вантажу при транспортуванні залізничним, морським та автомобільним транспортом.

Обмеження кожного виду транспорту на перевезення негабаритних і великовагових вантажів прямо пов'язані з його технічними можливостями, особливостями транспортних мереж і відповідно особливостями конструкції рухомого складу.

При виборі виду транспорту в першу чергу визначається можливість доставки вантажів "від дверей до дверей". Розглядаються найбільш економічно придатні варіанти перевезення вантажу.

На морському транспорті обмеження, пов'язані з перевезеннями великовагових і негабаритних вантажів, дозволяють здійснювати транспортування подібного устаткування без особливих принципових змін у способах перевезення та конструкціях вантажних суден.

Технологія перевезень річковим транспортом багато в чому залежить від габаритів суднового ходу, тобто судноплавних габаритів водних магістралей.

Повітряний транспорт не є рентабельним для більшості вантажних перевезень і застосовується тільки в окремих випадках.

Залізничний транспорт, як найрозповсюдженіший, має суттєві технічні проблеми: низьку географічну доступність; обмежену вантажопідйомність транспортних засобів; наявність габаритних обмежень; жорсткі вимоги до габаритів вантажів через наявність мостів, віадуків, засобів сигналізації та інших споруд; необхідність і складність розроблення, узгодження проектів транспортування негабаритних і великовагових вантажів, що забезпечується існуванням конструкторських бюро на машинобудівних заводах, великими витратами на утримання спеціальних підрозділів в управліннях залізниць та держадміністрації Укрзалізниці.

Для залучення додаткових обсягів перевезень негабаритних і великовагових вантажів залізницям України необхідно проведення маркетингових досліджень на напрямках їх доставки, паралельних залізничним дільницям (вантажів масою більше 500 тонн), іншими видами транспорту, виділення та реконструкція окремих напрямків у транспортних коридорах для транспортування понаднегабаритних вантажів.

Один із основних факторів збільшення обсягів відправлення негабаритних і великовагових вантажів – спрощення та прискорення узгодження проектної документації на перевезення у структурних підрозділах залізниць, Держадміністрації Укрзалізниці, зниження тарифів.

Автотранспортні перевезення мають більш широкі можливості для зменшення обмежень щодо перевезень негабаритних і великовагових вантажів порівняно із залізницями та максимальні розміри й інші параметри автотранспортних засобів і вимагають оперативного підготування траси перевезення та повітряних комунікацій.

Для наземних видів транспорту для збільшення маси великовагових вантажів і їх негабаритності запропоновано модульний принцип формування транспортних одиниць при навантаженні залежно від їх маси та габаритних розмірів. Спосіб розроблено на кафедрі управління вантажною і комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту.

Список використаних джерел

1. Технические условия погрузки и крепления грузов [Текст]. – М.: Транспорт, 1988. – С.408.
2. Інструкція з перевезення негабаритних і великовагових вантажів залізницями України. ЦД-0055 [Текст]. – К., 2004. – 181 с.
3. Правила эксплуатации и технического обслуживания транспортеров [Текст]. Утв. 15.07.98 г. на 21 заседании Совета железнодорожного транспорта государств-участников СНГ. – 1998. – 20 с.
4. Троицкая, Н.А. Перевозка крупногабаритных и тяжеловесных грузов автомобильным транспортом [Текст] / Н.А. Троицкая. — М.: Транспорт, 1992. – 157 с.
5. Правила дорожного движения РФ [Текст]. – М.: Третий Рим, 2008. – 192 с.
6. Инструкция по перевозке крупногабаритных и тяжеловесных грузов автомобильным транспортом по дорогам РФ [Текст]. — М.: Минтранс России, 1996. – 125 с.
7. Эксплуатация и безопасность движения автопоездов-тяжеловозов [Текст] / под ред. А.П. Степанова. — М.: Транспорт, 1998. – 256 с.
8. Амиров, Т.К. Перевозка крупногабаритных тяжеловесных грузов [Текст] / Т.К. Амиров. — М.: Экспресс-информация ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1985. – Вып.7. – С. 62-65.
9. Руководство по грузовым перевозкам на внутренних воздушных линиях СССР [Текст]. — М.: Воздушный транспорт, 1985. – 85 с.
10. Технические условия размещения и крепления крупногабаритных и тяжеловесных грузов на судах речного флота [Текст]. — М.: Транспорт, 1989. – 120 с.
11. Чеботарев, А.А. Специализированные автотранспортные средства (выбор и эффективность применения) [Текст] / А.А. Чеботарев. — М.: Транспорт, 1988. – 158 с.

Котенко Анатолій Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри управління вантажною і комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-85.

Лаврухін Олександр Валерійович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри управління вантажною і комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-85.

Шилаєв Павло Сергійович, канд. техн. наук, асистент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-85.

Світлична Аліна Володимирівна, аспірант кафедри управління вантажною і комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-85.

Шевченко Віталій Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-85.

Пилипейко Олег Миколайович, здобувач кафедри управління вантажною і комерційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-85.

Kotenko A.M., doctors of techn. sciences, Ukrainian State Academy of Railway Transport.

Lavrukhin A.V., doctors of techn. sciences, Ukrainian State Academy of Railway Transport.

Shylayev P.S., cand. of techn. sciences.

Svetlichnaya A.V.

Shevchenko V.I., cand. of techn. sciences.

Pilipeyko A.N., eng.

УДК 656.072.21

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ОСНОВІ РАЦІОНАЛІЗАЦІЇ
ВИКОРИСТАННЯ ПАРКУ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ**

Студ. Коваленко В.В., канд. техн. наук О.А. Малахова

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК НА ОСНОВЕ
РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРКА ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ**

Студ. В.В. Коваленко, канд. техн. наук О.А. Малахова

**IMPROVING PASSENGER ON THE BASED OF RATIONALIZATION OF PASSENGER CAR
FLEET**

Student V.V. Kovalenko, PhD. tehn. sciences O.A. Malakhova

Проведений аналіз системних труднощів, що стримують організацію та розвиток пасажирських перевезень. Покращення пасажирських перевезень можливе за рахунок раціоналізації маршрутів прямування поїздів з ліквідацією перепростой в основному та оборотному депо, кільцювання схем поїздів, закриття малодільних вагонних дільниць та депо. Задачу раціоналізації маршрутів запропоновано вирішувати за допомогою математичного апарату теорії графів.

Ключові слова: пасажиропотік, вагон, схеми формування.

Проведен анализ системных проблем, сдерживающих организацию и развитие пассажирских перевозок. Улучшение пассажирских перевозок возможно за счет рационализации маршрутов следования поездов с ликвидацией перепростоев в основном и оборотном депо, кольцевания схем поездов, закрытия малодетельных вагонных участков и депо. Задачу рационализации маршрутов предложено решать с помощью математического аппарата теории графов.

Ключевые слова: пассажиропоток, вагон, схемы формирования.

The analysis of the systemic problems that hinder the organization and development of passenger traffic. A significant deficiency fleet of passenger cars and the lack of sufficient funding leads to a reduction in Route trains, increase usage, and therefore the depreciation of cars, frequency change plying.

The solution of these problems, at present, possible due to rationalization Route train with the elimination of re downtime in fixed and working depot, ringing schemes trains, railroad closure low-density stations and depots. The task of rationalizing the routes proposed to solve using mathematical tools of graph theory.

Keywords: passenger, car, forming circuit.

Вступ. Державною цільовою програмою реформування залізничного транспорту на 2010-2015 роки, затвердженою постановою Кабінету Міністрів України № 1390 від 16 грудня 2009 року, передбачається прискорення розвитку конкуренції на ринку залізничних перевезень, утворення нових підприємств різних форм власності, що здійснюватимуть вантажні та пасажирські перевезення, а також підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту на внутрішньому та зовнішньому ринку транспортних послуг. Метою є

запровадження вертикально-інтегрованої системи господарського управління залізничним транспортом, що дозволить вирішити такі завдання, як виконання функції універсального перевізника всіх видів вантажів та категорій пасажирів на вітчизняному та міжнародному ринках перевезень, надання перевізникам та операторам вантажних та пасажирських перевезень послуг з використання інфраструктури залізничного транспорту та здійснення її утримання.

Світовий досвід реформування залізничного транспорту говорить про те, що

вертикально-інтегрованим залізничним компаніям властиві такі основні конкурентні переваги, як розвиток пропускної спроможності інфраструктури, більш гнучке регулювання тарифів, на які не впливає вартість послуг інфраструктури, можливість встановлення інвестиційних пріоритетів у залежності від поточної та перспективної кон'юнктури транспортного ринку, висока капіталізація компанії.

Як відомо, останніми роками у сфері пасажирських перевезень залізничного транспорту України проведено низку заходів, спрямованих на адаптацію пасажирських перевезень до сучасних ринкових умов, орієнтованих на підвищення ефективності та конкурентоспроможності галузі, і, перш за все, на забезпечення населення послугами якісного та доступного транспорту.

Великий внесок у розвиток теорії та питань вдосконалення пасажирських перевезень на залізничному транспорті зробили такі вчені: А.П. Абрамов, М.М. Барков, І.В. Белов, А.В. Болотін, Т.В. Бутько, Б.А. Волков, А.Є. Гибишман, В.Г. Галабурда, М.І. Данько, Ю.В. Дьяков, Т.М. Муджирі, Є.А. Сотников, В.Г. Савельєв, В.М. Саввов, Б.І. Шафіркін, Ш.М. Шайдуллін, П.О. Яновський та ін.

Сьогодні, незважаючи на наявні системні проблеми і деякі недоліки проведених реформ,

залізничні пасажирські перевезення продовжують зберігати переважну частку (більше 50 %) у загальному обсязі транспортних послуг та нести соціальне навантаження з обслуговування населення, що ще раз підтверджує їх стратегічну значимість для держави.

Однак потрібно визнати [1], що прийняття численних програмних документів з реформування пасажирських перевезень не привело до досягнення головної мети - до забезпечення потреби населення в якісних транспортних послугах залізничної галузі.

На сьогоднішній день якісна організація та розвиток пасажирського господарства стримується системними проблемами:

- критичним зносом і дефіцитом пасажирського вагонного парку;
- недостатнім державним субсидуванням;
- незадовільним станом вокзального господарства;
- недосконалістю підходів щодо розвитку конкурентного ринку перевезень.

Стан вагонного парку з кожним роком погіршується. Для забезпечення обсягів перевезень необхідно до 2020 року придбати більше 1500 вагонів і продовжити термін експлуатації для більш ніж 3000 вагонів. Аналіз даних наведено на рисунку.

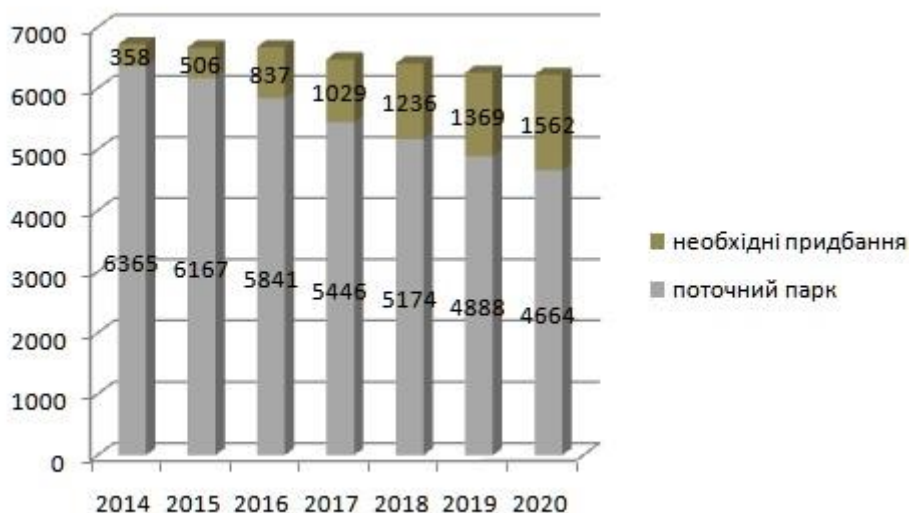


Рис. Структура парку пасажирських вагонів на перспективу

Як показала практика інших держав, прагнення створити конкурентний ринок у

сфері пасажирських перевезень за рахунок роздроблення єдиного пасажирського

господарства на кілька самостійних підприємств не тільки не поліпшило якість наданих послуг пасажиром і технологію організації перевізного процесу, але і значно збільшило чисельність адміністративно-управлінського персоналу, що збільшило собівартість пасажирських перевезень.

Крім того, враховуючи неповноту составів пасажирських поїздів по всіх напрямках курсування, існує потреба у збільшенні схем на 289 од. пасажирських вагонів або в середньому на 1,7 вагона.

Таким чином, на сьогодні загальна додаткова потреба в пасажирських вагонах з урахуванням збільшення періодичності курсування, продовження маршруту прямування та поповнення схем пасажирських поїздів становить понад 410 одиниць, в тому числі для забезпечення перевезень у міжнародному сполученні – понад 100 одиниць, в міжобласному сполученні – 255 одиниць, у місцевому та приміському сполученні – 21 одиниця.

Основна частина. Таким чином, маючи значний дефіцит парку вагонів, сьогодні більше третини поїздів недостатньо сформовані, склади відправляються вкорочені, що не дозволяє задовольнити попит у перевезенні пасажирів близько 25 % [2].

Наслідком дефіциту пасажирського рухомого складу є:

- формування неповносоставних поїздів;
- скорочення маршрутів;
- збільшення інтенсивності використання рухомого складу за рахунок скорочення планового обслуговування і ремонту;
- відсутність технологічного резерву пасажирських вагонів.

Для раціоналізації парку пасажирських вагонів необхідно розробити заходи, спрямовані:

- на виведення з експлуатації пасажирських вагонів, термін служби яких добігає кінця;
- розформування малодіяльних пасажирських вагонних депо та дільниць.

Ці заходи дозволять використовувати ту ж саму кількість пасажирських поїздів із задіянням меншої кількості вагонів, ніж передбачено графіком, підвищити періодичність курсування сезонних поїздів без

задіяння додаткового рухомого складу, виконувати більшу кількість щоденних рейсів наявними складами поїздів із сидячими місцями, зменшити експлуатаційні витрати за рахунок розформування малодіяльних вагонних депо та дільниць.

Вирішувати дані питання пропонується такими етапами:

- зав'язати в загальний оборот состави поїздів, які мають перестій у пунктах формування та/або обороту;
- передати частину поїздів на обслуговування у інші депо з метою мінімізації простою составів у пунктах формування та/або обороту;
- передати состави швидкісних поїздів, що курсують зі столиці, на обслуговування у столичному вагонному депо;
- передати на обслуговування в інші депо поїзди, що формуються малодіяльними вагонними депо.

Так, при формуванні двох фірмових составів поїзда 083/084 Маріуполь – Донецьк – Київ (формування ЛВЧД-2 Донецької залізниці) та зав'язуванні в загальний оборот поїздів 069/070 Маріуполь – Донецьк – Львів, 077/078 Маріуполь – Донецьк – Москва та 083/084 Маріуполь – Донецьк – Київ при щоденному цілорічному відправленні можливо вивільнити 18 пасажирських вагонів.

Моделювання складних процесів визначення раціональних маршрутів використання пасажирських вагонів можливе на основі використання задачі комівояжера [3].

Станції, на яких можливе суміжне використання составів поїздів при їх взаємній ув'язці, пронумеруємо числами $i \in T(1, 2, 3, \dots, n)$. Тур комівояжера може бути описаний циклічною перестановкою $t = (j_1, j_2, j_3, \dots, j_n, j_1)$, причому всі $j_1, \dots, j_n$ – різні номери; повторюваний на початку і в кінці j_1 показує, що перестановка зациклена. Відстані між парами вершин C_{ij} утворюють матрицю C . Задача полягає в тому, щоб знайти такий тур t , щоб мінімізувати функціонал.

$$L = L(t) = \sum_{k=1}^n C_{j_k} j_{k+1}, \quad (1)$$

де n – кількість станцій.

У постановці C_{ij} означають відстані, тому вони повинні бути невід'ємними, тобто для всіх $j \in T$: $C_{ij} \geq 0$; $C_{ij} = \infty$ (останнє рівняння означає заборону на петлі в турі), симетричні, тобто для всіх i, j $C_{ij} = C_{ji}$. i задовольняє нерівності трикутника, тобто для всіх напрямків

$$C_{ij} + C_{jk} \geq C_{ik}. \quad (2)$$

Задача комівояжера може бути сформульована як задача на графі в такій постановці: побудувати граф $G(X, A)$, верши-

ни якого відповідають станціям у зоні комівояжера, а дуги відображають комунікації, що з'єднують пари станцій.

Висновки. Для вибору раціональних маршрутів руху пасажирських поїздів далекого та місцевого сполучення запропоновано застосовувати математичний апарат теорії графів. Такі задачі відносять до NP-складних задач та розв'язують за допомогою евристичних методів. Саме для того, в роботі запропоновано розв'язувати задачу пошуку маршруту розв'язуванням задачі комівояжера, де враховано багатокритеріальність та можливість підвищення інтенсивності руху.

Список використаних джерел

1. Марчук, Б.Е. Стратегия и приоритетные направления развития системы управления пассажирскими железнодорожными перевозками [Текст] / Б.Е. Марчук, Н.Н. Красильникова, Е.А. Макарова // Вестник ВНИИЖТ. – 2002. - №5. – С. 18-20.
2. Пазойский, Ю.О. Математическая модель оптимизации пассажирских перевозок в дальнем сообщении [Текст] / Ю.О. Пазойский, Д.В. Глазков // Вестник ВНИИЖТ, 2004. - №2. – С. 205.
3. Решение задачи коммивояжера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://math.semestr.ru/kom/index.php>.

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

Коваленко Валерій Віталійович, студент Української державної академії залізничного транспорту.
Тел. 0509850657.

Малахова Олена Анатоліївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління процесами перевезень Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 0663418481. E.mail: alena_mal@mail.ru.

Kovalenko Valery V., student Ukrainian State Academy of Railway Transport.

Malakhova Olena A., candidate sciences, assistant professor of transportation management processes Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. 0663418481. E.mail: alena_mal@mail.ru.

УДК 343.346:656.2:343.148

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПРОВЕДЕННЯ СУДОВОЇ ЗАЛІЗНИЧНО-ТРАНСПОРТНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ

Старш. наук. співроб. П.М. Хоробрих

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПРОВЕДЕНИЮ СУДЕБНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Старш. науч. сотруд. П.Н. Хоробрых

ANALYSIS APPROACHES TO JUDICIAL RAIL-FREIGHT EXPERTISE

Senior fellow P.N. Horobrih

У даній статті викладено наявні в експертній практиці підходи з оцінки дій учасників залізнично-транспортної пригоди при проведенні судових експертиз. Проведено аналіз і виявлено недоліки цих підходів. Наведено думку автора щодо удосконалення підходу з оцінки дій учасників залізнично-транспортних пригод і на підставі цього сформульовано основні завдання, які можуть бути вирішені при проведенні даної експертизи, сформульований перелік питань методології проведення експертизи.

Ключові слова: залізнично-транспортна пригода, судова залізнично-технічна експертиза.

В данной статье изложены имеющиеся в экспертной практике подходы по оценке действий участников железнодорожно-транспортного происшествия при проведении судебных экспертиз. Проведен анализ и выявлены недостатки этих подходов. Приведено мнение автора относительно усовершенствования подхода по оценке действий участников железнодорожно-транспортных происшествий, и на основании этого сформулированы основные задачи, которые могут быть решены при проведении данной экспертизы, и сформулирован перечень вопросов методологии проведения экспертизы.

Ключевые слова: железнодорожно-транспортное происшествие, судебная железнодорожно-техническая экспертиза.

This article describes the available expert practice approaches to assess the actions of the participants rail accident in conducting forensic examinations. Analyzed and identified the shortcomings of these approaches. Given the author's opinion regarding the improvement of the approach to assessing the actions of members of railway accidents, and on this basis the main tasks that can be solved by carrying out this examination, and formulated a list of questions the methodology of the examination.

Keywords: railway-transport adventure, judicial all-rail-technical examination.

Постановка проблеми. На даний момент «Інструкцією про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень» при проведенні судової експертизи на стадії досудового або судового розслідування справ по залізнично-транспортних пригодах пропонується вирішення питань про невідповідність дій посадових осіб різних структурних підрозділів залізничного транспорту вимогам нормативних документів [1].

З технічної точки зору такий підхід не може бути використаним в експертній

практиці, оскільки при проведенні залізнично-транспортної експертизи судовий експерт на підставі своїх спеціальних знань у цій галузі та в межах своєї компетенції розглядає лише дії тих осіб, які виконують ту чи іншу технологічну операцію в певному процесі (керують локомотивом, замикають маршрут, переводять стрілочний перевод та ін.).

Іншими словами, судовий експерт повинен досліджувати з технічної точки зору фактичні дії «оператора», наприклад дії чергового по станції, які призвели до

виникнення пригоди, і порівнювати їх з діями, які необхідно було б зробити цьому «оператору» для уникнення залізнично-транспортної пригоди відповідно до вимог нормативних документів.

Виходячи з цих вимог формуються завдання, які вирішуються при проведенні залізнично-транспортної експертизи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науково-практичні аспекти, які пов'язані з дослідженнями при проведенні судових експертиз по залізнично-транспортних пригодах, викладені в працях співробітників Львівського науково-дослідного інституту судових експертиз [2, 3, 4, 5].

На їх думку, дослідження обставин залізнично-транспортної пригоди необхідно проводити диференційовано, залежно від механізму їх виникнення. Зокрема пропонується проводити дослідження при стихійних лихах і проводити оцінку дій учасників пригоди в подібних ситуаціях, проводити аналіз дій посадових осіб різних структурних підрозділів відповідно до вимог нормативних документів при дослідженні залізнично-транспортної пригоди.

На нашу думку, залізнично-транспортні пригоди слід поділити на чотири групи, а оцінку дій з технічної точки зору проводити лише тих учасників пригоди, які виконують технологічні функції.

Мета статті. Вдосконалити підхід до проведення судової залізнично-транспортної експертизи та встановити орієнтовний перелік питань, які вона може вирішувати на даному етапі свого розвитку.

Основний матеріал. Судова експертиза - це дослідження експертом на основі спеціальних знань матеріальних об'єктів, явищ і процесів, які містять інформацію про обставини справи, що перебуває у провадженні органів досудового розслідування чи суду [6].

Згідно з «Інструкцією про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень» інженерно-технічна експертиза із застосування спеціальних знань у галузі залізничного транспорту називається транспортно-залізничною [1]. На сьогодні транспортно-залізнична експертиза знаходиться на початковому етапі становлення.

У вказаній інструкції відсутні поняття предмета та об'єкта судової транспортно-

залізничної експертизи. Автором пропонується таке:

- *предметом* транспортно-залізничної експертизи є фактичні дані про обставини залізнично-транспортної пригоди, технічний стан рухомого складу, стан верхньої будови колії, фактичні дії осіб, які виконують ту чи іншу технологічну функцію з забезпечення безпеки руху, а також причини та умови, що сприяли виникненню пригоди, що встановлюються на основі спеціальних знань;

- *об'єктом* транспортно-залізничної експертизи є:

а) матеріали кримінальних, цивільних, адміністративних, господарських справ та інші матеріали, що надаються на дослідження органом, який призначив проведення експертизи;

б) рухомий склад залізниць, верхня будова колії та інші пристрої;

в) місце виникнення транспортно-залізничної події;

г) висновки фахівців з питань, що мають відношення до транспортно-залізничної події, що розглядається, тощо.

Відповідно до «Положення про класифікацію транспортних подій на залізничному транспорті України» транспортно-залізничні пригоди, які при поїзній чи маневровій роботі загрожують безпеці руху, залежно від їхніх наслідків поділяються на такі види:

- *катастрофа на залізничному транспорті* – транспортна подія з тяжкими наслідками, що призвела до зіткнення пасажирських або вантажних поїздів з іншими поїздами або рухомим складом залізничного транспорту, сходи рухомого складу в пасажирських або вантажних поїздах на перегонах і станціях, унаслідок яких одна людина або більше загинула чи шість або більше травмовано, і (або) пошкоджено рухомий склад залізничного транспорту до ступеня вилучення його з інвентарного парку в обсязі від трьох одиниць;

- *аварія на залізничному транспорті* - транспортна подія, що призвела до зіткнення пасажирських або вантажних поїздів з іншими поїздами або рухомим складом залізничного транспорту, сходи рухомого складу в поїздах на перегонах і станціях, унаслідок яких від однієї людини до п'яти травмовано і (або) пошкоджено рухомий склад залізничного

транспорті до ступеня вилучення його з інвентарного парку;

- **серйозний інцидент** - транспортна подія, що виникла під час руху рухомого складу залізничного транспорту, яка могла призвести до аварії та (або) унаслідок якої рухомий склад залізничного транспорту пошкоджено до ступеня капітального ремонту. Зокрема до серйозних інцидентів належать зіткнення пасажирських або вантажних поїздів з іншими поїздами чи рухомим складом залізничного транспорту, сходи рухомого складу у поїздах на перегонах і станціях, які не належать до аварій за своїми наслідками;

- **інцидент** - транспортна подія, що виникла під час руху рухомого складу залізничного транспорту, але не закінчилася серйозним інцидентом;

- **порушення** - транспортна подія, що виникла під час руху рухомого складу залізничного транспорту, але не закінчилася інцидентом [8].

З технічної (експертної) точки зору, на нашу думку, транспортно-залізничні пригоди слід поділити в рамках наведеної класифікації на такі групи: *зіткнення (наїзди), сходи та інші*.

Зіткнення поїзда або рухомого складу залізничного транспорту - зустрічне, попутне чи бокове зіткнення поїзда або рухомого складу залізничного транспорту з іншим, що рухається, зупиненим або залишеним на залізничній колії поїздом, рухомим складом залізничного транспорту чи механічним самохідним засобом незалежно від ступеня отриманих при цьому пошкоджень рухомого складу.

Методика досліджень транспортно-залізничної пригоди, у яких мав місце контакт рухомого складу з предметами, що знаходяться на залізничних коліях (вагон або група вагонів, що стоять, локомотив, що стоїть, автотранспортні засоби, гальмівні башмаки тощо), і (або) з людьми (пішоходами чи пасажирами або особами, які виконують свої посадові обов'язки: монтери шляху, оглядачі вагонів, чергові та ін.), пропонується аналогічною до методик, що розроблені та успішно застосовуються в інших родах судових експертиз (наприклад у загальному випадку визначення технічної можливості уникнення транспортно-залізничної пригоди з боку машиніста поїзда шляхом застосування

своєчасного екстреного гальмування). Особливістю таких транспортно-залізничних пригод є те, що у випадках наїзду на осіб, що знаходились на об'єктах залізничного транспорту і виконували свої посадові обов'язки, дії останніх регламентуються певними технічними нормами [7, 8, 9, 10], що необхідно враховувати при експертному аналізі.

Зустрічні зіткнення можливі у випадках неправильної організації процесу перевезень, несправності стрілочних переводів, несправності засобів сигналізації та зв'язку тощо. Аналіз зустрічних зіткнень необхідно розглядати в аспекті відповідності дій відповідальних осіб з виконання покладених на них функцій (виконання конкретних технологічних операцій) вимогам «Правил технічної експлуатації» та інших нормативних документів, а також справності систем регулювання руху. Попутні та бокові зіткнення можливі як через неправильну організацію руху, так і через технічний стан рухомого складу або систем регулювання руху.

Схід з рейок рухомого складу залізничного транспорту - подія, що призвела до втрати взаємодії хоча б одного колеса рухомого складу залізничного транспорту з рейкою в результаті зміщення колеса від свого нормального положення відносно головки рейки [8].

Причинами сходу з технічної точки зору можуть бути технічний стан рухомого складу, технічний стан залізничної колії та її обладнання, а також неправильні дії машиніста з керування поїздом.

При аналізі транспортно-залізничних ситуацій, у яких мав місце схід, необхідно:

- визначити місце сходу рухомого складу з рейкової колії (номер вагона, номер осі, кілометр перегону);

- вставлення технічного стану рухомого складу, його вузлів і систем;

- встановлення параметрів руху поїзда;

- встановлення технічної причини сходу рухомого складу з залізничної колії;

- встановлення необхідних дій осіб, відповідальних за безпеку руху, відносно нормативних документів, що діють на залізничному транспорті, і порівняння цих дій з фактичними діями; встановлення причинного зв'язку між діями відповідальних осіб і виникненням транспортно-залізничної пригоди.

До категорії «інші» належать випадки, пов'язані з неправильним кріпленням вантажу, розривом поїзда тощо. При цьому вирішуються такі завдання:

- визначення технічного стану рухомого складу, зокрема автозчеплення приладів, несправність яких може призвести до розчеплення поїзда;

- встановлення причини, яка привела до роз'єднання поїзда;

- встановлення можливості виявлення несправності, що призвела до розриву поїзда, особами, відповідальними за технічний стан рухомого складу і складання поїздів;

- визначення фактичного стану кріплення та розміщення вантажу і відповідності його нормативним вимогам.

Вказаний перелік завдань при дослідженні транспортно-залізничної пригоди не є вичерпним і може розширятися з розвитком теоретичних і методичних основ даної експертизи.

У результаті аналізу класифікації видів транспортно-залізничної пригоди і з урахуванням завдань при дослідженні транспортно-залізничної пригоди, які наведені вище, можливо сформулювати **основні завдання транспортно-залізничних досліджень**:

- встановлення фактичних даних про обставини розвитку транспортно-залізничної пригоди, у тому числі визнання місця сходу рухомого складу з рейкової колії (номер вагона, номер осі, кілометр перегону), параметрів руху поїзда, визначення фактичного стану колії, кріплення та розміщення вантажу тощо;

- встановлення технічного стану рухомого складу залізничного транспорту, його вузлів і систем на момент події та його відповідність нормативним вимогам;

- визначення причини та часу виникнення несправності рухомого складу, його вузлів і систем та її впливу на розвиток транспортно-залізничної пригоди;

- встановлення технічного стану колії та її пристроїв, а також систем регулювання руху на момент події, і її відповідність нормативним вимогам;

- визначення причини та часу виникнення несправності колії і її пристроїв, а також систем регулювання руху та її впливу на розвиток транспортно-залізничної пригоди;

- визначення відповідності фактичного стану кріплення та розміщення вантажу нормативним документам і його впливу на розвиток події;

- встановлення технічної причини настання транспортно-залізничної пригоди;

- аналіз дій осіб, відповідальних за безпеку руху, відносно вимог нормативних документів, що діють на залізничному транспорті; встановлення причинного зв'язку між діями відповідальних осіб і виникненням транспортно-залізничної пригоди [11, 12].

Орієнтовний перелік питань методології проведення транспортно-залізничних досліджень:

1. У якому технічному стані на момент транспортно-залізничної пригоди знаходився рухомий склад залізничного транспорту, зокрема гальмівна система, ходова частина, автозчеплення тощо? Чи відповідав технічний стан рухомого складу залізничного транспорту нормативним вимогам?

2. Яка причина несправності гальмівної системи, ходової частини, автозчеплення тощо рухомого складу залізничного транспорту, що була на момент транспортно-залізничної пригоди, час її виникнення та вплив на розвиток події?

3. У якому місці відбувся схід рухомого складу з рейкової колії (номер вагона, номер осі, кілометр перегону)?

4. Яка була швидкість поїзду на момент транспортно-залізничної пригоди?

5. Яка величина зупинкового шляху поїзда в умовах транспортно-залізничної пригоди?

6. З якою швидкістю рухався поїзд на момент сходу?

7. У якому технічному стані на момент сходу рухомого складу залізничного транспорту знаходилась верхня будова колії та її пристрої? Чи відповідав технічний стан верхньої будови колії та її пристроїв нормативним вимогам?

8. Яка причина несправності елементів верхньої та нижньої будови колії, що виникли на момент транспортно-залізничної пригоди, час її виникнення та вплив на розвиток події?

9. Яка з технічної точки зору причина роз'єднання поїзда?

10. Яка з технічної точки зору причина виникнення транспортно-залізничної пригоди?

11. Як відповідно до вимог «Правил технічної експлуатації» та інших нормативних документів, що діють на залізничному транспорті, повинні бути діяти відповідальні особи в ситуації, що розглядається?

12. Чи могли відповідальні особи, виконуючи вимоги «Правил технічної експлуатації» та інших нормативних документів, своїми діями попередити виникнення транспортно-залізничної пригоди, що розглядається?

13. Чи були в діях відповідальних осіб невідповідності вимогам «Правил технічної експлуатації» та інших нормативних документів, що діють на залізничному

транспорті, якщо так, то чи знаходяться вони в причинному зв'язку з виникненням ситуації, що розглядається?

14. Яким було фактичне кріплення та розміщення вантажу на рухомому складі залізничного транспорту, чи відповідало воно нормативним документам і чи впливало на розвиток події?

Висновок. Для розвитку судової залізнично-транспортної експертизи в сучасних умовах функціонування залізничного транспорту України необхідно удосконалювати підхід до її проведення, а також продовжувати подальшу роботу з розроблення її теоретичних основ.

Список використаних джерел

1. Інструкція про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень [Текст]: наказ Міністерства юстиції України від 08 жовтня 1998 р. № 53/5.
2. Сокол, Э.Н. Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики) [Текст] / Э.Н. Сокол. – К.: Транспорт України, 2004. – 368 с.
3. Сокол, Э.Н. Момент опасности и угроза безопасности в поездной и маневровой работе [Текст] / Э.Н. Сокол // Залізничний транспорт України. – 2005. – № 5-6.
4. Сокол, Э.Н. Механизм железнодорожно-транспортного происшествия [Текст] / Э.Н. Сокол // Залізничний транспорт України. – 2008. – №4.
5. Сокол, Э.Н. Форма и структура формы обобщенной модели механизма железнодорожно-транспортного происшествия [Текст] / Э.Н. Сокол // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 2.
6. Про судову експертизу [Текст]: закон України від 25.02.1994 р. № 4038-XII.
7. Положення про систему управління безпекою руху поїздів в Державній адміністрації залізничного транспорту України [Текст]: наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 14 вересня 2004 р. № 818, зареєстрований у Міністерстві юстиції України 29 вересня 2004 р. за № 1232/9831.
8. Положення про класифікацію транспортних подій на залізничному транспорті України [Текст]: наказ Міністерства транспорту України від 16 жовтня 2003 р. № 800.
9. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст]: наказ Міністерства транспорту України від 20 грудня 1996 р. № 411, із змінами і доповненнями, внесеними наказами Міністерства транспорту України від 8 червня 1998 р. № 226, від 23 липня 1999 р. № 386, від 19 березня 2002 р. № 179, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 25 лютого 1997 р. № 50/1854.
10. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України ЦД 0058 [Текст]: наказ Міністерства транспорту України від 31 серпня 2005 р. № 507.
11. Шляхов, А.Р. Судебная экспертиза: организация и проведение [Текст] / А.Р. Шляхов. – М.: Юрид. литература.
12. Романов, М.С. Причинний зв'язок при порушенні технічних норм та його дослідження в кримінальному процесі [Текст] / М.С. Романов, М.С. Корчан // Право України. – К., 2000. – № 1.

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

Хоробрих Павло Миколайович, судовий експерт, старший науковий співробітник лабораторії інженерно-транспортних, пожежно-технічних, електротехнічних досліджень та досліджень в галузі охорони праці та безпеки життєдіяльності Харківського науково-дослідного інституту судових експертиз ім. Засл. проф. М.С. Бокаріуса. Тел.: (057) 777-67-37.

Horobrih P.N., senior fellow at the Kharkov Research Institute of forensic examinations.

УДК 656.223.2.001.18

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ ПОРОЖНІХ ВАГОНІВ В УМОВАХ ДЕФІЦИТУ РУХОМОГО СКЛАДУ

Канд. техн. наук Л.І. Рибальченко,
магістр Д. В. Франковський

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Канд. техн. наук Л.И. Рыбальченко,
магистр Д.В. Франковский

OPTIMIZING THE USE OF EMPTY WAGONS IN THE DEFICIT OF ROLLING STOCK

Cand. of techn. sciences L. Rybalchenko, D. Frankovskiy

Одним із ключових питань для системи перевезень є своєчасне забезпечення вагонами усіх відправників вантажу. Виконання цієї операції ускладнюється нестачею вагонів і їх незадовільним станом. Тому на даному етапі роботи залізниць постає питання оптимізації використання порожніх вагонів, одним із варіантів вирішення якого є освоєння нових підходів до організації вагонопотоків.

Ключові слова: порожні вагони, оптимізація, технологія, інформаційні системи.

Одним из ключевых вопросов для системы перевозок является своевременное обеспечение вагонами всех грузоотправителей. Выполнение этой операции осложняется нехваткой вагонов и их неудовлетворительным состоянием. Поэтому на данном этапе работы железных дорог возникает вопрос оптимизации использования порожних вагонов, одним из вариантов решения которого является освоение новых подходов к организации вагонопотоков.

Ключевые слова: порожние вагоны, оптимизация, технология, информационные системы.

In the current economic conditions it becomes necessary to increase the competitiveness of rail transport. Due to the lack of cars and their poor condition, there are situations when it is impossible to timely provide the required type of wagons all shippers because railroads suffer some losses. To purchase new rolling stock requires significant investment, so there is a problem of rational use of available transport units in operation. One option is the rationalization of the development of new approaches to car traffic, such as the use of new information management systems that help decide the operational staff.

Keywords: empty wagons, optimization, technology, information systems.

Вступ. Залізниця – важливий структурний підрозділ транспорту, що забезпечує доставки вантажів по всій Україні та за її кордони. У сучасних економічних умовах, коли кількість підприємств, що надають послуги з перевезення, значно зросла, залізниці потрібно застосовувати заходи щодо підвищення рівня конкурентоспроможності. Тобто стає необхідним підвищення якості обслуговування клієнтів та розширення комплексу послуг. Все це є складовими системи перевезень і тому вона повинна працювати злагоджено, спираючись на якісні технології та методи [3].

Постановка проблеми у загальному вигляді. Для якісного забезпечення перевезень залізниця витрачає великі кошти на утримання, ремонт, закупівлю та модернізацію споруд, пристроїв і рухомого складу.

Як видно зі статистичних досліджень, за останні роки Укрзалізниця зазнала деяких збитків, викликаних дефіцитом рухомого складу та його незадовільним станом [9]. У зв'язку з тим, що замінити наявний рухомий склад на новий за короткий термін неможливо, постає питання оптимізації використання наявного в експлуатації рухомого складу.

Отже, стає необхідним освоєння нових підходів до організації перевезень, а саме організації вагонопотоків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням оптимізації використання рухомого складу та удосконалення роботи системи перевезень приділяло уваги багато вчених, а саме Т.В. Бутько, А.С. Гершвальд, М.І. Данько, І.В. Жуковичський, О.В. Лаврухін, Д.В. Ломотько, В.Я. Негрей, Л.П. Тулупов та інші вчені. Ними розглянуто напрямки вдосконалення існуючих технологій, використання нових методів і технологій для системи перевезень, а також реформування існуючих і впровадження нових інформаційних систем.

Визначення мети та задачі дослідження. Постає необхідність виявлення причин затримки відправлення вантажів, порушення терміну доставки, які призводять до втрати клієнтів, а отже, і до зниження конкурентоспроможності залізниці. Одним із важливих складових системи перевезень, що впливають на рівень всієї експлуатаційної роботи залізниць, є оперативне планування.

Удосконалення системи планування вантажних перевезень може вплинути на скорочення порожнього пробігу вантажних вагонів, що надасть можливість меншим парком виконувати значні обсяги перевезень і, як наслідок, підвищить конкурентоспроможність залізниць. Отже, одним із варіантів оптимізації використання порожніх вагонів є удосконалення оперативного планування.

Основна частина. За останніми даними на Укрзалізниці спостерігається підвищення об'ємів перевезень і вантажообігу, що є позитивною складовою економічного розвитку роботи залізниць, але на даний час спостерігаються й негативні складові: експлуатаційні показники погіршуються порівняно з попередніми роками [10]. Так, значення часу простою вантажного вагона під однією операцією зросло майже на 40 %. Це означає, що вантажовідправники та залізниці, з технологічної точки зору, не реагують на зміну вантажопотоку в більший або менший бік з потрібною швидкістю, яка б забезпечувала менше значення вище розглянутого показника. А значення простою вагона на одній технічній станції збільшилося на 30 % протягом 5 років [9]. Вище зазначені показники впливають на значення обігу вагона – основного

комплексного показника ефективності використання рухомого складу [8]. Чим вище простої, тим більше значення обігу, що вказує на нераціональне використання рухомого складу, яке призводить до нестачі порожніх вагонів, а отже, до несвочасної подачі під навантаження, внаслідок якої залізниці виплачують штрафи та несуть збитки [1, 4, 5]. Так, за останні п'ять років значення обігу вагона збільшилося з 4,2 доби до 6,2 доби.

Проаналізувавши вагонний парк Укрзалізниці, можна визначити одну з причин, яка сприяла виникненню нестачі порожніх вагонів. Значна кількість підприємств, які користуються вагонами Укрзалізниці, не виконують норм, які відведені на навантажувальні операції. За даними Укрзалізниці, близько 35,9 % вагонного парку стоїть на під'їзних коліях в очікуванні навантажувальних операцій, під обробкою на технічних станціях знаходиться близько 37,1 %, на проміжних станціях знаходиться близько 6 % і всього 21,3 % знаходяться у русі (рис. 1).

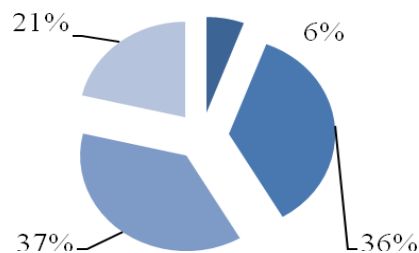


Рис. 1. Розподіл часу затримки вагонів

З іншого боку, ще однією причиною нестачі порожніх вагонів стає недосконалість системи змінно-добового та оперативного планування, яке виконується з метою швидкого реагування на коливання обсягів перевезень (у зв'язку зі зміною сезону, приходом звітного періоду та ін.), які ведуть до постійного оперативного втручання у розроблені змінно-добові плани. Це втручання повинно бути швидким, чітким, раціональним, обумовленим [2]. Але оскільки ця робота виконується людиною, тому не може відповідати усім зазначеним вимогам. Щоб прийняти правильне рішення, необхідно бути зосередженим і потрібен час на порівняння попередніх показників роботи станції (навантаження, вивантаження, потрібність подачі вагонів) і тих, що плануються [7]. Зазначені фактори негативно впливають на швидке реагування

людини, яка приймає рішення. Таким чином, оскільки на залізничному транспорті постійно змінюється оперативний стан, то відповідно до цього раніше складений змінно-добовий план може втратити сенс і згідно з цим необхідно його постійне динамічне коригування [6].

При розробленні змінно-добового плану необхідно врахувати значну кількість факторів і прийняти рішення за короткий проміжок часу, при цьому слідкувати за оперативним станом і

вести документацію [2]. Отже, оперативному працівнику важко з великою точністю визначати, яку кількість вагонів потрібно подати певному вантажовідправнику. Прийняття рішень відбувається зі значним відсотком суб'єктивізму. Тому, як видно з проведеного аналізу, майже кожного разу значення фактичного виконання навантаження або вивантаження відхиляється від плану в менший або більший бік (рис. 2)

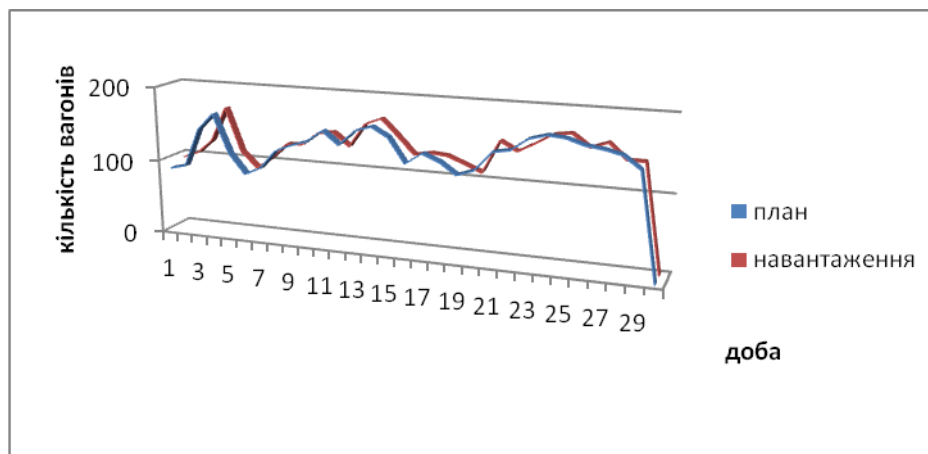


Рис. 2. Динаміка виконання змінно-добового плану

Таким чином, виявлено необхідність автоматизації процесу оперативного планування на рівні полігонів залізниць, яка призведе до оптимізації використання порожніх вагонів і надасть можливість меншим парком виконувати значний об'єм робіт.

Висновки. З'ясовано, що постає необхідність підвищення експлуатаційних

показників, яке можливо здійснити за рахунок удосконалення процесу перевезень з використанням нових інформаційно-керуючих систем, що призведе до оптимізації використання порожніх вагонів і, як наслідок, отримання зростання доходів залізниць та уникнення збитків через виплату штрафів.

Список використаних джерел

1. Ветухов, А.Е. Комплексные методы сокращения простоя вагонов [Текст] / А.Е. Ветухов, М.А. Аветикян. – М.: Транспорт, 1986. – 206 с.
2. Грошев, Г.М. Пособие поездному диспетчеру и дежурному по отделению [Текст] / Г.М. Грошев, В.А. Кудрявцев, Г.А. Платонов, А.Д. Чернугов. – М.: Транспорт, 1992. – 368 с.
3. Грунтов, П.С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте [Текст]: учеб. для вузов ж.д. транспорта / П.С. Грунтов, Ю.В. Дьяков, А.М. Макарович. – М.: Транспорт, 1994. – 543 с.
4. Ивницкий, В.А. Анализ оборота грузового вагона [Текст] / В.А. Ивницкий // Вестник ВНИИЖТ. – 2002. – Вып. 1. – С. 35-39.
5. Інструктивні вказівки з організації вагонопотоків на залізницях України [Текст]: офіц. текст. – К.: Мін-во транспорту та зв'язку України, Державна адміністрація залізничного транспорту України, головне управління перевезень, 2005. – 99 с.
6. Інструкція з оперативного планування поїзної і вантажної роботи на залізницях України [Текст]: офіц. текст: [прийнято та надано чинності наказом Укрзалізниці від 15 грудня 2004 р. № 969-

ЦЗ]. – К.: Мін-во транспорту та зв'язку України, Державна адміністрація залізничного транспорту України, головне управління перевезень, 2004. – 48 с.

7. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України [Текст]: офіц. текст. – К.: Мін-во транспорту та зв'язку України, Державна адміністрація залізничного транспорту України, головне управління перевезень, 2005. – 458 с.

8. Макаренко, М. Краткий справочник показателей эксплуатационной работы железных дорог Украины [Текст] / М. Макаренко. – К.: Юникон-Пресс, 2001.

9. Публікація документів Державної Служби Статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ukrstat.org/uk/druk/katalog/kat.../publ1_u.htm.

10. Укрзалізниця. Вантажні перевезення [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://uz.gov.ua/cargo_transportation/.

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

Рибальченко Лілія Ігорівна, канд. техн. наук, асистент кафедри управління експлуатаційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-88. E-mail: rubalchenko_liliya@mail.ru. Франковский Дмитро Володимирович, студент факультету управління процесами перевезень Української державної академії залізничного транспорту, спеціальність "Організація міжнародних перевезень". E-mail: frank4you@mail.ru.

Rybalchenko Liliya Igorivna, cand. of techn. science, assistant department of management of operational work Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-88. E-mail: rubalchenko_liliya@mail.ru. Frankowski Dmitry, student of process management traffic Ukrainian State Academy of Railway Transport, specialty "Organization of international traffic." E-mail: frank4you@mail.ru.

УДК 656.223.2(4/9)

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОСУВАННЯ ВАГОНОПОТОКІВ В УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІЖНАРОДНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ

Студ. Л.І. Макаренко

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОДВИЖЕНИЯ ВАГОНОПОТОКОВ В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ

Студ. Л.И. Макаренко

IMPROVEMENT OF PROMOTION CAR TRAFFIC UNDER CONDITIONS OF INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDORS

Stud. L. Makarenko

Пропонується удосконалити процес просування вагонопотоків в умовах функціонування міжнародних транспортних коридорів шляхом впровадження заходів, які спрямовані на скорочення їх простою, зменшення витрат всіх видів ресурсів та розвиток транспортно-дорожнього комплексу України. Поставлено задачі для вдосконалення технології роботи прикордонних передавальних станцій при обробці вантажопотоку у міждержавному сполученні.

Ключові слова: міжнародний транспортний коридор, вагонопотік, прикордонна передавальна станція, економія ресурсів.

Предлагается усовершенствовать процесс продвижения вагонопотоков в условиях функционирования международных транспортных коридоров путем внедрения мероприятий, направленных на сокращение их простоя, уменьшение затрат всех видов ресурсов и развитие транспортно-дорожного комплекса Украины. Поставлены задачи для совершенствования

технологии работы пограничных передаточных станций при обработке грузопотока в межгосударственном сообщении.

Ключевые слова: *международный транспортный коридор, вагонопоток, пограничная передаточная станция, экономия ресурсов.*

It is proposed to improve the process of moving car traffic in terms of the international transport corridors by implementing measures that aim to reduce their downtime, reduced costs of all resources and development of the transport system of Ukraine. Tasked to improve the technology work border transmission stations in the processing of traffic on interstate traffic. The general impacts on the smooth functioning of the transmission of car traffic in neighboring countries. The specificity of functioning of modern border transmission stations, which requires significant changes. The following statistics volumes of transit cargo transportation by rail and road.

Keywords: *international transport corridor, car traffic, border transfer station, saving resources.*

Вступ. Одним з найважливіших напрямків діяльності залізниці є вантажні перевезення. Вони відіграють важливу роль в економічному житті суспільства. Посилення конкуренції на транспортному ринку призвело до перерозподілу вантажопотоків між суміжними видами транспорту. В цих умовах визначним фактором при виборі клієнтом засобу перевезення стає рівень якості транспортного обслуговування. Одним з важливих показників якості є швидкість переміщення вантажу з пункту відправлення в пункт призначення. В цих умовах перед залізничним транспортом як однією з передових транспортних галузей країни постають нові завдання щодо покращення діяльності і якості послуг, які пропонуються, особливо у сфері вантажних перевезень.

Одним із ключових напрямків розвитку транспортної системи є удосконалення процесу просування вагонопотоків в умовах функціонування міжнародних транспортних коридорів.

Міжнародні транспортні коридори (МТК) – сукупність різних видів транспорту, що забезпечують значні перевезення вантажів і пасажирів на напрямках їх найбільшої концентрації.

Одним із головних напрямків реалізації транспортної політики у світі останнім часом є організація функціонування і розвитку міжнародних транспортних коридорів та залучення їх до міжнародної транспортної мережі. Це обумовлено факторами глобалізації, нової науково-технічної революції, світовими інтеграційними процесами.

Постановка задачі у загальному вигляді. На сьогодні у сфері транспортних послуг України виникає швидкозмінне зовнішнє середовище, яке потребує розробки нових заходів щодо покращення роботи Укрзалізниці.

За останній час на залізничному транспорті України спостерігається негативна тенденція до погіршення господарського стану підприємств галузі. Значний знос основних засобів виробництва призводить до поступового втрачання конкурентних переваг на ринку вантажних та пасажирських перевезень країни.

Відповідно до результатів аналізу моніторингу основних показників роботи залізниць протягом останніх років (рис. 1, 2) відбулось скорочення частки вантажних перевезень залізничним транспортом.

Дані свідчать про зменшення обсягів перевезення вантажів залізничним транспортом порівняно з автомобільним, який має відносно постійну позитивну тенденцію.

Тому залізничний, як основний вид перевезень на ринку транспортних послуг країни, повинен вдосконалювати свою діяльність і якість послуг, що пропонуються, особливо у сфері вантажних перевезень.

З урахуванням вищенаведеного робимо висновок, що одним з найважливіших завдань є дослідження та аналіз процесу просування вагонопотоків в умовах функціонування міжнародних транспортних коридорів, а також розробка пропозицій щодо удосконалення та скорочення простоїв з метою покращення пропуску вантажних поїздів.

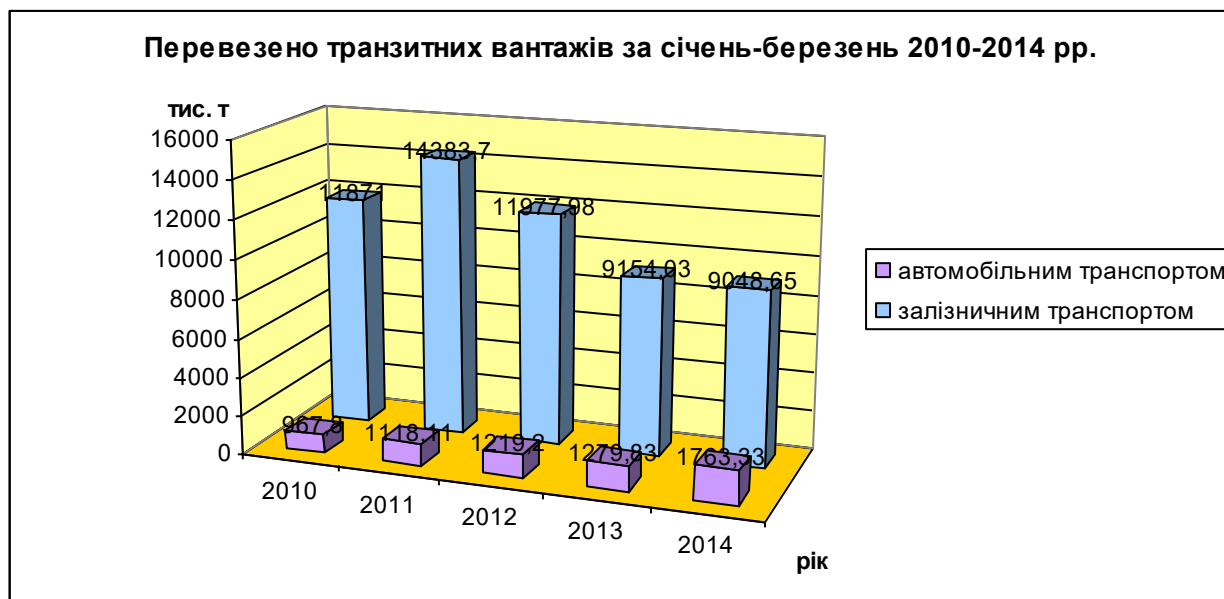


Рис 1. Обсяги перевезень транзитних вантажів за січень-березень 2010-2014 рр.

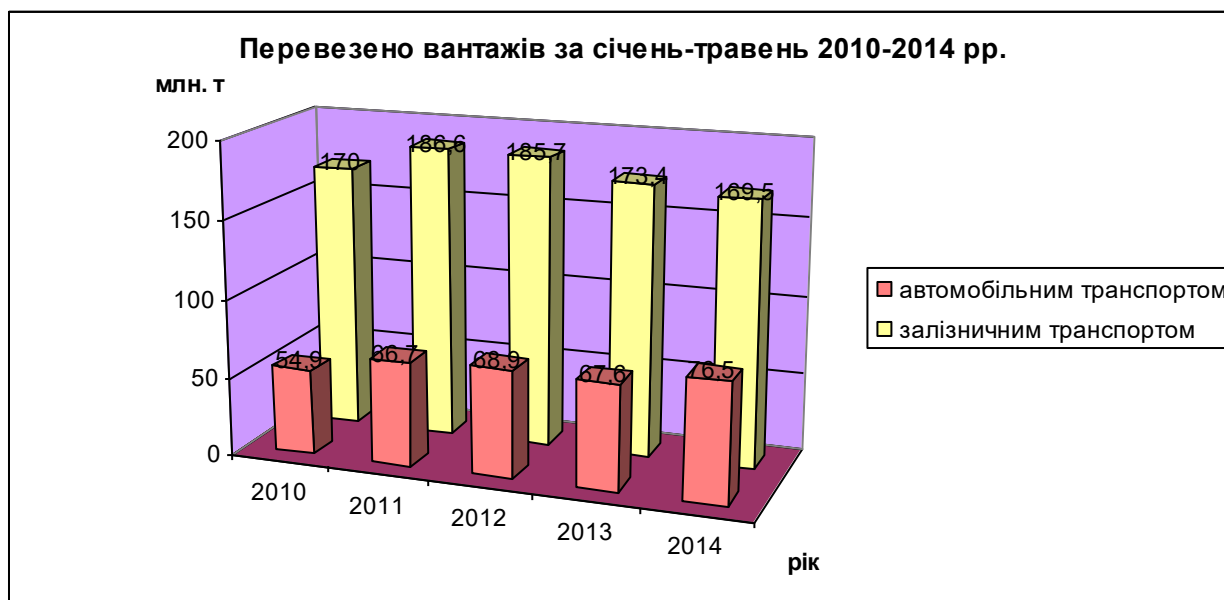


Рис 2. Обсяги перевезень вантажів за січень-травень 2010-2014 рр.

Аналіз досліджень і публікацій. У наш час виконується низка досліджень щодо удосконалення транспортних систем, зокрема наукові праці, які направлені на аналіз та розробку ініціатив для підвищення ефективності вантажних перевезень. На думку провідних вчених, залізничний транспорт є складною системою, яка постійно вимагає поліпшення. Результати останніх досліджень щодо питань удосконалення технології обслуговування транспортних засобів на

міжнародних залізничних пунктах пропуску у науковій літературі зустрічаються все частіше. Серед усіх публікацій доцільно відзначити роботи Альошинського Є.С., Архангельського Є.В., Бабаєва М.М., Бернарда К.А., Боровського В.І., Бутько Т.В., Буянова В.А., Воркут Т.А., Грунтова П.С., Губенко В.К., Данька М.І., Дьоміна Ю.В., Жуковицького І.В., Загарія Г.І., Іваницького В.А., Катаєва В.П., Кириллової О.В., Кирпи Г.М., Кособокова Е.Н., Котенка А.М., Кулешова В.М., Ломотька Д.В., Лаврухіна О.В.,

Мороза В.І., Нагорного Є.В., Нечаєва Г.І., Пасічника В.І., Петрова О.П., Пшинько А.М., Савенко А.С., Сміхова А.О., Сотникова Є.А., Тевельова Ф.А., Тихомірової І.Г., Тихонова Г.Т., Угрюмова А.К., Фокіна А.В., Чеклової В.М., Шибасєва О.Г. та інших авторів. На можливість удосконалення впливають різні фактори. До них можна віднести науково-технічний прогрес, рівень розвитку інформатизації і т. ін.

Визначення мети та задачі дослідження. Розглянути організацію роботи прикордонних передавальних станцій України у взаємодії із залізницями сусідніх країн. Дослідити технологічні показники, що впливають на функціонування ППС. Запропонувати заходи з удосконалення процесу просування вагонопотоків в умовах функціонування міжнародних транспортних коридорів.

Основна частина дослідження. Україна займає вигідне транспортно-географічне положення. Через її територію здійснюється транспортний зв'язок країн СНД з країнами Центральної та Південної Європи, Близького Сходу та Африки. Крім того, налагоджені комунікації Західноєвропейських, Скандинавських та Балтійських країн з країнами Закавказзя, Центральної Азії, Далекого Сходу, Китаєм та Індією. У подальшому розвитку і укріпленні цих зв'язків зацікавлені всі учасники транспортно-комунікативних процесів. У зв'язку з цим в Європі та Азії ведеться створення системи транспортних коридорів, в якій українські магістралі відіграють важливу роль. Територією України проходять ділянки таких міжнародних транспортних коридорів (рис. 3):

- крітський коридор №3 - Берлін - Дрезден - Вроцлав - Львів - Київ;
- крітський коридор №5 - Трієст - Любляна - Будапешт (Братислава) - Львів - Рівне - Сарни - Мінськ;
- крітський коридор №7 - Дунайський (водний);
- крітський коридор №9 - Гельсінкі - Санкт-Петербург - Мінськ (Москва) - Київ - Кишинів (Одеса) - Димитровград - Александрополіс;
- Балтійське море - Чорне море - Гданськ - Варшава - Ковель - Одеса;
- Європа - Азія - Франкфурт - Краків - Львів - Дніпропетровськ - Алма-Ата (продовження коридорів N 3 і 5);
- ЧЕС - Анкара - Єреван - Тбілісі (Баку) - Ростов-на-Дону - Донецьк - Одеса (Кишинів) -

Бухарест (Тірана) - Димитровград (Афіни) - Стамбул;

- Євразійський - Одеса - Тбілісі (Єреван) - Баку - Ашгабат;

- Північ - Південь - Харків - Полтава - Кіровоград - Одеса.

Створення транспортних коридорів та входження їх до міжнародної транспортної системи визнано пріоритетним загальнодержавним напрямом розвитку транспортно-дорожнього комплексу України.

У процесі передачі вагонопотоку між країнами основну роль відведено прикордонним передавальним станціям (ППС).

Аналіз попередніх досліджень, що присвячені удосконаленню технічних параметрів і технології роботи ППС, показав, що пункти перетину кордонів мають потребу в дієвих заходах, які спрямовані на покращення функціонування даних станцій.

Специфіка функціонування сучасних ППС полягає в тому, що більшість із них було створено на базі сортувальних або дільничних станцій, найбільш близьких до кордонів, після утворення України як незалежної держави. До набуття станціями статусу прикордонних обробка поїзних документів та передача інформації проходила паралельно із технічним та комерційним оглядом і не перевищувала норм часу на виконання технічних операцій. Але, після появи відповідних додаткових контролюючих служб, на ППС при обробці вантажопотоку у міждержавному сполученні багато часу займає саме оформлення вантажів та передача поїзної інформації між державами, що тягне за собою збільшення простоїв вагонів. Для виконання комплексу митних, прикордонних та інших операцій технічне оснащення і технологія роботи прикордонних передавальних станцій потребує суттєвих змін.

Основні причини затримок вагонів, що є найбільш поширеними та характерними для всіх ППС:

- 1) митний огляд;
- 2) митне оформлення;
- 3) відсутність електронного повідомлення митниці відправлення;
- 4) технічна або комерційна несправність вагона;
- 5) розбіжність інформації у товарно-транспортній накладній (ТТН) і вантажній митній декларації (ВМД);

6) затримання суміжними службами (прикордонною, фітосанітарною, ветеринарною або санітарно-карантинною);

7) затримання службою екологічного та (або) радіаційного контролю;

8) неправильно оформлені документи;

9) закриття або відсутність коду експедитора;

10) порушення маршруту прямування;

11) відсутність інформації в центральній базі даних;

12) відсутність рахунку-фактури;

13) інші причини;

14) конвенційна заборона (наказ № 325 У, тимчасова заборона на ввез-вивіз якогось з вантажів).

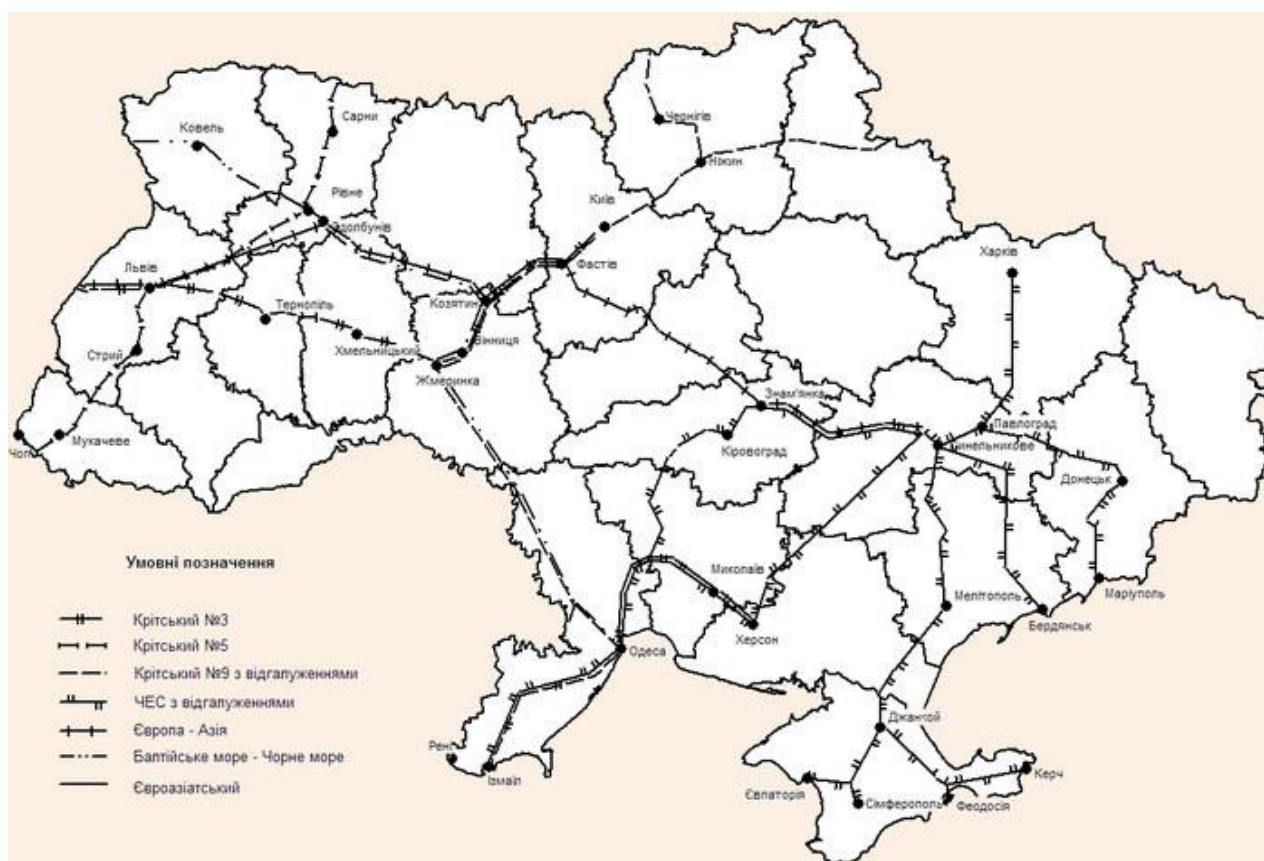


Рис. 3. Залізничні транспортні коридори, що проходять територією України

Кожна затримка вагонів на прикордонних передавальних станціях призводить до збільшення витрат ресурсів всіх видів. Більшість із них пов'язана з витратами часу, інші слід віднести до паливно-енергетичних, виробничих, людських, інформаційних та, передусім, матеріальних ресурсів.

Оснащення передавальних станцій повинно забезпечити виконання:

- погодження сторонами розмірів руху;
- операції з приймання, відправлення, розформування та формування поїздів;
- операцій, пов'язаних з ТО та КО поїздів, прикордонним, митним, екологічним,

ветеринарним та іншими видами державного контролю.

Якщо за своїм технічним оснащенням станція не може виконати зазначені обсяги і види робіт, то потрібно здійснити такі заходи:

- організувати приймання і здавання поїздів додатково на прилеглих технічних станціях або на технічні станції суміжної сторони;
- передати частину роботи на менш завантажені прикордонні переходи;
- погодити та реалізувати спрощення контрольних операцій з поїздами;

- здійснити розвиток та модернізацію оснащення станції.

Висновок. У даній статті розглянута організація роботи прикордонних передавальних станцій України у взаємодії із залізницями сусідніх країн, досліджені технологічні показники, що впливають на

функціонування ППС. Запропоновані заходи з удосконалення процесу просування вагонопотоків в умовах функціонування міжнародних транспортних коридорів, впровадження яких дозволяє значно зменшити витрати всіх видів ресурсів.

Список використаних джерел

1. Альошинський, Є.С. Вдосконалення технології роботи прикордонних станцій в умовах зростання об'ємів експортно-імпортних перевезень [Текст] / Є.С. Альошинський, Ю.В. Кіхтева // 36. наук. пр. УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип. 72. – С. 52-56.
2. Кіхтева, Ю.В. Удосконалення функціонування інформаційної підсистеми прикордонних передавальних станцій [Текст]: дис... канд. техн. наук / Ю.В. Кіхтева. – 05.22.01. – Харків, 2010.
3. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
4. Альошинський, Є.С. Удосконалення взаємодії інформаційних підсистем суміжних прикордонних передавальних станцій [Текст] / Є.С. Альошинський, Ю.В. Кіхтева // 36. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 127. – С. 28-33.
5. Все о туризме – Туристическая библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://tourlib.net/books_ukr/vt4-3-5.htm
6. Кіхтева, Ю.В. Покращення роботи прикордонних передавальних станцій за рахунок впровадження ресурсозбережних технологій [Текст] / Ю.В. Кіхтева // Современные направления теоретических и прикладных исследований - '2009. – Одеса, 2009. – Т. 1. – С. 74-78.
7. Обухова, А.Л. Удосконалення технології функціонування передавальних залізничних станцій в умовах змішаних та інтермодальних перевезень [Текст]: дис. канд. техн. наук / А.Л. Обухова. – 05.22.01. – Харків, 2010.
8. Альошинський, Є.С. Принципи логістичного дослідження прикордонних передавальних станцій / Є.С. Альошинський, Ю.В. Кіхтева // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2007. – №1/2 (25). – С. 96-99.
9. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс]: схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1555-р. – Режим доступу: <http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html/> 10.12.2009.
10. Офіційний веб-сайт «Міністерство інфраструктури України». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mtu.gov.ua>.

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

Макаренко Лілія Ігорівна, студентка кафедри управління експлуатаційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. E-mail: lilia16makarenko@gmail.com.

Makarenko Lilia, student dept. of operational work of Ukrainian State Academy of Railway Transport. E-mail: lilia16makarenko@gmail.com.

УДК 656.073.25(477)

**УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМІНАЛУ
НА СТАНЦІЇ ХАРКІВ–ЛІСКИ ТА РОЗРАХУНОК ЙОГО ПЕРЕРОБНОЇ СПРОМОЖНОСТІ**

Студ. Г.Ю. Погребна, канд. техн. наук В.В. Петрушов

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА НА СТАНЦИИ
ХАРЬКОВ-ЛИСКИ И РАСЧЕТ ЕГО ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ**

Студ. Г.Ю. Погребная, канд. техн. наук В.В. Петрушов

**IMPROVEMENT OF THE CONTAINER TERMINAL STATION IN KHARKOV-LISKY
CALCULATION AND ITS ABILITY PROCESSING**

Stud. G. Pogrebna, p.h.d. V.V. Petrushov

У статті розглянуто та проаналізовано питання технології роботи контейнерного терміналу, здійснено розрахунок переробної спроможності за засобами механізації для місцевих контейнерів та розрахунок переробної спроможності за засобами механізації для транзитних контейнерів емпіричним методом. Здійснені за старими методиками розрахунки засвідчили, що для переробки існуючого потоку параметри контейнерної площадки (розміри, технічне оснащення) достатні, із значним запасом. Поставлено задачі для вдосконалення технології роботи контейнерного терміналу.

Ключові слова: контейнерний термінал, переробна спроможність, контейнерні перевезення, вантажні перевезення, контейнерний пункт, контейнеропотік.

В статье рассмотрены и проанализированы вопросы технологии работы контейнерного терминала, осуществлен расчет перерабатывающей способности по средствам механизации для местных контейнеров и расчет перерабатывающей способности по средствам механизации для транзитных контейнеров эмпирическим методом. Осуществленные по старым методикам расчеты показали, что для переработки существующего потока параметры контейнерной площадки (размеры, техническое оснащение) достаточные, со значительным запасом. Поставлены задачи для усовершенствования технологии работы контейнерного терминала.

Ключевые слова: контейнерный терминал, перерабатывающая способность, контейнерные перевозки, грузовые перевозки, контейнерный пункт, контейнеропоток.

The article describes and analyzes technology issues Container Terminal, payment processing ability was done by means of mechanization for local container and payment processing ability by means of mechanization for transit containers empirical method. Set targets for improvements in technology Container Terminal. Implemented by the old methods of calculations showed that existing stream processing platform container parameters (size, technical equipment) are sufficient, with a significant margin. That existing technical equipment should be sufficient in the short term. And to optimize container item should be one tap removed, which will enable to save operating costs container yards. But due to the existence of customs control, Terminal operation, technical and technological obsolescence cargo handling mechanisms in the most intense months of processing capacity is not provided in full. If all parts of the production will run smoothly, namely container item handling equipment, the current workflow Station Kharkov - Liska will provide four basic principles: continuity, rhythm, parallelism and potochnist all operations of the maximum combination with high quality unconditional use.

Keywords: container terminal, processing capacity, container transportation, freight transportation, container terminals, container traffic.

Вступ. На сьогоднішній день залізниці в основному задовольняють потреби суспільного виробництва та населення у перевезеннях.

Проте стан виробничо-технічної бази залізниць і технологічний рівень перевезень за багатьма параметрами не відповідає зростаючим

потребам суспільства та європейським стандартам якості надання транспортних послуг, що найближчим часом може стати перешкодою для подальшого соціально-економічного розвитку держави. Актуальність розроблення Державної програми реформування залізничного транспорту зумовлена необхідністю проведення кардинальних заходів для удосконалення системи управління залізничним транспортом та забезпечення державної підтримки його реформування.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. У наш час виконується ряд досліджень у напрямку підвищення ефективності вантажних перевезень взагалі та контейнерних перевезень зокрема. Так, у МПТ триває розробка концепції розвитку контрейлерних перевезень на російських залізницях. У межах цього здійснено вибір варіантів технологічних схем організації таких перевезень із порівнянням техніко-економічних оцінок варіантів, розроблено техніко-економічну модель вибору раціональних параметрів системи контрейлерних перевезень та методику розрахунку за варіантами із обґрунтуванням раціональної діяльності перевезень.

Визначення мети та задачі дослідження. Здійснити розрахунок переробної спроможності контейнерного пункту за засобами механізації для місцевих контейнерів та розрахувати переробну спроможність контейнерного пункту за засобами механізації для транзитних контейнерів емпіричним методом та поставити задачі для вдосконалення технології роботи контейнерного терміналу.

Основна частина дослідження. На основі аналізу станції Харків – Ліски розраховано переробну спроможність контейнерного пункту за засобами механізації для місцевих контейнерів.

$$N_{пл}^M = \frac{60M(T_a - T_{mex}^a)}{t \frac{\mu}{M} [2\gamma_M + 4(1 - \gamma_M)]};$$

де M – число кранів, що використовуються на контейнерній площадці, 2 шт.;

T_a – середня тривалість технологічних перерв у роботі одного крана в період завою – вивозу, 5 год;

T_{mex}^a – середня тривалість циклу роботи крана при навантаженні місцевих контейнерів, 0,2 год;

γ_M – частка місцевих контейнерів, що перевантажуються за прямим варіантом (вагон – автомобіль, автомобіль – вагон), 0,4.

Також розраховано переробну спроможність контейнерного пункту за засобами механізації для транзитних контейнерів

$$N_M^{Tp} = \frac{60M(T_{кр}^p - T_{mex}^a)}{2Z't_{Tp}^{PB} + \gamma_{Tp}t_c + \Omega t_x};$$

де $T_{кр}^p$ – середній час перебування контейнера у наряді, 10 год;

t_{Tp}^{PB}, t_c, t_x – тривалість циклів роботи вантажно-розвантажувальних машин при переробці транзитних контейнерів, розвантажених під накопичення, тих, що перевантажуються з вагона у вагон, і тих, що залишаються як ядро (відповідно 6; 4,5; 0 хв);

Z' – частка транзитних контейнерів, які вивантажуються під накопичення, 0,5;

γ_{Tp} – тих, що перевантажуються з вагона у вагон, 0,15;

Ω – тих, що залишаються як ядро, 0,15.

Згідно з вихідними даними для станції Харків – Ліски за 2007 рік отримуємо, що кількість навантажених і вивантажених контейнерів на контейнерному пункті є досить нерівномірною (рис. 1, 2).

Врахування вищезазначених чинників буде вимагати окремого проектування і проведення розрахунків вже для нових вантажно-розвантажувальних механізмів, переробки великовагових контейнерів тощо.

Подальші розрахунки повинні враховувати також структурні зміни контейнеропотоків, зміни технологічних нормативів роботи нових вантажно-розвантажувальних машин і механізмів, ефекти від застосування електронно-обчислювальної техніки при оформленні перевізних документів, складання облікових та звітних форм з роботи контейнерного терміналу.

Для вдосконалення технології роботи контейнерного терміналу необхідні:

1) розробка комп'ютерної моделі з обробки контейнерів;

2) реконструкція, розширення та посилення покриття автопріздів;

3) розробка нового технологічного процесу роботи контейнерної площадки у співпраці з зоною митного контролю;

4) розрахунок нових методик обчислення основних показників роботи контейнерних пунктів.

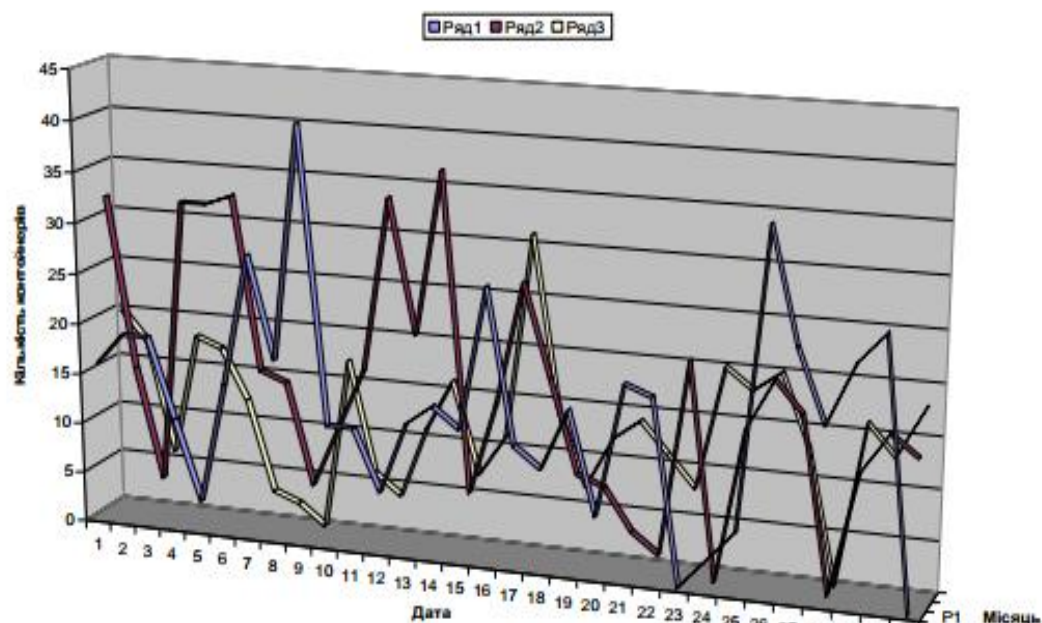


Рис. 1. Вивантаження контейнерів за червень-серпень 2007 року

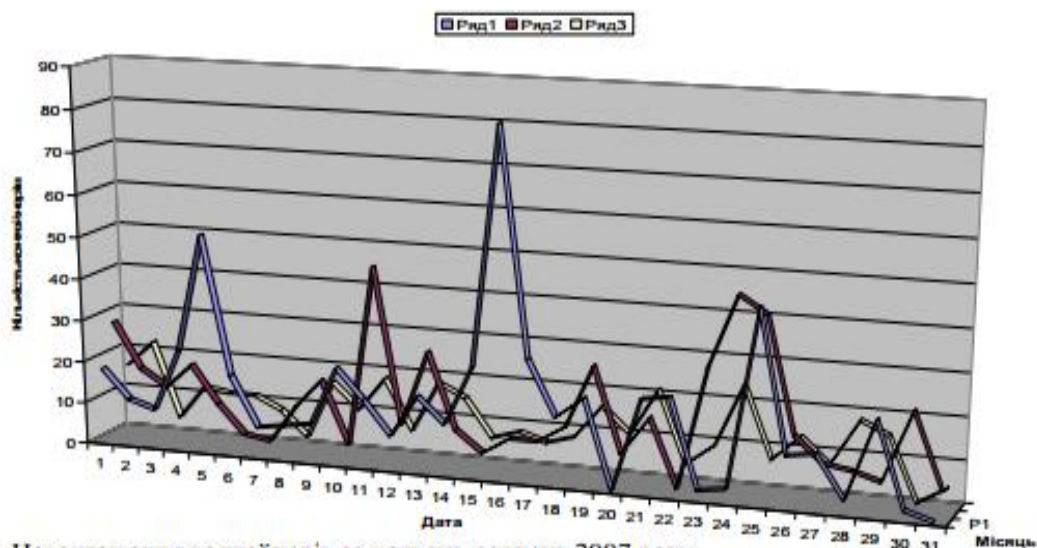


Рис. 2. Навантаження контейнерів за червень-серпень 2007 року

Висновок. В даній роботі здійснено розрахунок переробної спроможності

контейнерного пункту за засобами механізації для місцевих контейнерів та розрахунок

переробної спроможності контейнерного пункту за засобами механізації для транзитних контейнерів емпіричним методом.

На діючій контейнерній площадці станції Харків – Ліски, яку було збудовано у 1970 році і спроектовано для переробки контейнеро-потоків того періоду, встановлено і діє два електричних козлових крани з робочим прогоном 25 м. Робоча довжина контейнерної площадки становить 165 м. Відповідну корисну довжину мають залізнична колія, на яку подаються вагони, та автопроїзд. При збільшенні контейнерного потоку унаслідок нерівномірності контейнери встановлюють у другий ярус, що дозволяє збільшити місткість контейнерної площадки майже вдвічі. Здійснені за старими методиками розрахунки засвідчили, що для переробки існуючого потоку параметри контейнерної площадки (розміри, технічне оснащення) достатні, із значним запасом. Тобто

існуючого технічного оснащення повинно вистачити на найближчу перспективу. Причому для оптимізації роботи контейнерного пункту треба один кран зняти, що надасть змогу зекономити витрати на експлуатацію контейнерної площадки. Але через існування зони митного контролю, роботу автотерміналу, технічне та технологічне старіння вантажно-розвантажувальних механізмів у найбільш напружені місяці переробна спроможність не забезпечується у повному обсязі. Якщо всі ланки виробництва будуть працювати злагоджено, а саме контейнерний пункт, вантажно-розвантажувальні механізми, то сучасний технологічний процес роботи станції Харків – Ліски буде забезпечувати чотири основних принципи: безперервність, ритмічність, паралельність та поточність усіх операцій, їх максимальне суміщення при високій якості безумовного їх використання.

Список використаних джерел

1. Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту України [Текст]: розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2006 р. № 651-р. – К., 2006.
2. Технологічний процес роботи контейнерного пункту станції Харків – Ліски. Типовий технологічний процес роботи контейнерного пункту [Текст]. – К., 2007. – 28 с.
3. Данько, М.І. Сучасні техніко-технологічні особливості організації перевезень вантажів у великотонажних контейнерах [Текст] / М.І. Данько, О.М. Ходаківський // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – № 1. – С. 3-8.
4. Організація роботи вантажної станції. Вибір оптимального варіанта механізованої переробки тарно-штучних вантажів у ангарному складі на ПЕОМ Variant [Текст]: мет. вказівки до курс. та дипл. проектування з дисц. “Комерційна експлуатація на транспорті”. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – 17 с.
5. Котенко, А.М. Управління вантажною і комерційною роботою на залізничному транспорті [Текст]: підручник / А.М. Котенко. – Харків: ПП вид-во "Нове слово", 2003. – Ч. 1. – 388 с.
6. Аксененко, Н.Е. Железнодорожный транспорт в 2000 году: стратегия, задачи, перспективы. [Текст] / Н.Е. Аксененко // Железнодорожный транспорт. – 2000. – № 2. – С. 5–9.
7. Угодин, Е.Г. Перспективы концентрации грузовой работы [Текст] / Е.Г. Угодин, Л.Н. Матюшин, Х.М. Лазарев // Железнодорожный транспорт. – К., 2009. – Вып. 3. – С. 10-12.
8. Сич, Є.М. Економічні аспекти контейнерно-контрейлерного обслуговування клієнтури залізничного транспорту [Текст] / Є.М. Сич. – К.: Логос, 2007. – 392 с.
9. Контейнерная транспортная система [Текст] / под ред. А.Т. Дерибаса. – М.: Транспорт, 1974. – 431 с.
10. Контейнеры [Текст] / А.А. Огурцов [и др.]. – М.: Транспорт, 1969. – 128 с.

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

Погребна Галина Юріївна, студентка Української державної академії залізничного транспорту. E-mail: pogrebna2010@ukr.net.

Петрушов Василь Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 730-10-88.

Pogrebna G., student, Ukrainian State Academy of Railway Transport.

Petrushov V., candidate of Science, Department of management of operational work, Ukrainian State Academy of Railway Transport.

УДК 656.212.5

ОЦІНКА КОНСТРУКЦІЇ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ

Магістранти М.М. Сумщенко, А.В. Бажан

ОЦЕНКА КОНСТРУКЦИИ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

Магистранты Н.Н. Сумщенко, А.В. Бажан

EVALUATION DESIGN HUMPS

Magistrand M. Sumshenko, A. Baján

У статті розглянуто метод комплексної оцінки конструкції сортувальних гірок із використанням адитивної функції, який враховує приведені витрати на спорудження і експлуатацію сортувального пристрою та показники надійності його використання. Цей метод дозволяє визначити ефективний варіант переоснащення гальмових позицій діючих сортувальних гірок в межах здійснення комплексу завдань Укрзалізниці щодо забезпечення надійності сортувального процесу.

Ключові слова: сортувальна гірка, гіркова горловина, вагонні уповільнювачі, надійність, безпека, ресурсозбереження, комплексна оцінка.

В статье рассмотрен метод комплексной оценки конструкции сортировочных горок с использованием аддитивной функции, который учитывает приведенные затраты на сооружение и эксплуатацию сортировочного устройства, а также показатели надежности его использования. Указанный метод позволяет определять эффективный вариант переоснащения тормозных позиций существующих сортировочных горок в рамках осуществления комплекса заданий Укрзализныци по обеспечению надежности сортировочного процесса.

Ключевые слова: сортировочная горка, горочная горловина, вагонные замедлители, надежность, безопасность, ресурсосбережение, комплексная оценка.

A significant impact on the dissolution of cars on the hump has their design. Traditional scientific approaches to the selection of design solutions design hump directed mainly to the increase in their processing capabilities. When choosing a design hump should be considered an integrated approach, taking into account various parameters. The article describes the method of comprehensive evaluation design marshalling yards using an additive function, which allows for reduced costs for construction and operation of a sorting device, as well as indicators of the reliability of its use. Hump is considered as a technical system, which is characterized by a variety of different parameters. The weighting factors are using the expert estimates. This method allows to determine an effective option retrofitting existing brake positions marshalling yards in the implementation of complex tasks Ukrzaliznytsi to ensure the reliability of sorting process.

Key words: hump, hump neck, car retarders, reliability, security, resource conservation, integrated assessment.

Вступ. В теперішній час економіка України переживає кризовий період: темпи виробництва продукції знижуються, обсяги перевезень в транспортній системі (зокрема на залізничному транспорті) зменшились у два та більше рази. У зв'язку з цим перед фахівцями залізничного транспорту виникла задача: як при сьогоdnішніх обсягах роботи зберегти нормальне і стабільне функціонування галузі.

Збільшення обсягів виробництва та перевезень в нашій країні в найближчі роки є досить складним питанням. В таких умовах роботи виникає одне з найважливіших завдань: забезпечити збереження ресурсів, що відносяться до перевізного процесу, зокрема на залізничному транспорті. Але ресурсозбереження повинно бути забезпечено не тільки завдяки випуску найбільш

економічної продукції, а також і найбільш надійної у використанні, оскільки ненадійна продукція може призвести до виникнення транспортних подій, особливо при виконанні процесу формування составів поїздів на сортувальних пристроях.

Постановка проблеми. У зв'язку із зазначеним актуальними є дослідження, що спрямовані на вирішення проблеми збереження ресурсів на сортувальних гірках (СГ) при забезпеченні надійності їх функціонування. Окремий вплив на ефективність і якість функціонування сортувальних пристроїв робить їх конструкція. Традиційні гіркові горловини, що використовуються на залізницях України, не є досконалими з позиції енерго- та ресурсозбереження [1]. Тому у [5] авторами було запропоновано нові конструкції гіркових горловин, спускна частина яких обладнана малопотужними уповільнювачами на трьох та більше гальмових позиціях.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблемі удосконалення конструкції та розрахункам параметрів гіркових горловин приділена значна увага, що відобразилося у ряді праць відомих вчених: Абуладзе Л.В., Бессоненко С.А., Болотний В.Я., Вульфсон Б.Н., Данько М.І., Дашков М.Г., Івашкевич В.К., Карпов А.М., Луговцов М.Н., Негрей В.Я., Образцов В.М., Павлов В.Є, Савченко І.Є., Страковський І.І., Уздін М.М., Єфіменко Ю.І. та ін.

Існуючі методи оцінки конструкцій гіркових горловин, які запропоновані вченими [2-6], не в повній мірі характеризують проектне рішення або існуючу горловину.

Наукові підходи, що розроблені вищеназваними авторами, в більшості випадків були спрямовані на підвищення переробної спроможності СГ, що обумовлювалось інтенсивним зростанням розмірів сортувальної роботи. Спроби вчених визначити властивості надійності гіркової горловини не набули широкого розповсюдження, оскільки дослідження не були спрямовані до існуючих стандартів [6-8, 15]. Комплексно конструкції гіркових горловин з позиції забезпечення ресурсозбереження та надійності функціонування СГ не розглядалися.

Формулювання мети (постановка завдання). Метою даних досліджень є підвищення ефективності функціонування

сортувальних пристроїв шляхом удосконалення конструкцій гіркових горловин [5]. Для вибору найбільш ефективної їх конструкції необхідно розробити метод комплексної оцінки конструкцій гіркових горловин з урахуванням приведених витрат на спорудження сортувального пристрою та показників надійності його використання.

Розробка методу оцінки конструкції гіркової горловини. Згідно з [8], надійність – це властивість виробу (системи) зберігати у встановлених межах часу значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання, транспортування та інших дій.

В залежності від виду виробу, його призначення та умов експлуатації надійність може оцінюватися тільки частиною складових його властивостей [7-9].

Відчепи скочуються від вершини гірки до розрахункової точки під дією сили тяжіння зі швидкістю, яка ніколи не перевищує максимально допустиму по стрілочних переводах та коліях спускної частини. Технічний стан колій, стрілочних переводів, рухомого складу в основному залежить від своєчасного виконання планово-попереджувальних ремонтів. Швидкість входу відцепів на вагонні уповільнювачі не повинна перевищувати допустиму, що враховується при моделюванні їх скочування. З конструктивної точки зору значно впливає на процес розформування составів робота вагонних уповільнювачів, оскільки їх несправність приводить до помилок у реалізації заданих режимів розпуску, що може викликати схід і пошкодження рухомого складу та вантажу.

Дослідженнями по ст. Основа та Харків-Сортувальний Південної залізниці встановлено, що від загальної кількості відмов гіркових пристроїв на вагонні уповільнювачі припадає частка 85 %, на пристрої гіркової автоматичної централізації – 7 %, на колійне господарство – 8 % (рис. 1).

Якщо розглядати витрати на усунення наслідків у результаті відмов гіркових пристроїв, то частка витрат складає 90, 4 та 6 % відповідно на вагонні уповільнювачі, пристрої гіркової автоматичної централізації та колійного господарства (рис. 2).



Рис. 1. Частка розподілу відмов між гірковими пристроями

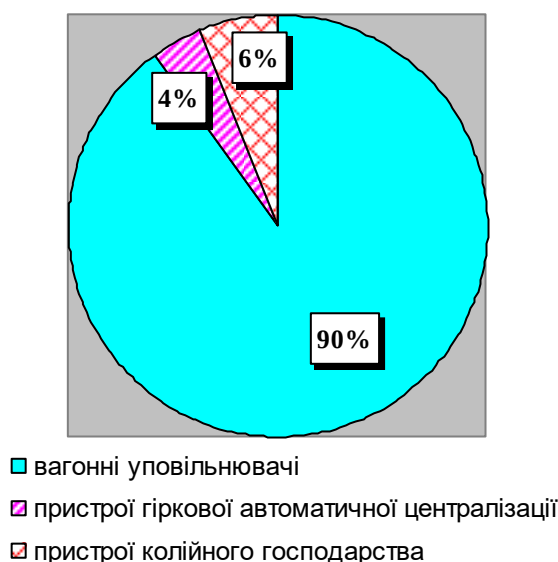


Рис. 2. Частка розподілу витрат на усунення наслідків у результаті відмов гіркових пристроїв

Таким чином, при визначенні показників надійності гіркової горловини запропоновано взяти за основу тип та число вагонних уповільнювачів по маршруту скочування відчепів, структуру їх розташування на спускній частині СГ.

Враховуючи зазначене, запропоновано ввести термін «надійність гіркової горловини». Надійність гіркової горловини – це властивість конструкції колійного розвитку спускної частини СГ зберігати у встановлених межах часу значення всіх параметрів, що залежать від

здатності засобів для гальмування вагонів при певному розташуванні та кількості виконувати необхідні функції, в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів та інших дій.

На підставі [7-9] надійність гіркової горловини запропоновано визначати за такими властивостями: безвідмовність, ремонтпридатність та довговічність. Одним з основних термінів, що характеризують надійність, є відмова. Відмова – подія, після якої об'єкт або його частина перестає виконувати (цілком або

частково) свої функції [7-14]. Безвідмовність пропонується характеризувати імовірністю відмов вагонних уповільнювачів $Q(t)$; ремонтпридатність – імовірністю їх відновлення P_B ; довговічність – середнім терміном їх служби T_{CL} .

Гіркову горловину розглянуто як технічну систему. Зазначена технічна система характеризується множиною параметрів, серед яких виділено деякі, а саме $\{P\}$: гіркова горловина = $\{P_1$ – вартість; P_2 – відмови, P_3 – відновлення, P_4 – термін служби вагонних уповільнювачів}. Кожен із цих параметрів може бути вимірюваним, тобто на кожному із параметрів можна задати додатну адитивну функцію.

В даному випадку: на множині вартісних параметрів такою функцією вибрано величину приведених витрат E_{PP} ; на множині відмов вагонних уповільнювачів – імовірність їх відмов $Q(t)$; на множині їх відновлення – імовірність відновлення P_B ; на множині терміну служби вагонних уповільнювачів – середній термін служби T_{CL} , при цьому слід записати: $E_{PP}=E_{PP}(P_1)$, $Q(t)=Q(P_2)$, $P_B=P_B(P_3)$, $T_{CL}=T_{CL}(P_4)$.

Для оцінки гіркової горловини в цілому запропоновано показник комплексної оцінки G , який є адитивною функцією по кожному із її аргументів

$$\begin{aligned} G &= f(E_{PP}, Q(t), P_B, T_{CL}) = \\ &= f(E_{PP}(P_1), Q(P_2), P_B(P_3), T_{CL}(P_4)) = \\ &= f(P_1, P_2, P_3, P_4) \end{aligned} \quad (1)$$

Отже, функція G є числовою функцією, заданою на прямому добутку множин: параметрів $P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4$, додатною та адитивною по кожному із параметрів.

Позначено: Z_1 – значення функції $E_{PP}(P_1)$, Z_2 – значення функції $Q(P_2)$, Z_3 – значення функції $P_B(P_3)$, Z_4 – значення функції $T_{CL}(P_4)$. Для зручності роботи з введеною вище функцією G нормовано кожен показник. Для кожного з чотирьох показників Z_i ($i=1, 4$) визначено точні верхню (*supremum*) та нижню (*infimum*) границі показників. Далі позначено через Z_i^* – точна верхня границя i -го показника, при цьому записано $Z_i^* = \sup Z_i$, а через Z_i^0 – точна нижня границя i -го показника з відповідним позначенням $Z_i^0 = \inf Z_i$ ($i=1, 4$).

Потім для кожного з показників визначено позитивний напрямок. Для показників Z_1, Z_2 позитивний напрямок визначено від більшого до меншого, а для показників Z_3, Z_4 – від меншого до більшого. Позитивний напрямок визначається з метою: щоб кращій горловині відповідало більше значення G .

На підставі визначеного позитивного напрямку для кожного з показників Z_i визначено монотонно зростаючу функцію.

Тепер комплексна адитивна функція гіркової горловини має вигляд

$$G = \sum_{i=1}^4 a_i \cdot Z_i', \quad (2)$$

де a_i – ваговий коефіцієнт, що враховує значимість (вагу) відповідного показника при визначенні G . Вагові коефіцієнти $a_i > 0$, а їх сума складає 1;

Z_i' – монотонно зростаюча додатна адитивна функція, що набуває значення від 0 до 1.

В даній роботі Z_i' визначено за формулою

$$\begin{aligned} Z_1' &= \frac{\sup E_{PP} - E_{PP}}{\sup E_{PP} - \inf E_{PP}}; Z_2' = \frac{\sup Q(t) - Q(t)}{\sup Q(t) - \inf Q(t)}; \\ Z_3' &= \frac{P_B}{\sup P_B - \inf P_B}; Z_4' = \frac{T_{CL}}{\sup T_{CL} - \inf T_{CL}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Враховуючи зазначене, показник комплексної оцінки конструкції гіркової горловини буде мати вигляд

$$G = a_1 \cdot Z'_1 + a_2 \cdot Z'_2 + a_3 \cdot Z'_3 + a_4 \cdot Z'_4. \quad (4)$$

Вагові коефіцієнти a_i знайдено за допомогою метода експертних оцінок.

Таким чином, після знаходження вагових коефіцієнтів формула для розрахунку G буде у вигляді

$$G = 0,320 \cdot Z'_1 + 0,275 \cdot Z'_2 + 0,195 \cdot Z'_3 + 0,210 \cdot Z'_4. \quad (5)$$

Отже, показник комплексної оцінки G є адитивною функцією по кожному із її параметрів P_i .

Використовуючи розроблений метод оцінки конструкцій гіркових горловин, проведено порівняння запропонованих їх конструкцій з типовою. Результати зазначено в

таблиці, з якої видно, що показник комплексної оцінки G для нових конструкцій гіркових горловин перевищує його значення при порівнянні з типовою конструкцією. Таким чином, є доцільність застосовувати нові конструкції гіркових горловин при певних вихідних даних.

Таблиця

Оцінка гіркових горловин за показником комплексної оцінки

Гіркова горловина	Тип вагонних уповільнювачів				
	РНЗ-2	РНЗ-2М	ЗВУ-07	НК-114 (УВУ-07)	КВ-3 (ВНУ-2)
1	0,8623	0,9277	0,9721	-	-
2	0,9041	0,8891	0,9333	-	-
3	0,8915	0,8705	0,9156	-	-
4 (типова)	-	-	-	0,7915	0,8065

Примітка. У дужках вказаний тип вагонних уповільнювачів на парковій гальмовій позиції.

Висновки. Отже, запропонований метод ліквідує основний недолік існуючих методів – вибір горловини в основному за рівнем переробної спроможності СГ. Крім того, цей метод дозволяє:

1) комплексно визначати ефективну конструкцію горловини з урахуванням приведених витрат та надійності функціонування сортувальних пристроїв;

2) визначити ефективний варіант переоснащення гальмових позицій діючих сортувальних гірок в межах здійснення комплексу завдань Укрзалізниці щодо забезпечення надійності сортувального процесу.

Також встановлено, що за результатами комплексної оцінки гіркових горловин найбільш ефективним варіантом механізації СГ при застосуванні нових конструкцій гіркових горловин є обладнання гальмових позицій уповільнювачами ЗВУ-07.

Для нових конструкцій гіркових горловин значення показника комплексної оцінки становить не менше 0,86, а для типової – не більше 0,81, що свідчить про правильність запропонованого напрямку удосконалення конструктивних параметрів колійного розвитку сортувальних пристроїв.

Список використаних джерел

1. Огар, О.М. Аналіз і особливості конструкції гіркових горловин вітчизняних сортувальних пристроїв [Текст] / О.М. Огар, О.В. Розсоха, С.М. Светличний // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 85. – С. 57-64.

2. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах СССР [Текст]: ВСН 207-89/МПС СССР. – Изд. офиц. – М.: Транспорт, 1992. – 105 с.
3. Луговцов, М.Н. Проектирование сортировочных горок [Текст]: учеб. пособие / М.Н. Луговцов, В.Я. Негрей. – Гомель: УО «БелГУТ», 2005. – 170 с.
4. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств [Текст]: учеб. пособие / Ю.А. Муха, Л.Б. Тишков, В.П. Шейкин [и др.]; под. общ. ред. Ю.А. Мухи – М.: Транспорт, 1994. – 220 с.
5. Огар, О.М. Напрямки удосконалення конструкцій гіркових горловин сортувальних пристроїв з позиції ресурсозбереження [Текст] / О.М. Огар, О.В. Розсоха // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 5/2(29). – С. 54-58.
6. Огар, О.М. Аналіз існуючих методів оцінки конструкцій гіркових горловин [Текст] / О.М. Огар, В.І. Мойсеєнко, О.В. Розсоха // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 102. – С. 24-31.
7. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення [Текст]. – Введ. 1995-01-01. – К.: Держстандарт України, 1995. – 91 с.
8. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги [Текст]. – Введ. 1994-04-01. – К.: Держстандарт України, 1995. – 37 с.
9. Кустов, В.Ф. Основи теорії надійності та функційної безпечності систем залізничної автоматики [Текст]: навч. посібник / В.Ф. Кустов. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 212 с.
10. Грунтов, П.С. Эксплуатационная надежность станций [Текст] / П.С. Грунтов. – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.
11. Федюкин, В.К. Методы оценки и управления качеством промышленной продукции [Текст] / В.К. Федюкин, В.Д. Дурнев, В.Г. Лебедев. – М.: Информационно-издательский дом «Филинь», Рилант, 2000. – 328 с.
12. Капур, К. Надежность в проектировании систем [Текст] / К. Капур, Л. Ламберсон. – М.: Мир, 1980. – 604 с.
13. Половко, А.М. Основы теории надежности. Практикум [Текст] / А.М. Половко, С.В. Гуров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.
14. Базовский, И. Надёжность. Теория и практика [Текст] / И. Базовский. – М.: Мир, 1965. – 350 с.
15. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробовування [Текст]. – Введ. 2003-07-01. – К.: Держстандарт України, 2003. – 32 с.

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

Сумщенко Микола Миколайович, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

Бажан Арина Василівна, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

Sumshenko Mykola, magistrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42.

Bajan Aryna, magistrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42.

УДК 656.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ПОЗИЦІЙ ТЕОРІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

Канд. техн. наук А.В. Прохорченко,
магістр В.Г. Петренко

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ПОЗИЦИИ ТЕОРИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Канд. техн. наук А.В. Прохорченко,
магистр В.Г. Петренко

INVESTIGATION OF RAILWAY INFRASTRUCTURE CAPACITY FROM THE STANDPOINT OF THE THEORY OF TRAFFIC FLOW

Ph.D., Associate Professor A. Prokhorchenko
Master V. Petrenko

У роботі проведено аналіз останніх наукових досягнень у сфері теорії транспортних потоків. Проведено експериментальні дослідження щодо підтвердження справедливості теорії трьох фаз Кернера в умовах руху поїздопотоків на ділянці Колосівка – Одеса-Сортувальна. Здійснено порівняльний аналіз наявної пропускної спроможності на ділянці з показниками нормативного графіка руху поїздів і реальними середніми даними прямування поїздів через ділянку. Підтверджено необхідність удосконалення існуючої методики визначення наявної пропускної спроможності на залізницях України.

Ключові слова: пропускна спроможність, ділянка, поїздопотік, залізнична інфраструктура, теорія трьох фаз Кернера.

В работе проведен анализ последних научных достижений в области теории транспортных потоков. Проведены экспериментальные исследования по подтверждению справедливости теории трех фаз Кернера в условиях движения поездопотоков на участке Колосовка – Одесса-Сортировочная. Осуществлен сравнительный анализ наличной пропускной способности на участке с показателями нормативного графика движения поездов и реальными средними данными следования поездов через участок. Подтверждена необходимость усовершенствования существующей методики определения имеющейся пропускной способности на железных дорогах Украины.

Ключевые слова: пропускная способность, участок, поездопоток, железнодорожная инфраструктура, теория трех фаз Кернера.

The paper analyzed the latest scientific advances in the theory of traffic flow . The analysis of the shortcomings of the current methods of calculating the available capacity on the railways of Ukraine from the standpoint of analyzing the spatial temporal dynamics flow trains railway line. A revised approach to the analysis of the maximum capacity of the railway station on the theory of three phases Kerner . Experimental study on the verification of the theory of justice three phases Kerner in traffic on the site flow trains Kolosivka–Odessa - Sort. The comparative analysis of available bandwidth on an area of regulatory indicators train schedule and actual average data follow through trains station. We prove a significant difference between the theoretical and the practical maximum capacity of the railway station, which confirms the need to develop methods and software to develop objective methods for determining the capacity of the site. The complex previously conducted studies allow targeted approach to developing models of analysis bandwidth usage and station areas as a whole and adjust the direction flow trains using information about their current situation and provide forecasting changes in operational work in real time.

Keywords: Capacity; Section; Flow trains; Railway infrastructure; The theory of three phases Kerner.

Вступ та актуальність теми. Для вирішення завдання підвищення ефективності функціонування залізничної мережі України потребують теоретичного обґрунтування підходи щодо встановлення технічних і технологічних обмежень інфраструктури залізничних напрямків у частині пропускання поїздопотоків. Існуюча методика розрахунку наявної пропускної спроможності дільниць і напрямків залізниць [1] орієнтована, в основному, на можливості інфраструктури і при цьому не повною мірою враховує особливості і характерні властивості поїздопотоків на всій протяжності дільниць. Діюча методика розрахунку пропускної спроможності ґрунтується на розрахунках для обмежуючого перегону (у розрізі), тоді як реально реалізована (практична) пропускна спроможність змінюється та залежить від характеристик потоку поїздів, що прямують по всій дільниці. На умови прямовання поїздів у потоці впливає велика кількість факторів: план і профіль колії, технічне оснащення перегонів і станцій, тягово-експлуатаційні характеристики локомотивів, маса і довжина поїздів різних категорій, допустимі швидкості руху, погоднокліматичні умови, “вікна” для виконання ремонтно-колійних робіт, нерівномірність відправлення вантажних поїздів зі станцій (за готовністю), процеси взаємовпливу між поїздами при збільшенні їх кількості в потоці тощо. Відсутність обліку даних факторів

призводить до невиправданого заниження розрахункового міжпоїзного інтервалу і, як наслідок, до завищення наявної пропускної спроможності [2].

Постановка задачі. Для підтвердження недосконалості методики розрахунку наявної пропускної спроможності на залізницях України в роботі було запропоновано використати метод розрахунку на основі параметричних моделей [3, 4, 5], які більш точно дозволяють врахувати фізику транспортного потоку на макрорівні функціонування інфраструктури.

Вирішення завдання. Для вирішення завдання щодо аналізу закономірностей в організації руху поїздів важливу роль відіграє фундаментальна діаграма транспортного потоку, що заснована на гідродинамічній аналогії [6, 7]. За таким підходом поїздопотік можна розглядати як безперервне середовище, точніше як одномірну стиснуту рідину. При цьому передбачається наявність однозначної залежності середньої швидкості потоку $v(\rho)$ від щільності поїздів ρ . Останнє припущення дозволяє ввести також величину потоку $q(x, t)$ (кількість поїздів, що перетинають даний розтин дільниці в точці x за одиницю часу) як певну функцію $Q(\rho) = v(\rho) \rho$ локальної щільності ρ . Співвідношення $q = Q(\rho)$ відіграє важливу роль у теорії транспортних потоків, її відображення на площині $\{q, \rho\}$ називається фундаментальною діаграмою (рис. 1, а).

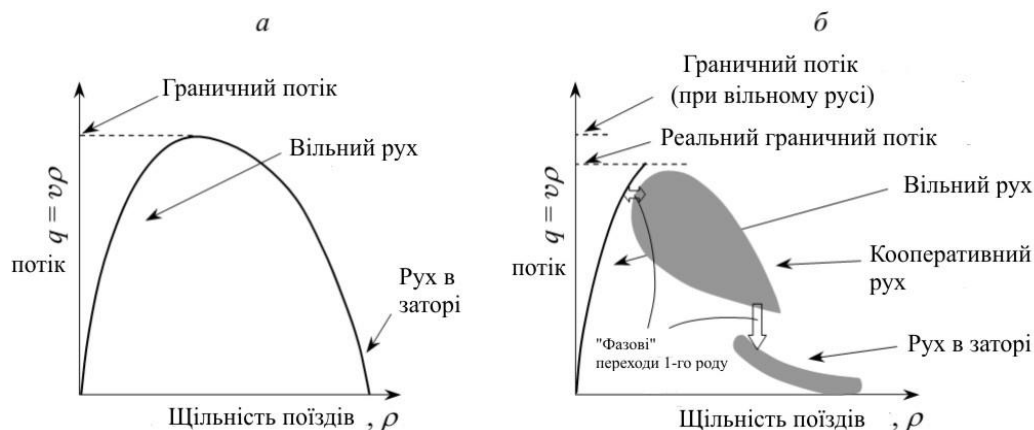


Рис. 1. Фундаментальна діаграма (а) і фазові стани поїздопотоків (б)

Прийняте припущення, що залежність інтенсивності від щільності поїздопотоків є безперервною, надає можливість визначати

практичну пропускну спроможність безпосередньо за щільністю потоку (рис. 1, а). З фундаментальної діаграми випливає, що

одному і тому самому значенню інтенсивності потоку поїздів відповідають різні (як правило, дві) щільності і, як наслідок, різні швидкості. Очевидно, що більш вигідним режимом є режим з більшою швидкістю (див. рис. 1, а): потоки будуть задоволені тією самою кількістю, однак середній час руху знизиться, оскільки рух буде проходити при великих швидкостях (і, як наслідок, з меншими щільностями) [8]. При розробленні графіка руху поїздів важливим є врахування даної залежності, а рух середньостатистичного поїзда повинен відповідати режиму вільного потоку.

Слід зазначити, що, як показали експериментальні дослідження, залежність інтенсивності потоку від щільності, $q = q(\rho)$ не є неперервною. Зокрема, її максимум має складну структуру, він складається з двох непов'язаних одна з одною віток [8]. У 1996 р. Кернер [9, 11], аналізуючи емпіричні дані, запропонував додати в класичне уявлення про рух потоку або в режимі вільного потоку, або в режимі затору третю проміжну стадію. У результаті вийшла така класифікація фаз руху транспортного потоку (рис. 1, б): вільний рух (англ., free flow, F), синхронізований рух (англ., synchronized flow, S) і рух у заторах (англ., wide moving jams, J). Ці стани потоку поїздів відповідають різним фрагментам основної діаграми, які принципово відрізняються один від одного за спостережуваними властивостями. За Кернером, у транспортних потоках реалізуються три принципові фази, і якщо звичайна рідина може просто текти або замерзнути, то у транспортного потоку є третій, «напівзастиглий» - желеподібний стан. Це синхронізований рух поїздів, коли поїзди заважають один одному розігнатися до встановленої швидкості, але потік не

переходить у стан затору. За даним режимом S поїзди прямують один за одним за показаннями системи інтервального регулювання на жовтий або навіть на червоний сигнал прохідних світлофорів. Практичні дослідження показують, що при прямованні поїзда на жовтий вогонь середня швидкість знижується на 46 %, графікова – на 63 % [2, 14].

При вільному русі, коли дільниця не завантажена, поїзди рухаються зі встановленою швидкістю, вільно переїжджаючи на сусідні блок-дільниці. Кореляції в русі окремих поїздів відсутні, і середня швидкість поїздів визначається тільки середньою відстанню між ними. Коли рух стає досить щільним, поїзди вже не можуть вільно рухатись і змушені погоджувати свою швидкість зі швидкістю потоку. Це і є синхронізована фаза руху поїздів. Іншими словами, у цьому потоці формуються кластери поїздів, які переміщуються по залізничній дільниці як єдине ціле. Як результат, на основній діаграмі (рис. 1, б) виникає двовимірний простір можливих станів поїздопотоку – область сильно розсіяних станів (англ., widely scattered states). Це може свідчити про принципову зміну властивостей руху поїздів у перевантаженому транспортному потоці (англ., congested traffic flow) порівняно з вільним потоком.

Грунтуючись на емпіричних даних вимірювань, Кернер зробив висновок, що існує нескінченна кількість значень пропускної спроможності у вільному потоці [11]. Ця нескінченна кількість значень пропускної спроможності знаходиться в діапазоні між мінімальним q_{th} і максимальним q_{max} значеннями пропускної спроможності (рис. 2).

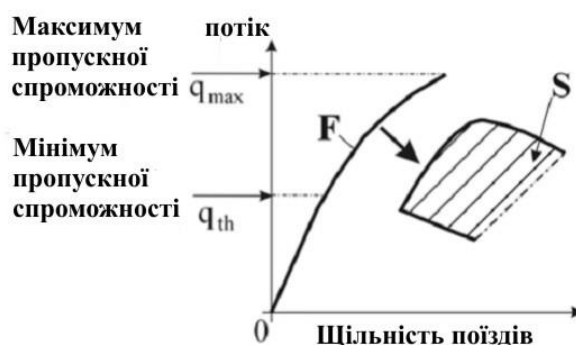


Рис. 2. Максимум і мінімум пропускної спроможності залізничної дільниці в теорії трьох фаз Кернера

Якщо величина потоку близька до максимального значення пропускної спроможності $q_{\max}$, то вже досить мале збурення у вільному потоці поблизу вузького місця призведе до спонтанного $F \rightarrow S$ фазового переходу. З іншого боку, якщо величина потоку близька до мінімального значення пропускної спроможності q_{th} , то тільки збурення дуже великої амплітуди здатне призвести до спонтанного $F \rightarrow S$ фазового переходу.

Нескінченна кількість значень пропускної спроможності дільниці поблизу вузького місця може бути пояснено тим, що вільний потік при значеннях величини потоку q в діапазоні

$$q_{th} \leq q \leq q_{\max} \quad (1)$$

є метастабільним, тобто при малих збуреннях вільний потік зберігається, тоді як при великих збуреннях вільний потік є нестійким.

Нескінченна кількість значень пропускної спроможності поблизу вузького

місця в теорії трьох фаз Кернера фундаментально суперечить класичним теоріям транспортного потоку і методам управління та автоматичного регулювання транспортних потоків, які припускають існування у будь-який момент часу деякої (фіксованою або випадкової) пропускної спроможності.

Перевантажений транспортний потік характеризується так званим широким кластером, що рухається (локальний затор, що рухається). Характеристичні параметри широких рухомих кластерів не залежать від величини потоку і особливостей вузького місця (де і коли кластер виник). Однак характеристичні параметри залежать від погоди, експлуатаційних умов, довжини і маси поїздів і т. п. Швидкість заднього фронту широкого кластера, що рухається v_g в протилежному потоку напрямку, є характеристичним параметром так само, як і величина вихідного потоку q_{out} з кластера у разі, коли вільний потік формується після кластера (рис. 3).

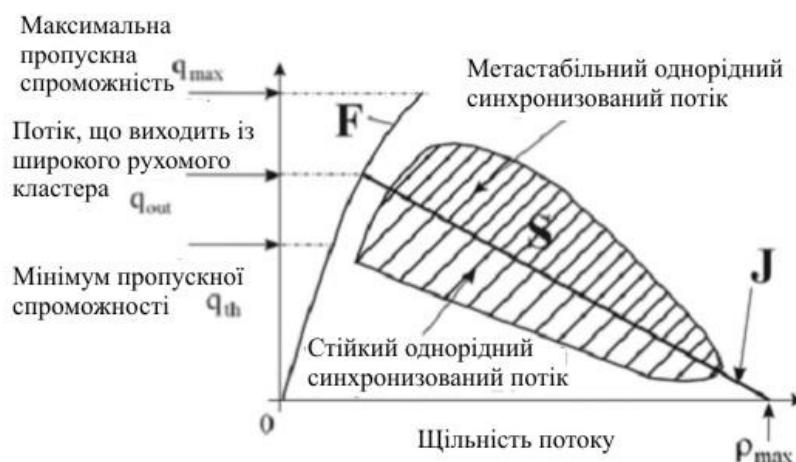


Рис. 3. Три фази транспортного потоку в площині потік-щільність у теорії трьох фаз Кернера

Це означає, що різні широкі рухомі кластери мають однакові параметри при однакових умовах. У результаті дані параметри можуть бути передбачені. Рух заднього фронту широкого рухомого кластера може бути показано на площині потік-щільність за допомогою прямої, названою лінією J Кернера (рис. 3). Нахил лінії J Кернера дорівнює швидкості заднього фронту v_g , у той час як координата перетину лінії J Кернера з віссю

абсцис (при нульовому потоці) відповідає щільності потоку $\rho_{\max}$ в широкому рухомому кластері [11].

Кернер підкреслює, що мінімум пропускної спроможності q_{th} і величина вихідного потоку з широкого рухомого кластера q_{out} описуються двома якісно різними властивостями вільного транспортного потоку. Мінімум пропускної спроможності

Q_{th} характеризує $F \rightarrow S$ фазовий перехід поблизу вузького місця, тобто виникнення щільного потоку (англ., traffic breakdown). У свою чергу величина вихідного потоку з широкого рухомого кластера Q_{out} характеризує J . Залежно від зовнішніх умов, а також від характеристик вузького місця, поблизу якого можливий $F \rightarrow S$ фазовий перехід, мінімум пропускної спроможності Q_{th} може бути як менше (рис. 3), так і більше, ніж величина вихідного потоку Q_{out} .

Для підтвердження теорії трьох фаз Кернера в умовах руху поїздопотоків на дільниці Колосівка – Одеса-Сортувальна запропоновано провести експериментальні дослідження залежності інтенсивності поїздопотоків від його щільності, $q = q(\rho)$. Крім того, у роботі запропоновано порівняти визначену наявну пропускну спроможність на дільниці $N_{наявн}$ з реальними даними максимальної кількості пропущених поїздів через дільницю та нормативами обсягів перевезень за графіком руху поїздів $N_{грп}$ (рис. 4).

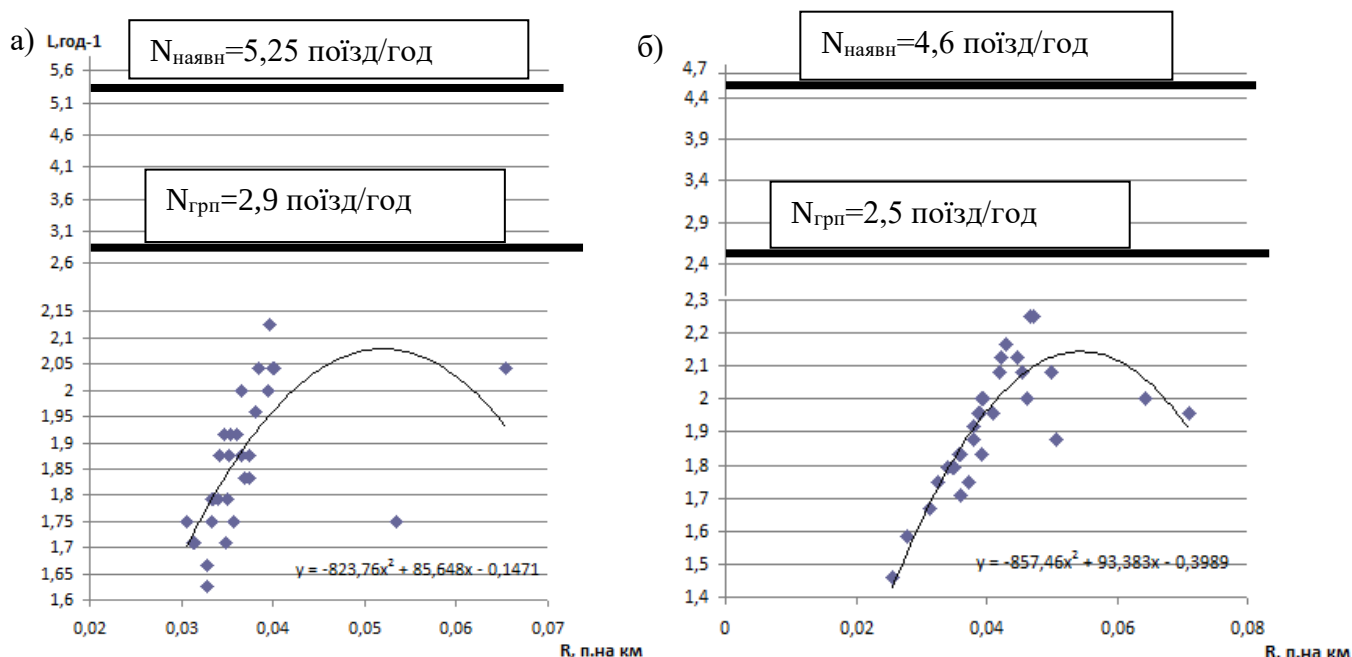


Рис. 4. Залежність інтенсивності поїздопотоків від його щільності на дільниці Колосівка – Одеса-Сортувальна та порівняння значень наявної пропускної спроможності на дільниці $N_{наявн}$ і нормативів обсягів перевезень за графіком руху поїздів $N_{грп}$: а – у парному напрямку; б – у непарному напрямку

Згідно з рис. 4 отримані залежності підтверджують справедливості теореми трьох фаз Кернера та можуть з усередненими показниками бути апроксимовані поліномом другого порядку. Відповідно до реальних даних (рис. 4, а) для поїздо-дільниці Одеса-Сортувальна – Колосівка в парному напрямку максимальне значення інтенсивності складає $2,13 \text{ год}^{-1}$, що відповідає добовим розмірам

руху 51 поїзда. Тоді як середнє значення максимальної інтенсивності, що знайдена при апроксимації реальних даних поліномом другого порядку, складає $2,05 \text{ год}^{-1}$, що відповідає добовим розмірам руху 49 поїздів. За тим самим варіантом було розраховано наявну пропускну спроможність дільниці Одеса-Сортувальна – Колосівка:

$$n_{\text{ван}} = n_{\text{н}} - \varepsilon_{\text{пс}} * n_{\text{пс}} - \varepsilon_{\text{пр}} * n_{\text{пр}} - (\varepsilon_{\text{зб}} - 1) * n_{\text{зб}} = 154 - 1,85 * 7 - 2,25 * 6 - (3 - 1) * 1 = 126 \text{ поїздів}, \quad (2)$$

де n_H – наявна пропускна спроможність дільниці при паралельному графіку;

$\epsilon_{пс}, \epsilon_{пр}, \epsilon_{зб}$ – коефіцієнти зняття відповідно для пасажирських, приміських і збірних поїздів;

$n_H, n_{пс}, n_{пр}$ – кількість поїздів (пар поїздів) різних категорій.

Різниця значень наявної пропускної спроможності та нормативної кількості поїздів за графіком руху поїздів (ГРП) складає $N_{нев}=126-70=56$ поїздів, що відповідає рівню використання пропускної спроможності 56,6 % наявної пропускної спроможності (при порівнянні наявної пропускної спроможності з реальними середніми даними $N_{нев}=126-49=77$ поїздів, що відповідає рівню використання пропускної спроможності 38,8 % наявної). Такі значення дуже суперечливі, оскільки при реальних параметрах руху поїздопотоку при $N_{реал}=49$ поїздів щільність потоку на дільниці відповідає області сильно розсіяних станів, тобто при збільшенні щільності інтенсивність знижується. За таких умов при реальному пропусканні 126 поїздів, що відповідає щільності дільниці $R_{126}=0,106$ поїзд/км, модельне значення інтенсивності, яка

визначена за знайденим поліномом другого порядку, складає $L_{126}=0,1801 \text{ год}^{-1}$, тобто рух поїздів на дільниці не можливий (затор). У випадку пропускання кількості поїздів відповідно до нормативного ГРП $N_{грп}=70$ поїздів, що відповідає $R_{70}=0,058789$ поїзд/км, за розрахунками $L_{70}=2,041 \text{ год}^{-1}$, що відповідає області нормально реалізованих максимальних значень обсягів перевезень на розрахунковій дільниці.

Так само проведено порівняльний аналіз на дільниці Колосівка – Одеса-Сортувальна в непарному напрямку руху поїздів. Відповідно до реальних даних (рис. 4, б) для розрахункової поїздо-дільниці в непарному напрямку максимальне значення інтенсивності складає $2,25 \text{ год}^{-1}$, що відповідає добовим розмірам руху 54 поїздів, тоді як середнє значення максимальної інтенсивності, що знайдена при апроксимації реальних даних поліномом другого порядку, складає $1,91 \text{ год}^{-1}$, що відповідає добовим розмірам руху 50 поїздів. За тим самим варіантом було розраховано наявну пропускну спроможність дільниці Колосівка – Одеса-Сортувальна:

$$\begin{aligned} n_{ван} &= n_H - \epsilon_{пс} * n_{пс} - \epsilon_{пр} * n_{пр} - (\epsilon_{зб} - 1) * n_{зб} = \\ &= 1154 - 1,98 * 8 - 4,75 * 6 - (1,3 - 1) * 1 = 110, \end{aligned} \quad (3)$$

де n_H – наявна пропускна спроможність дільниці при паралельному графіку;

$\epsilon_{пс}, \epsilon_{пр}, \epsilon_{зб}$ – коефіцієнти зняття відповідно для пасажирських, приміських і збірних поїздів;

$n_H, n_{пс}, n_{пр}$ – кількість поїздів (пар поїздів) різних категорій.

Різниця значень наявної пропускної спроможності та нормативного значення поїздопотоку за графіком руху поїздів (ГРП) складає $N_{нев}=110-60=50$ поїздів, що відповідає рівню використання пропускної спроможності 45,45 % наявної пропускної спроможності (при порівнянні наявної пропускної спроможності з реальними середніми даними $N_{нев}=110-50=60$ поїздів, що відповідає рівню використання пропускної спроможності 54,55 % наявної).

Такі значення дуже суперечливі, оскільки при реальних параметрах руху поїздопотоку при $N_{реал}=50$ поїздів щільність потоку на дільниці відповідає області сильно розсіяних станів, тобто при збільшенні щільності інтенсивність знижується. За таких умов при реальному пропусканні 110 поїздів, що відповідає щільності дільниці $R_{110}=0,0965$ поїзд/км, модельне значення інтенсивності, яка визначена за знайденим поліномом другого порядку, складає $L_{110}=0,461 \text{ год}^{-1}$, тобто рух поїздів на дільниці не можливий (затор). У випадку пропускання кількості поїздів відповідно до нормативного ГРП $N_{грп}=60$ поїздів, що відповідає $R_{60}=0,0526$ поїзд/км, за розрахунками $L_{60}=2,0914 \text{ год}^{-1}$, що відповідає області нормально реалізуємих максимальних значень обсягів перевезень на розрахунковій дільниці.

Висновки. Аналіз останніх наукових досягнень у сфері теорії транспортних потоків підтверджує необхідність перегляду існуючих методик визначення пропускної спроможності залізничних дільниць і напрямків у цілому. Проведені експериментальні дослідження в умовах дільниць Колосівка – Одеса-Сортувальна довели справедливості теореми трьох фаз Кернера для поїздопотоків на дільниці. Проведення розрахунків за діючою методикою визначення наявної пропускної спроможності призводить до суттєвого завищення значень пропускної спроможності, що в умовах інтенсивної експлуатації дільниць і напрямків веде до їх перевантаження, тобто зниження дільничної швидкості і, як наслідок, до невиконання строків доставки

вантажів, і в деяких випадках до неможливості реалізації заданих обсягів перевезень. Недоліками існуючих підходів до визначення пропускної спроможності є неможливість обліку “вікон” для ремонту і модернізації інфраструктури (крім технологічних), тимчасових обмежень швидкості, довжини і маси поїздів, і найголовніше – це невраховані процеси взаємовпливу між поїздами при збільшенні їх у потоці.

Відмінність планових показників від спостережуваних у реальній експлуатації підтверджує необхідність розроблення технології і програмних засобів для вироблення об'єктивних методів визначення пропускних спроможностей дільниць залізниць, визначених параметрами, пов'язаними з рухом поїздів.

Список використаних джерел

1. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України, затверджена наказом Укрзалізниці від 14 березня 2001 р. № 143/Ц (ЦД-0036) [Текст]. – К.: Транспорт України, 2001. – 159 с.
2. Левин, Д.Ю. Оптимизация потоков поездов [Текст] / Д.Ю. Левин. – М.: Транспорт, 1988. – 175 с.
3. Lai, Yung-Cheng Enhanced Parametric Railway Capacity Evaluation Tool / Yung-Cheng (Rex) Lai, Christopher P.L. Barkan// Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2009. – №2117. – P. 33-40.
4. Krueger, H. Parametric Modeling in Rail Capacity Planning, Proceedings of Winter Simulation Conference, Phoenix, AZ, 1999.
5. Бланк, М.Л. Точный анализ динамических систем, возникающих в моделировании транспортных потоков [Текст] / М.Л. Бланк // Успехи математических наук. – 2000. – Т. 55. – № 3(333). – С. 167-168.
6. Daganzo C.F. The cell transmission model: A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory // Transportation Research — 1994. –V. 28, N. 4. – P. 269-287.
7. Куржанский, А.Б. Роль макро моделирования в активном управлении транспортной сетью [Текст] / А.Б. Куржанский, А.А. Куржанский, П. Варайя // Труды МФТИ. – 2010. – Т. 2. – № 4. – С.73-81.
8. Кленов, А.С. Теория Кернера трех фаз в транспортном потоке - новый теоретический базис для интеллектуальных транспортных технологий [Текст]// А.С. Кленов // Труды МФТИ. — 2010. – Т. 2. – № 4. – С. 75-89.
9. Kerner, B.S. Experimental features of self-organization in traffic flow // Physical Review Letters. — 1998. — V. 81, N. 17.
10. Orosz G., Wilson R.E., Szalai R., Stepan G. Exciting traffic jams: Nonlinear phenomena behind traffic jam formation on highways // Physical Review, E. — 2009. — V. 80, N. 4.
11. Kerner, B.S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control. – Berlin: Springer, 2009. – 278 p.
12. Левин, Д.Ю. Диспетчерские центры и технология управления перевозочным процессом [Текст]: учеб. пособие / Д.Ю. Левин. – М.: Маршрут, 2005. – 760 с.
13. Макарошкин, А.М. Использование и развитие пропускной способности железных дорог [Текст] / А.М. Макарошкин, Ю.В. Дьяков. – М.: Транспорт, 1981. – 287 с.

14. Shvetsov V., Helbing D. Macroscopic dynamics of multilane traffic // Phys. Rev. E. 1999. Vol. 59. P. 6328-6339.

Рецензент д-р техн. наук, професор Т.В. Бутько

Прохорченко Андрій Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-88. E-mail: railwayhub@yandex.ua.
Петренко Вадим Григорійович, магістр, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-88. E-mail: vado.net@bk.ru.

Andrii Prokhorchenko Ph.D., Associate Professor, Department of Management of operational work, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-88. E-mail: railwayhub@yandex.ua.
Vadim Petrenko master, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-88. E-mail: vado.net@bk.ru.

УДК 656.022:656.081

УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ПРОСУВАННЯ ВАГОНІВ З НЕБЕЗПЕЧНИМИ ВАНТАЖАМИ НА ЗАЛІЗНИЧНІЙ МЕРЕЖІ

**Д-р техн. наук Т.В. Бутько,
магістр Т.М. Савчук**

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНОВ С ОПАСНЫМИ ГРУЗАМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

**Д-р техн. наук Т.В. Бутько,
магістр Т.М. Савчук**

IMPROVE THE MANAGEMENT OF THE MOVEMENT OF CARS DANGEROUS GOODS FOR RAILWAYS

Dr. tehn. science T.V. Butko, master T.M. Savchuk

У даній статті запропоноване вирішення науково-прикладного завдання, щодо обґрунтування організації і управління процесом перевезення небезпечних вантажів на мережі залізниць шляхом інтелектуальної підтримки планування на тактичному рівні, що забезпечує зменшення можливих ризиків. Формалізовано процес планування маршрутів прямування вагонів з небезпечними вантажами на тактичному рівні у вигляді двоетапної математичної моделі вибору найбільш безаварійного маршруту прямування вагонів з небезпечними вантажами.

Ключові слова: небезпечний вантаж, ризик, аналіз дослідження, використання процедури Йена-Флойда

В данной статье предложено решение научно-прикладной задачи по обоснованию организации и управления процессом перевозки опасных грузов на сети железных дорог путем интеллектуальной поддержки планирования на тактическом уровне, обеспечивающей уменьшение возможных рисков. Формализован процесс планирования маршрутов следования вагонов с опасными грузами на тактическом уровне в виде двухэтапной математической модели выбора наиболее безаварийного маршрута следования вагонов с опасными грузами.

Ключевые слова: опасный груз, риск, анализ исследования, использование процедуры Йена-Флойда.

This paper proposes a solution of scientific and applied tasks to justify the organization and management of transport of dangerous goods on railway network by intellectual support planning at the

tactical level, which would reduce the risks. Formalized planning process route cars with dangerous goods at the tactical level in two landmark mathematical model of choosing the least accident-free route cars with dangerous goods.

Key words: dangerous freight, risk, analysis of the study, using Yen-Flolid's procedure.

Актуальність теми. В умовах розвитку транспортного ринку в сегменті організації перевезень небезпечних вантажів перед залізничним транспортом постає задача надання якісних послуг з перевезення за умови високого рівня безпеки перевізного процесу і забезпечення мінімальних витрат на здійснення перевезень.

Вступ. Упродовж 2011-2013 рр. відбувається зростання обсягів перевезень небезпечних вантажів, за різними оцінками, з середнім значенням 250-350 тис. тонн на рік на фоні 80 % зносу основних фондів залізничного транспорту і дуже повільних темпів їх поновлення, поряд з цим спостерігається тенденція зростання транспортних подій за участю небезпечних вантажів різних класів безпеки. Аналіз причин аварій і катастроф показав, що значна частка їх припадає на організаційні чинники, зокрема на неправильні дії диспетчерського персоналу та працівників станції – порушення вимог безпеки під час експлуатації рухомого складу та об'єктів інфраструктури залізничного транспорту, невиконання вимог інструкцій з безпеки руху при здійсненні поїзної та маневрової роботи. Дана ситуація вимагає вирішення задачі підвищення рівня безпеки при організації перевезень небезпечних вантажів на основі розробки раціональної технології управління їх перевезень на рівнях тактичного і оперативного планування.

Одним із найбільш складних етапів в організації перевезень небезпечних вантажів на залізничному транспорті є процес планування маршруту слідування вагонів, який визначає з урахуванням діючого плану формування вантажних поїздів напрямок слідування та категорію поїзда, станції зупинки та розклад руху. Від рівня планування залежить безаварійність процесу перевезення небезпечних вантажів та ефективність реалізації якості заявлених послуг залізничним транспортом (точність доставки, швидкість за умови збереження вантажу).

Механізмом реалізації технології управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами на залізничній мережі є впровадження сучасних інформаційно-

керуючих систем, що пов'язано з необхідністю реалізації в об'єднаному комплексі автоматизованих робочих місць (АРМ) диспетчерського персоналу системи підтримки прийняття рішень на основі розробки нових комплексів задач, інтегрованих в єдину автоматизовану систему керування вантажними перевезеннями (АСК ВП УЗ-Є).

Аналіз наукових досліджень з організації процесу перевезень небезпечних вантажів на залізничному транспорті. У розвиток досліджень щодо розробки систем планування та оперативного управління на залізничному транспорті, технології організації перевезень небезпечних вантажів на залізничному транспорті, визначення оптимальних схем направлення вагонопотоків, застосування інформаційних технологій в управлінні експлуатаційною роботою, зробили великий внесок такі вчені та практики: Н.С. Green, A.J. Bourne, R.E. Barlow, H. Kumamoto, F.N. Proschan, E.J. Henly, E. Apl, E. Erkut, C. ReVelle, R. Batta, В.М. Акулінічев, В.Н. Андросюк, А.Г. Базазьян, А.Л. Кармолін, А.В. Костров, П.С. Костров, П.С. Грунгов, В.М. Самсонкін, А.М. Островський, В.І. Медведєв, Л.Е. Шейнкман, С.І. Музикіна та ін.

Аналіз вітчизняних досліджень у галузі забезпечення безпеки залізничних перевезень довів, що в основі створення будь-якої нової технології перевезення небезпечних вантажів прийнято використовувати критерій підвищення безпеки руху. Кожна реалізація заходу для підвищення безпеки руху поїздів не враховує розміри витрат на реалізацію даного рівня безпеки та не зіставляється з економічною доцільністю їх впровадження. Поряд з цим у світовій науці і практиці техногенної безпеки введено і широко використовується поняття ризику, що дозволило перевести небезпеку в розряд категорій, що вимірюється. Застосування поняття ризику дозволило створити новий підхід до формування системи безпеки руху, яка повинна ґрунтуватись з позицій як безпеки, так і економіки.

Реалізація перевізного процесу, що пов'язаний з небезпечними вантажами, супроводжується ризиком несприятливих подій.

Врахування ризиків при розв'язанні задачі обґрунтування процесу управління просуванням вагонів з небезпечними вантажами є найбільш прийнятним підходом в роботах багатьох вітчизняних та закордонних вчених.

Метою даної роботи є удосконалення організації і управління процесом перевезення небезпечних вантажів на мережі залізниць шляхом інтелектуальної підтримки планування на тактичному рівні, що забезпечує зменшення можливих ризиків.

Викладення основного матеріалу. В умовах Львівської залізниці Рівненської дирекції було проведено статистичне дослідження щодо розподілу кількості вагонів з небезпечними вантажами. В результаті аналізу було доведено, що основними видами небезпечних вантажів є міндобрива, хімікати, сода та інші. Для цієї номенклатури вантажів було отримано динаміку розподілу їх обсягу за місяцями року та добами окремих місяців.

Формалізація процесу пошуку маршрутів слідування вагонів з небезпечними вантажами на основі критеріїв мінімізації експлуатаційних витрат. За першим етапом розв'язання задачі на концептуальному рівні процес просування вагонів з небезпечними вантажами можна подати у вигляді графової структури $G = (V, E)$, в якій вершини $v_i, v_i \in V$ слід розглядати як технічні станції залізничної мережі ($i = 1, N$ - номер станції), а кожна дуга $e_{ij}, e_{ij} \in E$ описує категорію і напрямок слідування вантажного поїзда ($j = 1, N$), в состав якого можливо включити вагони з небезпечними вантажами (дільничний, наскрізний тощо). По суті дуги графу визначають діючий план формування

вантажних поїздів на полігоні залізничної мережі. Окрім етапу - слідування в складі поїзда, вагони з небезпечними вантажами проходять найбільш небезпечні операції з розформування-формування на технічних станціях, що слід враховувати в запропонованій графовій структурі. Для врахування даної умови в роботі запропоновано розбити вершини графу на декілька псевдовершин, які з'єднані дугами, що відповідають технологічним ланцюгам обробки вагонів на i -й технічній станції, тобто описують усі операції з вагонами від прибуття на станцію в складі поїзда відповідної категорії до відправлення в поїзді іншого напрямку з відповідною категорією. Це дозволяє перейти від графу $G = (V, E)$ до псевдографу $G' = (V', E')$, V' - розширення множини вершин, що визначає початок та кінець операцій з вагонами на технічній станції, а множина E' — це розширена множина дуг, яка, крім напрямків прямуювання поїздів відповідних категорій, включає дуги, що відповідають технологічному ланцюгу обробки вагонів. Об'єднання напрямків прямуювання та технологічних ланцюгів обробки вагонів в єдину множину є доцільним, так як вони мають єдину фізичну природу, а саме - час перебування вагонів на відповідних дугах. Внаслідок того, що розмірність псевдографу $G' = (V', E')$ збільшується, доцільно прийняти наскрізну нумерацію, де $i = 1, M$. Позначимо через s -вершину, що відповідає станції відправлення вагонів з небезпечними вантажами, а через t -вершину, що є станцією призначення відповідних вагонів ($s, t, i, j \in V'$) (рисунк).

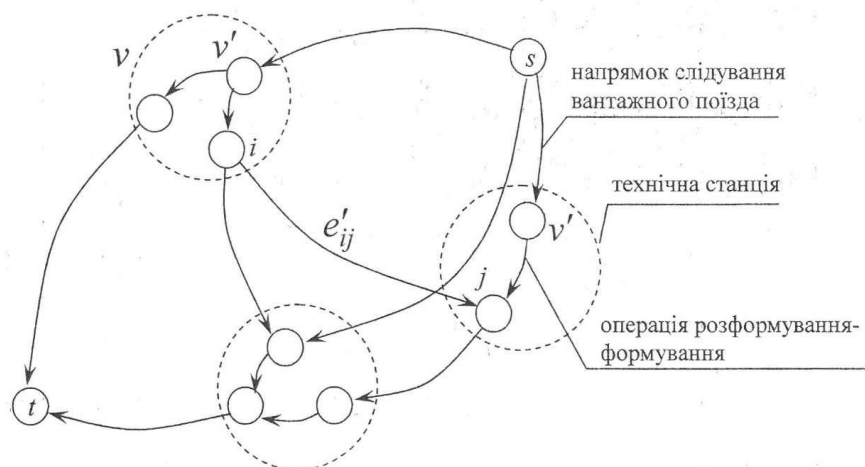


Рис. Граф залізничної мережі $G' = (V', E')$

Для оцінки експлуатаційних витрат за маршрутом слідування вагонів запропоновано кожній дузі e_{ij} графу G' присвоїти параметр c_{ij} , що характеризує відповідно до опису дуги: вартість слідування вагонів в поїзді відповідної категорії або вартість проходження технологічного ланцюга обробки вагонів на технічній станції полігону мережі.

За таких умов критерієм ефективності вибору маршруту прямування вагонів з небезпечними вантажами є мінімізація сумарних витрат щодо слідування вагонів у поїздах та обробки на станціях

$$F = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min_{\{x_{ij}\}} \quad (1)$$

та обмеження, що враховують безперервність маршруту, а кожен проміжний пункт на шляху проходження може бути відвіданий тільки один раз:

$$\text{де } x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i \text{ і } j \text{ є суміжними вершинами} \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad j, j=1, M$$

Транспортна система в задачі є орієнтованим графом - двополюсною мережею, s - номер станції відправлення, t - номер станції призначення $s, t \in V'$. Всі пункти маршруту можна розділити на початковий, проміжний і кінцевий. Очевидно, що в кожному проміжному пункті повинно бути по одній вхідній і вихідній дузі, а для початкового та кінцевого пунктів може бути тільки одна вихідна або вхідна дуга відповідно. Таким чином, обмеження (2 - 3) відображають вимогу про те, щоб у кожній вершині на маршруті із входу виходила лише одна дуга і у вхід заходила теж одна дуга. Обмеження (4) забезпечує рівність числа дуг, що входять та виходять в кожну проміжну вершину.

Використання критерію (1) та обмежень (2 - 4) дозволяє знайти найкоротший маршрут прямування вагонів з небезпечними вантажами від вершини s до t , але для формування варіанта слідування вагонів за умови підвищеної надійності необхідним є визначення на графі G' декількох k - достатньо коротких простих шляхів (ланцюгів) з вершини відправлення до вершини прибуття.

- для перерахування всіх k - дуг, що входять до i -ї вершини маршруту

$$\sum_k x_{ki} = 1, i = 2, M, \quad (2)$$

- для перерахування всіх j -х дуг, що виходять із i -ї вершини маршруту

$$\sum_j x_{ij} = 1, i = 1, M-1, \quad (3)$$

Якщо ж i -та вершина не входить в найкоротший маршрут, то відповідна сума як для вхідних, так і вихідних дуг вершини графу повинна бути рівною нулю. Тоді для будь-якого пункту мережі, крім початкового і кінцевого, повинна виконуватися умова

$$\sum_k x_{ki} - \sum_j x_{ij} = 0. \quad (4)$$

У початковому пункті $\sum_j x_{sj} = 1$, в кінцевому - $\sum_k x_{kt} = 1$, $x_{ij} \geq 0$ для всіх i, j ,

Для виключення із множини можливих маршрутів неприпустимо складних та дорогих варіантів перевезення небезпечних вантажів необхідним є дотримання умови неперевикнення критичних експлуатаційних витрат

$$F^k \leq C, \quad (5)$$

де F^k - сумарна вартість k -го маршруту, грн; C - граничні експлуатаційні витрати, що допустимі при перевезенні залізничним транспортом вантажу відповідного класу безпеки, грн.

Для розв'язання поставленої задачі запропоновано використати алгоритм Йена, схема якого припускає застосування алгоритму Флойда-Воршелла для пошуку одного оптимального маршруту між двома вершинами на мережі.

Висновок. Одним із найбільш складних етапів в організації перевезень небезпечних вантажів на залізничному транспорті є процес планування маршруту слідування вагонів, який визначає з урахуванням діючого плану

формування вантажних поїздів напрямом слідування та категорію поїзда, станції зупинки та розклад руху. Від рівня планування залежить безаварійність процесу перевезення небезпечних вантажів та ефективність реалізації якості заявлених послуг залізничним транспортом (точність доставки, швидкість за умови збереження вантажу).

У даній статті запропоноване вирішення науково-прикладного завдання щодо формування автоматизованої технології управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами, основу якої складає розроблена математична модель.

Формалізовано процес планування маршрутів прямування вагонів з небезпечними вантажами на тактичному рівні у вигляді двоетапної математичної моделі вибору найбільш безаварійного маршруту прямування вагонів з небезпечними вантажами, ідея якої полягає у послідовному використанні процедури Йена-Флойда для вибору множини можливих маршрутів прямування вагонів з небезпечними вантажами, потужність якої обмежено встановленими критичними експлуатаційними витратами та пошуком оптимального маршруту на основі мінімізації ризиків.

Список використаних джерел

1. Дубовіч, І.А. сучасні еколого-економічні проблеми транспортування небезпечних вантажів львівською залізницею [Текст] / І.А. Дубовіч, М.В. Руда // Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.9. – С. 66-71.
2. Переста, І.Я. Забезпечення вдосконалення профілактичних заходів під час перевезення небезпечних вантажів [Текст] / І.Я. Переста, Л.О. Яришкіна, С.І. Музикіна [та ін.] // 36. наук. праць ДНУЗТ “Транспортні системи та технології перевезень”. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 2. – С. 82-88.
3. Бутко, Т.В. Формування математичної моделі планування маршрутів слідування вагонів з небезпечними вантажами в умовах ризику [Текст] / Т.В. Бутко, О.В. Прохорченко, С.І. Музикіна // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2012. - №3(174). – С. 18-23.
4. Бутко, Т.В. Формування моделі оперативного управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами в підсистемі “технічна станція – прилегла станція” на базі нечіткої ситуаційної мережі [Текст] / Т.В. Бутко, О.В. Прохорченко, С.І. Музикіна // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Науково-технічний журнал. – Харків, 2012. – Вип. 3. – С. 3-8.
5. Музикіна, С.І. Питання охорони праці під час виконання вантажних операцій з небезпечними вантажами [Текст] / С.І. Музикіна, І.Я. Переста, І.Л. Журавель, В.В. Журавель // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. – К., 2011. – С. 304-305.
6. Правила перевезення небезпечних вантажів затверджені наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 25 листопада 2008 р. № 1430 [Текст]. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 26 лютого 2009 р. за 180/16196. – 120 с.

Бутко Тетяна Василівна, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри управління експлуатаційною роботою Української державної академії залізничного транспорту.
Савчук Тарас Миколайович, студент Української державної академії залізничного транспорту. E-mail: taras_savthuk_1991@mail.ru. Тел.+380667377913.

Butko T.V., Dr. tehn. science, Operation Work Management Department of Ukrainian State Academy of Railway Transport.
Savchuk TM, master, student of Ukrainian State Academy of Railway Transport. E-mail: taras_savthuk_1991@mail.ru. Tel.+380667377913.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ

УДК 629.4.077

ВИКОРИСТАННЯ ГАЛЬМІВНИХ КОЛОДОК НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Доктори техн. наук Е.Д. Тартаковський, А.П. Фалендиш, Є.М. Шапран,
інж. Л.І. Залеський, асп. А.Л. Сумцов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ

Доктора техн. наук Э.Д. Тартаковський, А.П. Фалендыш, Е.Н. Шапран,
инж. Л.И. Залеский, асп. А.Л. Сумцов

USE BRAKE PADS NEW CONSTRUCTION ON THE RAILWAYS OF UKRAINE

Doctors of techn. sciences E. Tartakovskiy, A. Falendysh, E. Shapran,
ing. L. Zaleskiy, postgraduate A. Sumtsov

Одним із напрямів підвищення ефективності роботи локомотивного господарства є зменшення витрат на витратні матеріали. Особливо це стосується гальмівних систем, від якості роботи яких залежить безпека і ефективність перевізного процесу. Метою запропонованої роботи є вивчення ефективності використання нових чавунних гальмівних колодок типу W14 в умовах реальної експлуатації на залізницях України.

Ключові слова: локомотиви, гальмівні колодки, випробування, залізниці України, гальмівні системи.

Одним из направлений по увеличению эффективности работы локомотивного хозяйства является уменьшение расходов на расходные материалы. Особенно это касается тормозных систем, от качества работы которых зависит безопасность и эффективность перевозок. Целью предлагаемой работы является изучение эффективности использования новых чугунных тормозных колодок типа W14 в условиях реальной эксплуатации на железных дорогах Украины.

Ключевые слова: локомотивы, тормозные колодки, испытания, железные дороги Украины, тормозные системы.

The development of industry, especially materials science provides opportunities for the application of new materials in rail transport to ensure safety and improve the efficiency of the whole transport sector. One of the areas to increase the efficiency of the locomotive department is reducing the cost of routine maintenance, most of which falls on supplies. This is especially true of braking systems on the quality of which depends on the safety and efficiency of the transportation process. Consumable component in the locomotive brake systems are the brake pads. The aim of the proposed work is to study the effectiveness of using new iron brake shoes type W14 in a real operation on railways of Ukraine. A comparative performance test pads Ivano-Frankivsk TRZ type MTRUZ 38.90.712205. Determined the effectiveness and feasibility of using a new type of brake pad.

Keywords: locomotives, brake pads, test, railways of Ukraine, brake systems.

Вступ. Забезпечення безпеки руху – одна з найважливіших умов функціонування залізничного транспорту. Для її забезпечення на

залізничному транспорті використовують комплекс заходів систем, що дозволяють керувати перевізним процесом взагалі та

окремою одиницею рухомого складу. Однією з найважливіших систем, що забезпечують керування рухом рухомого складу, є гальмівна система.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. На залізничному транспорті найбільше поширення отримали пневматичні гальмівні системи з гребневими гальмівними колодками, що взаємодіють з поверхнею катання колеса для створення гальмівної сили. Гальмівні колодки працюють в умовах сухого тертя, при якому зношення робочої поверхні максимальні. При цьому при масі однієї колодки 14,7 або 15,8 кг знос по масі до списання складає 11-12 кг [1, 2].

На локомотивах залізниць України використовують чавунні гальмівні колодки, що відповідають вимогам ГОСТ 30249-97 «Колодки гальмівні чавунні для локомотивів. Технічні умови».

Розвиток науки і техніки невинно ставить нові вимоги до складових частин рухомого складу та зменшення витрат на

поточне утримання. Однак останнім часом посилилась тенденція пошуку нових рішень для покращення експлуатаційних властивостей гальмівних колодок. Серед результатів таких робіт можна виділити гальмівні колодки типу W14.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою статті є вивчення зносостійкості гальмівної колодки типу W14 в умовах реальної експлуатації на залізницях України.

Основна частина дослідження. Гальмівні колодки типу W14 розроблені на Чавуноливарному заводі в місті Бдигощ. Загальний вигляд гальмівної колодки подано на рис. 1. Матеріал колодки – чавун марки P10. Колодки пройшли сертифікаційні випробування і були допущені до експлуатації. Характерною особливістю конструкції є наявність поперечних канавок на робочій поверхні (рис. 1). Наявність цих канавок зменшує іскровиділення при гальмуванні, що у свою чергу знижує можливість пожежі від потрапляння іскор. Основні характеристики колодки наведені в таблиці. На рис. 2 подано габаритні розміри [3, 4].

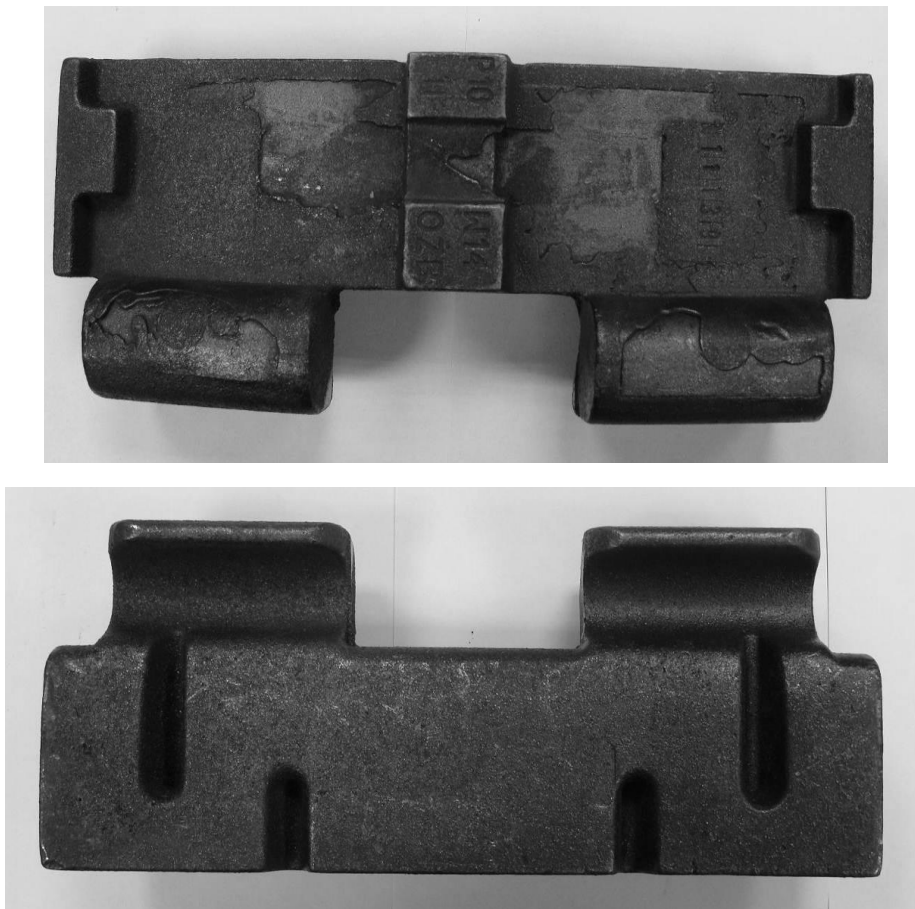


Рис. 1. Загальний вигляд гальмівної колодки типу W14

Таблиця 1

Основні параметри гальмівної колодки W14

№	Параметр	Одиниця виміру	Значення
1	Матеріал	-	Чавун
2	Марка матеріалу	-	P10
3	Габаритні розміри	мм	340 x 145 x 95
4	Товщина нової колодки	мм	40
5	Бракувальна товщина колодки	мм	10
6	Ширина робочої поверхні	мм	94
7	Маса нової колодки	кг	13

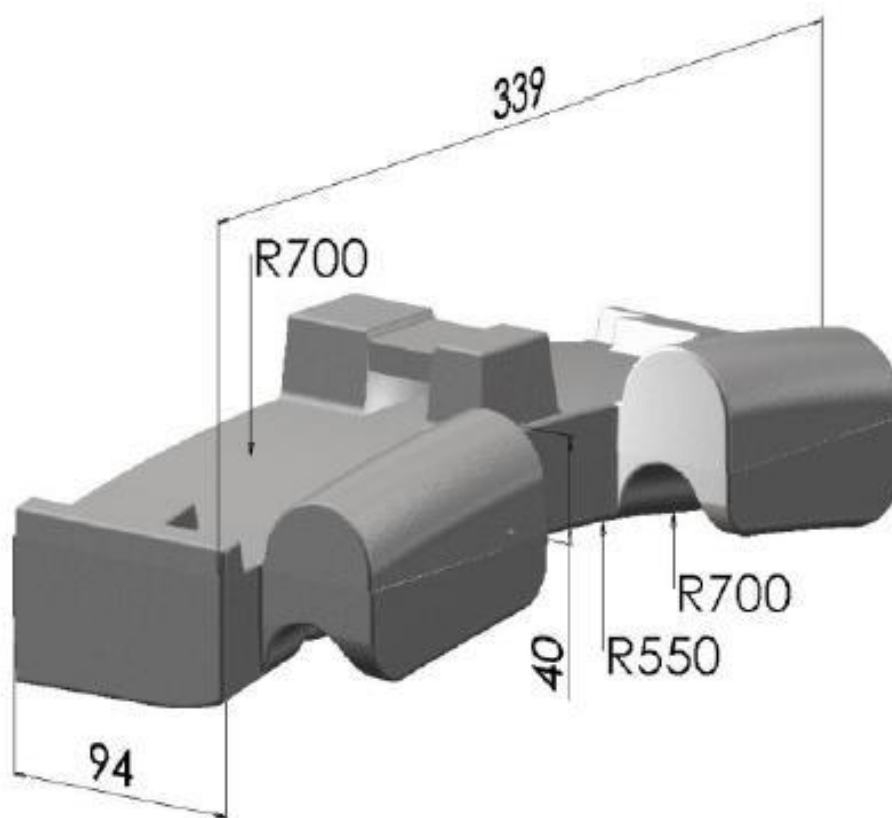


Рис. 2. Основні розміри гальмівної колодки типу W14

Для визначення реального зносу гальмівних колодок, що використовуються на залізницях України, було використано нові гальмівні колодки виробництва Івано-Франківського ТРЗ типу МТРУЗ 38.90.712205.

В ході проведення випробувань колодки обох типів використовувалися в однакових умовах експлуатації. Нештатних ситуацій та порушень у функціонуванні колодок обох виробників виявлено не було. Встановлення колодок відбувалося на тепловози та електровози різних серій, що використовувалися в різних видах робіт: пасажирській, вантажній і маневрово-вивізній.

В ході проведення випробувань було отримано дані про зменшення зношення гальмівних колодок типу W14 у порівнянні з колодками типу МТРУЗ 38.90.712205. Для прикладу на рис. 3 наведено графік питомого зносу товщини гальмівної колодки у пасажирському русі.

Як видно з рис. 3, знос гальмівних колодок типу W14 набагато нижчий, особливо це спостерігається при збільшенні пробігу

понад 8 тис. км. Величина зносу гальмівних колодок вітчизняного виробництва в середньому на 14 % вища, ніж закордонного.

При цьому різниця між зношенням бандажів локомотивів при застосуванні різних колодок є незначною.

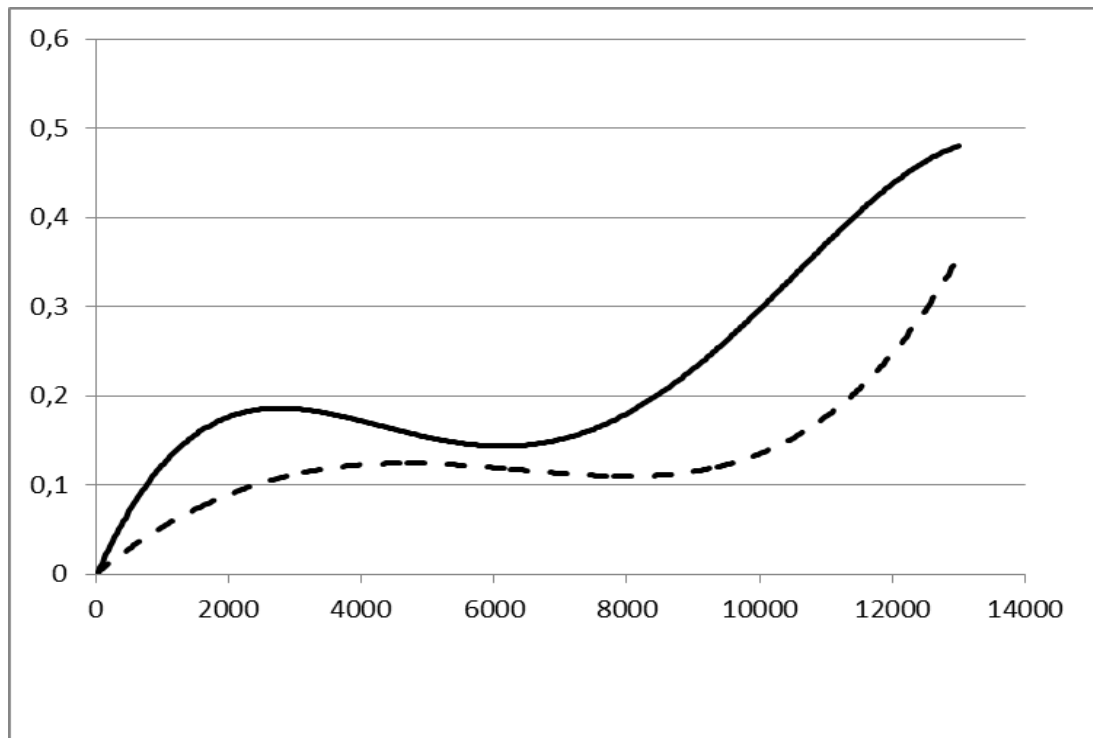


Рис. 3. Графік питомого зносу гальмівних колодок при експлуатації на локомотивах, задіяних у пасажирському русі

Висновки з дослідження. З проведеного дослідження можна зробити такі висновки:

1. Гальмівні колодки типу W14 мають динаміку зносу більш ніж на 14 % меншу, ніж колодки типу МТРУЗ 38.90.712205.
2. Знос бандажів колісних пар локомотивів при використанні колодок типу

W14 суттєво не відрізняється від величини зносу при використанні гальмівних колодок типу МТРУЗ 38.90.712205.

3. Доцільно продовжити подальшу експлуатацію колодок для визначення надійності та повного їх ресурсу.

Список використаних джерел

1. Колодки тормозные чугунные для локомотивов [Текст]: Технические условия. ГОСТ 30249-97. – [Введен 01.01.1999]. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 9 с.
2. Красиков, Г.В. Повышение ресурса чугунных тормозных колодок локомотива [Текст] / Г.В. Красиков // Молодой ученый. – 2011. – №2. – Т.1. – С. 35-38.
3. Odlewnię Żeliwa Bydgoszcz [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.odlewnia.com.pl/ru>
4. Інформація щодо виданих сертифікатів протягом квітня 2013 р. – травня 2013 р. державним підприємством “Дніпропетровський орган з сертифікації залізничного транспорту” [Текст] // Вісник сертифікації залізничного транспорту, 2013. – №3 – С. 37.

Тартаковський Едуард Давидович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-19-98.

Фалендиш Анатолій Петрович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри теплотехніки та теплових двигунів Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-19-99

Шапран Євген Миколайович, д-р техн. наук, професор.

Залеський Любомир Іванович, інженер, представник Чавуноливарного заводу міста Бдигош в Україні.

Сумцов Андрій Леонідович, аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-19-99

Tartakovskiy Eduard Davidovich d-r science, professor department of Maintenance and repair of rolling stock Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-98.

Falendysh Anatoliy Petrovich d-r science, professor department of Heat engineering and heat engines Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-99.

Shapran Evgeniy Nikolaevich, d-r science, professor

Zaleskiy Libomir Ivanovich, engineer, Representative iron foundry town Bdyhosch in Ukraine

Sumtsov Andrey Leonidovich postgraduate department of Maintenance and repair of rolling stock Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-99.

УДК 629.424.3

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ КІНЕМАТИКИ УДОСКОНАЛЕНОГО ПРИВОДА КЛАПАНІВ ЛОКОМОТИВНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК Д80 ТА Д49

Д-р техн. наук В.І. Мороз, кандидати техн. наук О.В. Братченко, О.А. Логвіненко

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КИНЕМАТИКИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ПРИВОДА КЛАПАНОВ ЛОКОМОТИВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК Д80 И Д49

Д-р техн. наук В.И. Мороз, кандидаты техн. наук А.В. Братченко, А.А. Логвиненко

SIMULATION RESULTS KINEMATICS IMPROVED VALVE DRIVE LOCOMOTIVE POWER PLANTS AND D80 D49

Doct. of techn. sciences V.I. Moroz, cand. of techn. sciences O.V. Bratchenko, O.A. Logvinenko

Висвітлено один з перспективних напрямків розробок з підвищення техніко-економічних та екологічних показників сучасних локомотивних енергетичних установок за рахунок модернізації їх механізмів привода клапанів. Обґрунтована доцільність використання газорозподільних валів з новими більш ефективними газорозподільними кулачками. Наведено отримані кінематичні характеристики штовхачів привода впускних та випускних клапанів локомотивних енергетичних установок з дизелями 1Д80Б та 6Д49. Оцінена доцільність використання запропонованих рішень.

Ключові слова: тепловоз, локомотивна енергетична установка, механізм газорозподілу, газорозподільний вал, кулачки, кінематика.

Выделено одно из перспективных направлений разработок по повышению технико-экономических и экологических показателей современных локомотивных энергетических установок. Обоснована целесообразность использования газораспределительных валов с новыми более эффективными газораспределительными кулачками. Представлены полученные кинематические характеристики толкателей привода впускных и выпускных клапанов локомотивных энергетических установок с дизелями 1Д80Б и 6Д49. Оценена целесообразность использования предложенных решений.

Ключевые слова: тепловоз, локомотивная энергетическая установка, механизм газораспределения, газораспределительный вал, кулачки, кинематика.

Allocated one of several developments to enhance the technical, economic and environmental performance of modern locomotive power plants. The expediency of the use of gas distribution shafts with

new more efficient gas distribution cams. The results of mathematical modeling and analysis of the kinematics characteristics of the valve drives the intake and exhaust valves of locomotive power plants with diesel 1D80B and 6D49, improved (compared with standard) based on the new gas distribution cams. The estimation of the expected change of the "time - section" valves, velocity, acceleration, dynamic displays and mechanical stresses in parts of the drive. The resulting comparative evaluations confirm the usefulness of the proposed solutions for improving the design of the valve drive locomotive power plants with diesel 1D80B and 6D49.

Noted that the results of computational research workflows considered locomotive power plants, the use of the camshaft with the proposed gas distribution cams will improve the value of "time - section" of the valves, increasing the air flow through the cylinder filling ratio, charge air -fuel ratio and, as a result, will improve the indicator and effective efficiencies, environmental performance, and reduce average operational specific fuel consumption.

Keywords: locomotive, locomotive energy plant, engine timing, gas distribution shaft, cams, kinematics.

Вступ. Нині на залізницях України експлуатується майже повністю зношений рухомий склад, основна частина якого – локомотиви і вагони другого покоління (в європейських країнах вони – вже четвертого покоління), що збільшує експлуатаційні витрати, енергоємність перевезень та ремонт рухомого складу.

Постановка проблеми та її актуальність. Постановою Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1390 (в редакції Постанови Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2011 р. № 1106) була затверджена програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки, в межах якої одним із пріоритетних напрямків розвитку залізниць є підвищення паливної економічності та надійності енергетичних установок тепловозів [1,2], що є актуальним на цей час для подальшого економічно ефективного функціонування залізничного транспорту України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що одним з перспективних напрямків підвищення паливної економічності та екологічних показників (особливо для чотиритактних локомотивних енергетичних установок (ЛЕУ) з високим рівнем форсування за середнім ефективним тиском) є поліпшення якості процесів газообміну, сумішоутворення та згоряння в циліндрах, зменшення механічної напруженості, динамічних навантажень та процесів зношення основних деталей привода впускних та випускних клапанів (газорозподільних кулачків, роликів штовхачів, втулок, гідроштовхачів та ін.), зниження вартості їх ремонту. Це можливо досягти за рахунок використання в конструкції

розподільних валів нових більш ефективних безударних газорозподільних кулачків. При цьому додатково зменшуються інерційні навантаження деталей клапанного привода та поліпшуються умови посадки клапана на сідло, що має позитивний вплив на надійність енергетичних установок [3-6].

Загальноприйнятим показником паливної економічності тепловозних дизелів є середньоексплуатаційна витрата палива [7]. При цьому на його формування суттєво впливає якість протікання процесів газообміну, що безпосередньо пов'язано з роботою кулачкового механізму газорозподілу (КМГР) [8]. При оцінюванні ефективності привода клапанів використовується величина «час-переріз» (ЧП) [9]. В ході її визначення враховуються конструктивні особливості впускних і випускних клапанів, каналів у кришці циліндра двигуна та зміна площі прохідних перерізів у часі, яка визначається профілями кулачків. Тому в пошукових дослідженнях з оцінювання ефективності КМГР як критеріальний показник доцільно використовувати величину коефіцієнта повноти діаграми підйомів штовхача (клапана) η_n [10] – відношення площі під кривою переміщень штовхача в межах кута дії кулачка до площі прямокутника, який її описує. Як показали проведені дослідження, зміна цього показника відбиває зміну ЧП клапанів і відповідний вплив на показники газообміну та паливної економічності дизеля.

Метою статті є висвітлення результатів моделювання кінематики привода впускних та випускних клапанів локомотивних енергетичних установок Д80 та Д49,

удосконалених за рахунок використання нових безударних високоефективних кулачків.

Основна частина дослідження. Описані в роботах [3-5] нові підходи та методики профілювання газорозподільних кулачків локомотивних енергетичних установок 1Д80Б та 6Д49 за умов отримання якісного індикаторного процесу в циліндрах забезпечують виготовлення газорозподільних валів з новими кулачками, використання яких дає змогу підвищити паливну економічність та покращити екологічність дизелів. Особливу роль при оцінюванні доцільності використання таких кулачків в КМГР ЛЕУ відіграє отримання і аналіз кінематичних характеристик руху клапанів, на основі яких визначаються значення коефіцієнтів η_n , а також показники механічної напруженості та динаміки клапанного привода. З метою їх отримання були проведені відповідні розрахункові дослідження. На рис. 1-3 наведені кінематичні характеристики удосконаленого привода (на основі використання нових кулачків) впускних

та випускних клапанів локомотивних енергетичних установок 1Д80Б та 6Д49. Аналіз наведених на рис. 1 кінематичних характеристик удосконаленого привода впускних та випускних клапанів ЛЕУ 1Д80 показав, що у порівнянні із серійним варіантом привода (використовуються кулачки, спрофільовані за методикою Я.І. Дробкіна [11]) має місце збільшення коефіцієнта η_n з 0,59 до 0,66, що відповідає збільшенню ЧП клапанів на 15 %. У свою чергу стосовно ЛЕУ 6Д49 аналіз наведених на рис. 2,3 кінематичних характеристик її удосконаленого привода впускних та випускних клапанів виявив, що у порівнянні із серійним варіантом привода (використовуються тангенційні кулачки) має місце збільшення коефіцієнта η_n для привода випускних клапанів з 0,59 до 0,66, а для привода впускних клапанів з 0,57 до 0,64, що дає змогу збільшити величину ЧП до 18 % як для впускних, так і випускних клапанів.

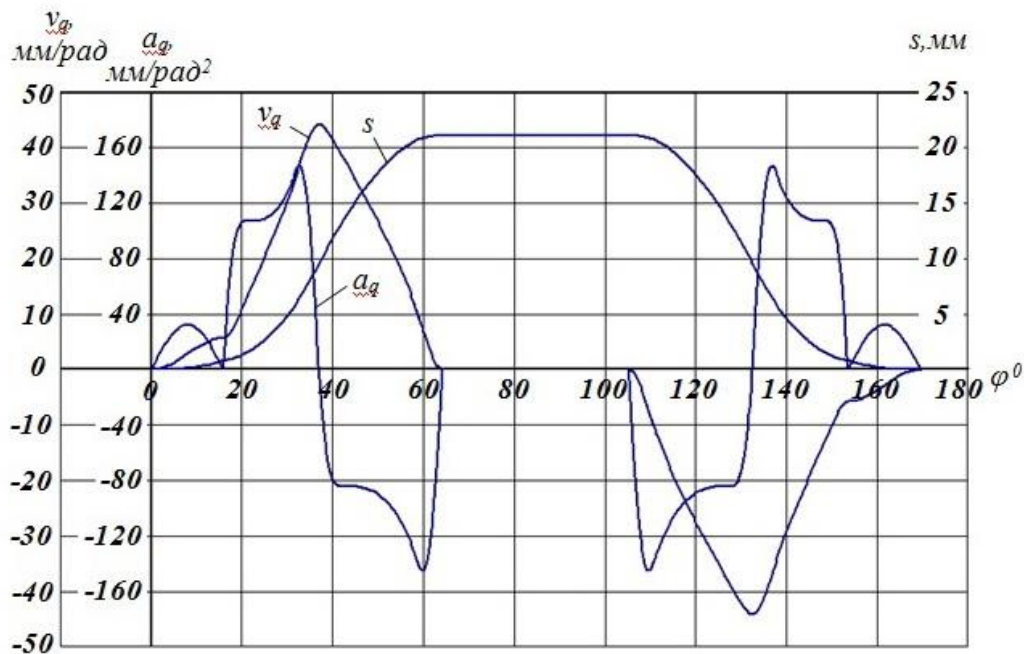


Рис. 1. Кінематичні характеристики штовхача привода впускних та випускних клапанів локомотивної енергетичної установки 1Д80Б

Поряд з цим застосування нових газорозподільних кулачків з безударними профілями призведе до зменшення рівнів максимальних контактних напружень у парі

«кулачок – ролик штовхача», що є важливим фактором забезпечення міцності, підвищення надійності та зменшення зносів робочих поверхонь контактуючих деталей, безударної

роботи клапанного привода, безрозривності кінематичного ланцюга, зниження інерційних навантажень, поліпшення умов посадки клапана на сідло. При цьому виконуються задані при проектуванні технологічні, міцнісні та конструктивні обмеження:

- максимальна швидкість посадки клапана на сідло не перевищує граничного значення, встановленого у відповідності до матеріалу і конструкції сідла ($v_{0\max} \leq [v_0]$). Для привода випускних клапанів ЛЕУ 1Д80Б

максимальна швидкість посадки клапана на сідло $[v_0] = 0,6 \text{ м/с}$, а отримана $v_{0\max} = 0,26 \text{ м/с}$. У свою чергу для привода впускних клапанів ЛЕУ 6Д49 максимальна швидкість складає $[v_0] = 0,4 \text{ м/с}$, при цьому отримана $v_{0\max} = 0,32 \text{ м/с}$, а для привода випускних клапанів вони становлять $[v_0] = 0,7 \text{ м/с}$, $v_{0\max} = 0,52 \text{ м/с}$;

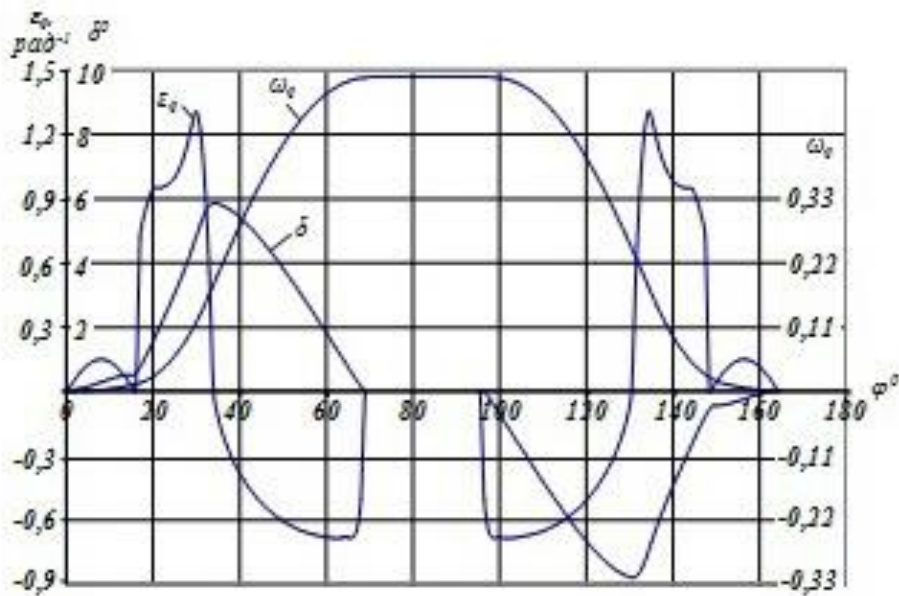


Рис. 2. Кінематичні характеристики штовхача привода впускних клапанів локомотивної енергетичної установки 6Д49

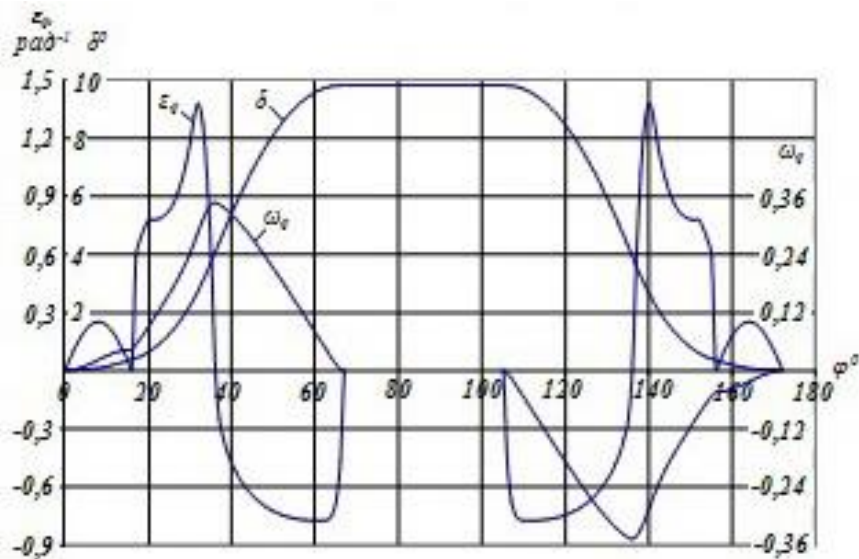


Рис. 3. Кінематичні характеристики штовхача привода випускних клапанів локомотивної енергетичної установки 6Д49

- мінімальна величина коефіцієнта запасу клапанних пружин за силами інерції більша за встановлене граничне значення ($k_{3n \min} \geq [k_{3n}]$). Для приводів впускних та випускних клапанів ЛЕУ 1Д80Б граничне значення коефіцієнта запасу клапанних пружин за силами інерції $[k_{3n}] = 1,5$, а отримане $k_{3n \min} = 1,55$. У свою чергу для привода впускних клапанів ЛЕУ 6Д49 граничне значення цього коефіцієнта складає $[k_{3n}] = 1,5$, при цьому отримане $k_{3n \min} = 1,6$, а для привода випускних клапанів вони становлять $[k_{3n}] = 1,5$, $k_{3n \min} = 1,52$;

- максимальні значення кута тиску кулачка на штовхач не перевищують граничних значень ($\beta_{\max} \leq [\beta]$). Для приводів впускних та випускних клапанів ЛЕУ 1Д80Б максимальне значення кута тиску становить $[\beta] = 30 \text{ град}$, а отримане $\beta_{\max} = 29 \text{ град}$. У свою чергу для приводів впускних та випускних клапанів ЛЕУ 6Д49 максимальне значення цього кута дорівнює $[\beta] = 45 \text{ град}$, при цьому отримане значення для привода впускних клапанів $\beta_{\max} = 17,8 \text{ град}$, а для привода випускних клапанів $\beta_{\max} = 20,2 \text{ град}$;

- мінімальний радіус кривизни увігнутої ділянки профілю кулачка перевищує мінімальний радіус шліфувальних кругів ($R_{\min}^{kp} \geq [R_{\min}^{kp}]$). Для приводів впускних та випускних клапанів ЛЕУ 1Д80Б та ЛЕУ 6Д49 мінімальний радіус шліфувальних кругів складає $[R_{\min}^{kp}] = 170 \text{ мм}$. При цьому для приводів впускних та випускних клапанів ЛЕУ 1Д80Б отримане значення мінімального радіуса кривизни увігнутої ділянки профілю кулачка $R_{\min}^{kp} = 173,04 \text{ мм}$. Для привода впускних клапанів ЛЕУ 6Д49 отримане значення $R_{\min}^{kp} = 170,9 \text{ мм}$, а для привода випускних – $R_{\min}^{kp} = 170,8 \text{ мм}$;

- максимальні контактні напруження в парі «поверхня кулачка – ролик штовхача» не перевищують допустимі значення ($\sigma_{H \max} \leq [\sigma_H]$). Для приводів впускних та

випускних клапанів ЛЕУ 1Д80Б допустиме значення контактних напружень складає $[\sigma_H] = 1500 \text{ МПа}$, а отримане $\sigma_{H \max} = 794,4 \text{ МПа}$. У свою чергу для привода впускних клапанів ЛЕУ 6Д49 допустиме значення цих напружень складає $[\sigma_H] = 2000 \text{ МПа}$, при цьому отримане $\sigma_{H \max} = 882 \text{ МПа}$, а для привода випускних клапанів вони становлять $[\sigma_H] = 2000 \text{ МПа}$, $\sigma_{H \max} = 1336 \text{ МПа}$;

- мінімальний коефіцієнт запасу стійкості штанги перевищує допустиме значення ($n_{\min} \geq [n]$). Для привода випускних клапанів ЛЕУ 1Д80Б допустиме значення коефіцієнта запасу стійкості штанги становить $[n] = 3$, а отримане $n_{\min} = 6,63$. У свою чергу для привода випускних клапанів ЛЕУ 6Д49 допустиме значення цього коефіцієнта становить $[n] = 3,0$, а отримане $n_{\min} = 3,01$.

Результати розрахункових досліджень робочих процесів розглядуваних ЛЕУ [12] показали, що використання розподільних валів із запропонованими газорозподільними кулачками забезпечує підвищення величини ЧП клапанів, збільшення витрати повітря через циліндр, коефіцієнта наповнення, коефіцієнта збитку надувального повітря, і, як результат, дасть змогу покращити індикаторний коефіцієнт корисної дії (ККД), ефективний ККД, екологічні показники, а також зменшити середньоексплуатаційну питому витрату палива (для ЛЕУ 1Д80Б до $6 \text{ г/(екВт}\cdot\text{год)}$), а для ЛЕУ 6Д49 до $5 \text{ г/(екВт}\cdot\text{год)}$).

Висновки. Наведені в статті результати математичного моделювання та аналізу кінематичних характеристик клапанного привода, удосконаленого (в порівнянні із серійним) на основі використання нових газорозподільних кулачків, дають змогу оцінити очікувану зміну ЧП клапанів, швидкостей, прискорень, динамічних проявів та механічних напружень у деталях привода. Одержані порівняльні оцінки підтверджують доцільність використання запропонованих рішень з удосконалення конструкції клапанного привода розглядуваних ЛЕУ.

Список використаних джерел

1. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки: [Електронний ресурс]. [затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1390 (в редакції Постанови Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2011 р. № 1106)]. – Режим доступу: URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-p>.
2. Моделювання парку рухомого складу для регіональних перевезень [Текст] / Е.Д. Тартаковський, А.П. Фалендиш, А.М. Кучеренко, О.О. Родіонов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С. 167-176.
3. Пат. 38779 А Україна, МПК F01L 1/08. Кулачок механізму газорозподілу [Текст] / Мороз В.І., Братченко О.В., Логвіненко О.А. (Україна); заявник та власник Укр. держ. акад. залізн. трансп. – № 200501612; заявл. 21.02.2005; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1.
4. Новий підхід до профілювання газорозподільних кулачків форсованих тепловозних дизелів [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, О.А. Логвіненко, К.В. Астахова // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 110-116.
5. Пат. 90952 Україна МПК F01L 1/08. Кулачок механізму газорозподілу [Текст] / Мороз В.І., Братченко О.В., Астахова К.В., Тіщенко В.С.; заявник та власник Укр. держ. акад. залізн. трансп. – № а 200813509; заявл. 24.11.08.; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 11. – 4 с.
6. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания [Текст]: учеб. для вузов / А.Э. Симсон, А.З. Хомич, А.А. Куриц [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – 536 с.
7. Хомич, А.З. Топливная эффективность и вспомогательные режимы тепловозных дизелей [Текст] / А.З. Хомич. – М.: Транспорт, 1987. – 271 с.
8. Мороз, В.І. Оцінка резервів поліпшення експлуатаційних показників тепловозних дизелів типу Д80 за рахунок модернізації механізму привода клапанів [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, О.А. Логвіненко // Міжвуз. зб. наук. праць. – Харків: ХарДАЗТ, 2000. – Вип. 41. – С.10–13.
9. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин [и др.]; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.
10. Мороз, В.І. Методика оптимізації профіля кулачка по коефіцієнту полноты диаграммы подъема толкателя [Текст] / В.І. Мороз // Теория механизмов и машин. – Харьков: Вища шк., 1986. – Вип. 40. – С. 86-90.
11. Эфендиев, А.И. О профилировании кулачка клапанного привода для тепловозного дизеля с высоким наддувом [Текст] / А.И. Эфендиев, Я.И. Драбкин // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: Вища шк., 1969. – Вип. 9. – С. 134-145.
12. Розробка нової концепції і методів удосконалення механічних систем локомотивних енергетичних установок з метою поліпшення експлуатаційних характеристик [Текст]: [звіт про НДР] – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 106 с. – № ДР 0107U000341.

Мороз Володимир Ілліч, доктор техн. наук, професор, академік ТАУ, дипломований «Європейський інженер-педагог» (ING-PAED IGIP), завідувач кафедри механіки і проектування машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-51.

Братченко Олександр Васильович, канд. техн. наук, професор кафедри механіки і проектування машин, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-53.

Логвіненко Олександр Анатолійович, канд. техн. наук, доцент кафедри механіки і проектування машин, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-53.

Moroz Vladimir Ilyich, doctor of technical sciences, professor, academician Academy Sciences of the transport, graduated "European engineer teacher" (ING-PAED IGIP), head department of mechanics and machine design, Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-51.

Bratchenko Oleksandr Vasylovych, candidate of technical sciences, professor department of mechanics and machine design, Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-53.

Logvinenko Oleksandr Anatolijovych, candidate of technical sciences, docent department of mechanics and machine design, Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-53.

УДК 629.424.1:621.436.004.15

ОПИС ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ КРУТНИХ МОМЕНТІВ У МЕХАНІЧНІЙ СИСТЕМІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЗА НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ГАРМОНІЧНОГО АНАЛІЗУ

Канд. техн. наук О.В. Братченко

ОПИСАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ КРУТЯЩИХ МОМЕНТОВ В МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЗА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Канд. техн. наук А.В. Братченко

DESCRIPTION OF THE PARTICULARITIES OF THE SHAPING TURNING MOMENTS IN MECHANICAL SYSTEM OF THE ENERGY INSTALLING THE DIESEL LOCOMOTIVE ON BASE OF THE USE THE HARMONIOUS ANALYSIS

Cand. of techn. sciences A. Bratchenko

Обґрунтовано актуальність проведення розрахунково-експериментальних досліджень напружено-деформованого стану колінчатих валів енергетичних установок тепловозів з дизелями типу Д49. Подано опис особливостей формування крутних моментів у механічній системі енергетичної установки на основі використання гармонічного аналізу. Як приклад використання розробленої математичної моделі наведено ряд гармонік, з яких складається крива зміни крутного моменту в перерізі колінчатого вала восьмого циліндрового модуля енергетичної установки Д49.

Ключові слова: енергетична установка тепловоза з дизелем Д49, механічна система, колінчатий вал, крутні моменти, гармонічний аналіз.

Обоснована актуальность проведения расчетно-экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния коленчатых валов энергетических установок тепловозов с дизелями типа Д49. Представлено описание особенностей формирования крутящих моментов в механической системе энергетической установки тепловоза на основе использования гармонического анализа. В качестве примера использования разработанной математической модели приведен ряд гармоник, из которых складывается кривая изменения крутящего момента в сечении коленчатого вала восьмого цилиндрического модуля энергетической установки Д49.

Ключевые слова: энергетическая установка тепловоза с дизелем Д49, механическая система, коленчатый вал, крутящие моменты, гармонический анализ.

Motivated urgency of the undertaking accounting-experimental studies tense-deformed conditions of the separate nodes and details of the energy installation diesel locomotive z diesel of the type D49, to which in the first place follows to refer the crankshaft. Considered importance of the creation to mathematical model, which allows on stage of the designing already or at modernizations forced much cylinders of the diesels to value the influence of the fluctuations turning moments on dynamic loads not only, which are formed in sections cylinder modules, but and on work mechanism distribution exhaust gas and presenting fuel in cylinder. The Presented description of the particularities of the shaping turning moments in mechanical system of the energy installing the diesel locomotive on base of the use the harmonious analysis. As example of the use designed mathematical model is brought row of the harmonicas, from which forms the curve of the change turning moment in section of the crankshaft eighth cylinder module of the energy installation with diesel D49.

Keywords: energy installing the diesel locomotive z diesel D49, mechanical system, crankshaft, turning moments, harmonious analysis.

Вступ. Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Зменшення витрат коштів на утримання і ремонт наявного тягового рухомого складу визначає актуальність науково-дослідних і дослідно-конструкторських розробок, спрямованих на підвищення паливної економічності і надійності V-подібних енергетичних установок (ЕУ) Д49, якими обладнані понад 50 % магістральних тепловозів (2ТЕ116, ТЕП70) експлуатаційного парку Укрзалізниці [1-3]. Це визначило необхідність проведення розрахунково-експериментальних досліджень напружено-деформованого стану окремих вузлів дизеля, до яких у першу чергу слід віднести колінчатий вал (КВ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Потрібні характеристики функціонування циліндрів визначають форму колінчатих валів (КВ) відповідно до їх порядку роботи. При цьому КВ сприймають великі навантаження змінної дії, характер формування яких обумовлений особливостями функціонування механічної системи ЕУ [4-6]. Разом з тим, запропонований підхід, що описує формування сумарного крутного моменту у вигляді сукупності моментів від дії усіх циліндрових модулів (ЦМ), недостатньо розглядає питання оцінки впливу особливостей зміни крутного моменту на функціонування підсистеми розподільного вала, тобто на протікання процесів паливоподачі в ЦМ та

формування динамічних навантажень у перерізах КВ.

Це обумовлює актуальність питання створення математичної моделі, яка дозволить вже на стадії проектування або при модернізації форсованих багатоциліндрових дизелів оцінювати вплив коливань крутних моментів не тільки на динамічні навантаження, що формуються в перерізах ЦМ, а й на роботу механізмів газорозподілу та паливоподачі.

У свою чергу, вищесказане надає можливість оцінювання працездатності, довговічності, надійності та паливної економічності дизеля в цілому. Окрім цього, вирішення такої задачі забезпечує уточнений опис формування крутного моменту двигуна та характеристик функціонування пов'язаних з КВ механізмів, насамперед механізму газорозподілу чотиритактного дизеля та привода паливних насосів високого тиску [7].

Визначення мети і задачі дослідження. Метою статті є опис особливостей формування крутних моментів у механічній системі енергетичної установки тепловоза на основі використання гармонічного аналізу.

Основна частина дослідження. В процесі математичного моделювання характеристик функціонування механічної системи ЕУТ були отримані уточнені значення крутних моментів у перерізах колінчатого вала у вигляді масивів T , узагальнений запис яких має вигляд таблиці (рядки відповідають фіксованим положенням, стовпці – перерізам циліндрових модулів) [8, 9].

Таблиця

Узагальнений запис матриці T

	1	2	3	4	...	$m-1$	m
1	$T(1,1)$	$T(1,2)$	$T(1,3)$	$T(1,4)$	...	$T(1,m-1)$	$T(1,m)$
2	$T(2,1)$	$T(2,2)$	$T(2,3)$	$T(2,4)$	...	$T(2,m-1)$	$T(2,m)$
3	$T(3,1)$	$T(3,2)$	$T(3,3)$	$T(3,4)$	...	$T(3,m-1)$	$T(3,m)$
4	$T(4,1)$	$T(4,2)$	$T(4,3)$	$T(4,4)$	...	$T(4,m-1)$	$T(4,m)$
5	$T(5,1)$	$T(5,2)$	$T(5,3)$	$T(5,4)$	...	$T(5,m-1)$	$T(5,m)$
...	...	...	...	...	...	...	...
$a-1$	$T(a-1,1)$	$T(a-1,2)$	$T(a-1,3)$	$T(a-1,4)$	...	$T(a-1,m-1)$	$T(a-1,m)$
a	$T(a,1)$	$T(a,2)$	$T(a,3)$	$T(a,4)$	...	$T(a,m-1)$	$T(a,m)$

Примітки: m – кількість ЦМ дизеля; a – кількість фіксованих положень КВ.

Аналіз отриманих даних показав, що зміна сумарного крутного моменту має гармонічний характер. Має місце значне відхилення від середнього значення $T_{сер}^m$ (рис. 1), яке перевищує 20 % у від'ємному напрямку (T^{m-}) і 35 % у додатному (T^{m+}).

Характер наведеної кривої визначив можливість використання при розробці математичної моделі відомих методів і підходів. Одним із можливих напрямків переходу від матричного до опису у вигляді рядів Фур'є є використання гармонічного аналізу, який полягає у визначенні основних синусоїд, що описують закономірності формування кривих крутних моментів для відповідних ЦМ [10]. Наприклад,

формалізований запис кривої крутного моменту для ЦМ має вигляд

$$f(T^m) = T_{сер}^m + \sum_{k=1}^n X_k^m, \quad (1)$$

де $T_{сер}^m$ – середнє значення крутного моменту в

перерізі ЦМ m за цикл роботи механізму;

k – номер синусоїди (гармоніки);

X_k^m – гармоніки, що описують закономірності формування кривих крутних моментів у перерізі ЦМ m .

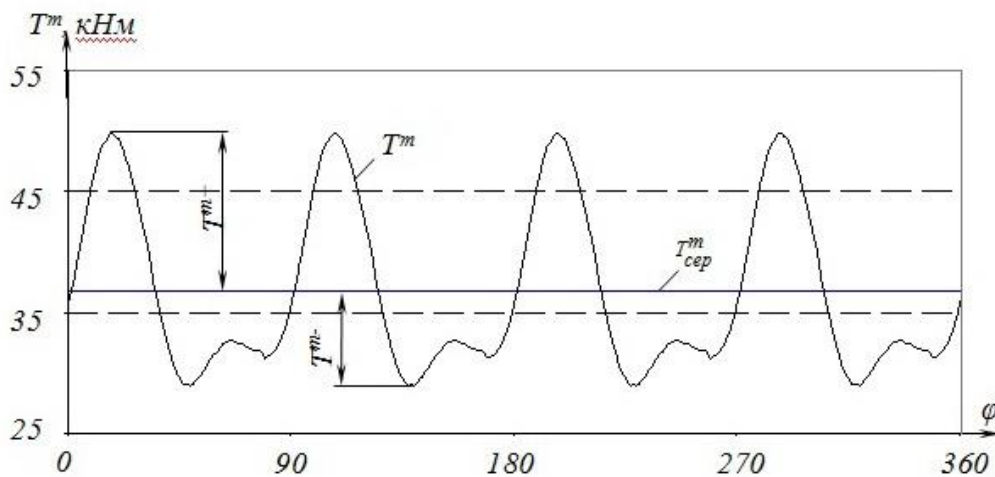


Рис. 1. Відхилення крутного моменту в перерізі КВ восьмого ЦМ ЕУТ з дизелем Д49 (T^m) від середнього значення ($T_{сер}^m$)

Математичний запис гармонік будь-якого порядку (k) для ЦМ має вигляд:

$$X_k = \sum_{i=1}^a C_k \cdot \sin(\varphi_i \cdot k + \psi_k), \quad (2)$$

де φ_i – кут повороту КВ в i -му фіксованому положенні;

C_k – амплітуда коливань;

ψ_k – початкова фаза коливань.

Амплітуда і фаза коливань визначаються за допомогою залежностей 3 та 4 відповідно.

$$C_k = \sqrt{\overline{A_k}^2 + \overline{B_k}^2}; \quad (3)$$

$$\psi_k = \arctg \frac{\overline{A_k}^2}{\overline{B_k}^2}, \quad (4)$$

де $\overline{A_k}$ і $\overline{B_k}$ – середнє значення коефіцієнтів A_k і B_k .

$$A_{ki} = T_i^m \cdot \cos(k \cdot \varphi_i); \quad (5)$$

$$B_{ki} = T_i^m \cdot \sin(k \cdot \varphi_i), \quad (6)$$

де T_i^m – поточне значення крутного моменту в перерізі ЦМ m в i -му фіксованому положенні.

На основі наведеного підходу з використанням гармонічного аналізу розроблена відповідна математична модель, яка дозволяє відокремити гармоніки, з яких складається крива зміни крутного моменту. Як

приклад на рис. 2 наведено ряд гармонік, з яких складається крива зміни крутного моменту в перерізі КВ восьмого ЦМ ЕУ з дизелем Д49.

Для перевірки адекватності розробленої математичної моделі була отримана синтезована крива, що об'єднує виділені синусоїди, а також середнє значення крутного моменту (рис. 3).

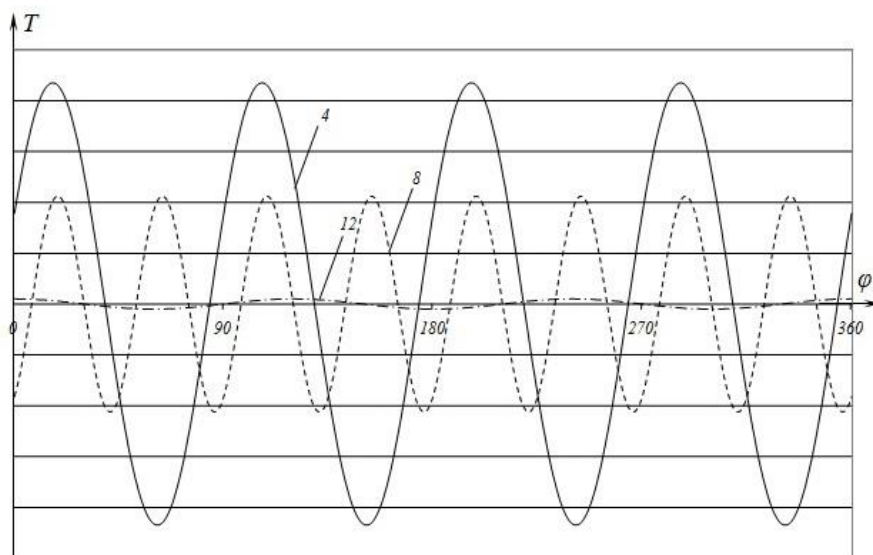


Рис. 2. Гармоніки 4-го, 8-го та 12 порядків, що входять до складу кривої зміни крутного моменту в перерізі КВ восьмого ЦМ ЕУ з дизелем Д49

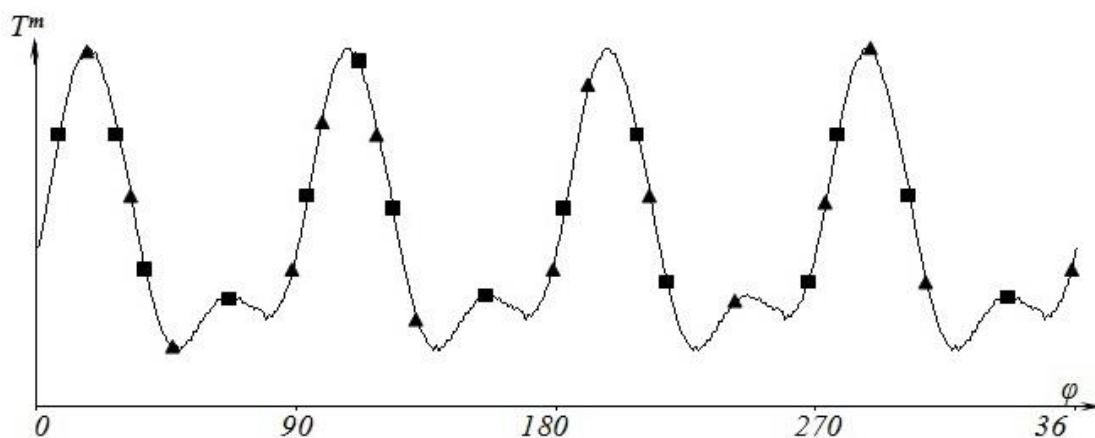


Рис. 3. Порівняння синтезованої кривої зміни крутного моменту в перерізі КВ восьмого ЦМ, отриманої в ході гармонічного аналізу (▲) та базової кривої (■)

Слід зауважити, що похибка розрахунків (різниця між вихідними даними і отриманими в ході розрахунків) не перевищила 1 %, що

обґрунтовує доцільність використання розробленої математичної моделі при проведенні досліджень, спрямованих на опис

особливостей функціонування механічної системи енергетичних установок тепловозів.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Розглянуті формування крутних моментів у механічній системі енергетичної установки тепловоза та отримані математичні залежності

на основі гармонічного аналізу дають змогу з високою точністю визначати основні складові циклічної зміни крутних моментів. Це має важливе значення в дослідженнях з оцінювання міцності та особливостей руху колінчатого і розподільного валів.

Список використаних джерел

1. Боднар, Б.Є. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування [Текст]: підручник для ВНЗ залізнич. трансп. / Б.Є. Боднар, Є.Г. Нечаєв, Д.В. Бобир. – Дніпропетровськ: ПП «Ліра ЛТД», 2010. – 358 с.
2. Филонов, С.П. Тепловоз 2ТЭ116 [Текст] / С.П. Филонов, А.И. Гибалов, В.Е. Быковский [и др.]. — М.: Транспорт, 1985. – 328 с.
3. Быков, В.Г. Пассажирский тепловоз ТЭП70 [Текст] / В.Г. Быков, Б.Н. Морошкин, Г.Е. Серделевич, Ю.В. Хлебников, В.М. Ширяев. – М.: Транспорт, 1976. – 232 с.
4. Мороз, В.І. Методологічний аспект формалізованого описання і оцінювання механічної досконалості конструкції транспортних технічних засобів [Текст] / В.І. Мороз // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 64. – С. 31-38.
5. Мороз, В.І. Новий підхід до формалізованого описання конструкції технічних засобів залізничного транспорту [Текст] // В.І. Мороз // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 4. – С.41-42.
6. Тіщенко, В.С. Новий підхід до розрахункових досліджень механізмів локомотивної енергетичної установки з V-подібним дизелем [Текст] / В.С. Тіщенко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 117. – С. 159-163.
7. Мороз, В.І. Моделирование интегральных отклонений фаз газораспределения тепловозного четырёхтактного дизеля [Текст] / В.І. Мороз А.В. Братченко // Міжвуз. зб. наук. праць. – Харків: ХарДАЗТ, 1998. – Вип. 34. – С. 59-61.
8. Мороз, В.І. Математичне описання модульно-накопичувального формування крутних моментів багатоциліндрових V-подібних тепловозних дизелів [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, В.С. Тіщенко // Удосконалення будівельних, колійних та перевантажувальних машин // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 88. – С.34-39.
9. Мороз, В.І. Уточнена методика силового розрахунку кривошипно-шатунного механізму V-подібного тепловозного дизеля [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, В.С. Тіщенко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип. 76. – С. 157-164.
10. Серебренников, М.Г. Гармонический анализ [Текст] / М.Г. Серебренников. – М.: Гостехиздат, 1948. – 504 с.

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

Братченко Олександр Васильович, канд. техн. наук, професор кафедри механіки і проектування машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.(057) 730-10-53.

Bratchenko Alexander Vasilyevich, cand. tech. sciences, professor department mechanical engineers and designing the machines Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-53.

УДК 62-52:629.423.2

КЕРУВАННЯ МОТОРВАГОННИМ РУХОМИМ СКЛАДОМ ЗА УМОВИ ВІДСТАВАННЯ ВІД ГРАФІКА РУХУ

Канд. техн. наук Д.О. Кулагін

УПРАВЛЕНИЕ МОТОРВАГОННЫМ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ ПРИ УСЛОВИИ ОТСТАВАНИЯ ОТ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ

Канд. техн. наук Д.А. Кулагин

THE MANAGEMENT OF THE RAILCAR ROLLING STOCK, PROVIDED BEHIND THE SCHEDULE OF MOVEMENT

Cand. of Science D.O. Kulagin

В статті на основі загальної методики варіаційного числення виконано математичну постановку в загальному вигляді процесу керування моторвагонним рухомим складом залізниць у випадку відставання від графіка руху. Побудова системи автоведення рухомого складу на основі запропонованої математичної моделі дає змогу раціонально мінімізувати відставання від графіка руху з оптимальними витратами первинного енергоносія.

Ключові слова: графік руху, керування, моторвагонний рухомий склад, маршрутна карта, система автоведення, оптимальні енерговитрати.

В статье на основе общей методики вариационного исчисления выполнена математическая постановка в общем виде процесса управления моторвагонным подвижным составом железных дорог в случае отставания от графика движения. Построение системы автоведения подвижного состава на основе предложенной математической модели позволяет рациональным образом минимизировать отставание от графика движения с оптимальными затратами первичного энергоносителя.

Ключевые слова: график движения, управление, моторвагонный подвижной состав, маршрутная карта, система автоведения, оптимальные энергозатраты.

The task execution schedule is one of the priority, since the quality of its decisions ensure the safety of movement, more efficient use of rolling stock, freight and road capacity, enhancing customer service and has important economic and social importance. Therefore, the question of overcoming deviations from the schedule of movement with optimal energy consumption during this requires a precise mathematical definition. Depending on the circumstances - the variance of the true weights of the rolling stock of settlement, presence of a strong counter or side winds, road condition, failure running time outstrip, infringement of the schedule of suburban trains for boarding and disembarkation of passengers through the overcrowded trains by the issuance depo trains not full line and off-schedule cancellation of suburban trains, delay trains passed by the place of repair work on the stretch, and other factors, the possible deviation from the planned schedule. In consequence of this, it is necessary to carry out the adjustment values of the average velocity EMU-train to execute a defined timetable. In article on the basis of common methods of variational calculus, mathematical formulation of the General management process railcar rolling stock of Railways in the case backlog from the schedule. The build avtodriving system rolling stock on the basis of the proposed mathematical model allows rational way to minimize delays in the schedule of movement with optimal costs primary source of energy.

Keywords: schedule management, railcar rolling stock, route map, avtodriving system, optimal energy consumption.

Вступ. У залежності від певних обставин розрахункового, наявності сильного відхилення істинного значення ваги зустрічного або бокового вітру, стану колії, моторвагонного рухомого складу від недотримання часу ходу перегонном, порушення

розкладу приміських поїздів при посадці-висадці пасажирів через перенаселеність поїзда внаслідок видачі з депо поїздів неповним складом та позапланової відміни приміських поїздів, затримки проходження поїздів за місцем ремонтних робіт на перегоні та інших факторів, можливе відхилення від запланованого графіка руху. Внаслідок цього необхідно проводити корегування величини середньої швидкості руху моторвагонного поїзда для виконання встановленого графіка руху [1-5], що є актуальним завданням для залізничної галузі.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Оновлення та модернізація залізничного парку на основі сучасних наукових підходів є основою виконання завдань «Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2015 роки» (Постанова Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1390). При цьому в ній важливу увагу приділено питанню підвищення рівня реалізації технології перевізного процесу та якості роботи, основним показником якого є

виконання нормативних перевізних вимог та графіка руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню процесу оптимізації параметрів руху та управління процесом тяги при цьому присвячено багато робіт [6-10], що підтверджує актуальність даної тематики. Проте на сьогодні відсутня чітка математична послідовність визначення раціонального способу подолання відставання від графіка руху з оптимальними витратами енергоносіїв для цього процесу.

Визначення мети та завдання дослідження. Завданням даної статті є побудова раціонального алгоритму визначення способу керування тягою для забезпечення подолання відхилення від графіка руху з оптимальними витратами палива.

Метою є математичний опис процесу керування моторвагонним рухомим складом у випадку відхилення від графіка руху.

Основна частина дослідження. Розглянемо ділянку маршрутної карти руху моторвагонного рухомого складу від точки з координатами (t_2, S_2) до точки (t_2^*, S_2^*) (рис. 1).

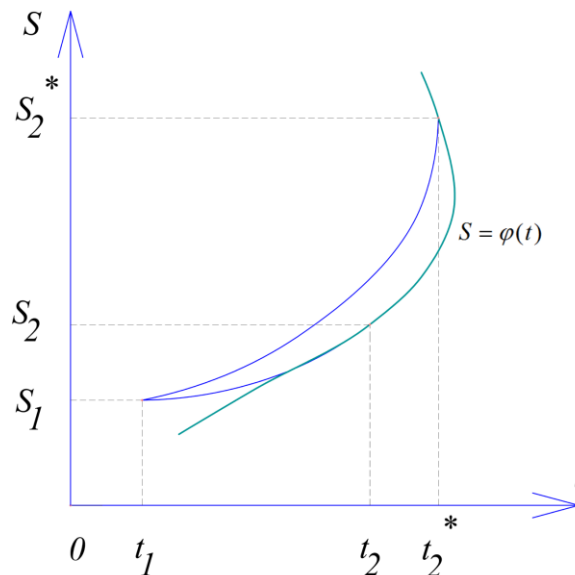


Рис. 1. Геометричне місце для переходу між межевими умовами при зміні верхньої межевої умови маршрутної карти руху поїзда

Розглянемо випадок, за якого система автоведення поїзда фіксує ще в процесі руху відставання від маршрутної карти руху та

змінюючи керування тяговою електропередачею здійснюється ліквідація відставання, тобто поїзд приїжджає в потрібний пункт

призначення на маршрутній карті з відхиленням за часом у межах $\Delta t_2 = t_2 - t_2^*$. Причому будемо вважати, що зміна керування тяговою електропередачею була оптимальною з огляду на об'єктивні умови руху, тобто подальша корекція керування не знадобилась і за даного керування тяговою електропередачею, тобто при підтримці його до моменту досягнення точки з координатою (t_2^*, S_2^*) , виконалось співвідношення $S_2 = S_2^*$.

Перше рівняння Ейлера-Лагранжа [11-15] для даного випадку можна записати таким чином:

$$\frac{S \cdot t'}{\sqrt{(t')^2 + (S')^2}} = D, \quad (1)$$

де D - значення параметра, за якого виконуються умови проходження екстремалі та геометричного місця межових умов руху поїзда через точку з координатою (t_2^*, S_2^*) .

Тоді друге рівняння Ейлера-Лагранжа [11-15] для даного випадку записане таким чином:

$$\frac{d}{dt} \frac{S \cdot S'}{\sqrt{(t')^2 + (S')^2}} - \sqrt{(t')^2 + (S')^2} = 0, \quad (2)$$

показує, що прямі типу $S = \text{const}$ не можуть бути екстремаліями.

Що стосується прямих типу $t = \text{const}$, то вони, вочевидь, можуть бути екстремаліями.

Виконаємо підстановку

$$S \frac{dt}{dL} = 0, \quad (3)$$

де L - довжина дуги від точки з координатами (t_2, S_2) до точки (t_2^*, S_2^*) .

Інтегральними кривими, що відрізняються від прямих виду $t = \text{const}$, є ланцюгові лінії

$$S = D \cdot \text{ch} \left(\frac{t - B}{D} \right), \quad (4)$$

де B - константа інтегрування.

Перш за все перевіримо, чи можна через точки з координатами (t_2, S_2) та (t_2^*, S_2^*) провести криву сімейства (4). Фактично дане питання зводиться до вирішення питання про можливість розв'язання рівняння

$$D \cdot \text{ch} \left(\frac{1}{D} \right) = S_2 \quad (5)$$

відносно D .

Для вирішення останнього питання побудуємо графік виду

$$\varphi(D) = D \cdot \text{ch} \left(\frac{1}{D} \right) \quad (6)$$

для зони $D > 0$, що відповідає умовам нашої задачі.

Враховуючи, що

$$\varphi'(D) = \text{ch} \left(\frac{1}{D} \right) - \frac{1}{D} \cdot \text{sh} \left(\frac{1}{D} \right), \quad (7)$$

і відповідно

$$\varphi''(D) = \frac{1}{D^3} \cdot \text{ch} \left(\frac{1}{D} \right), \quad (8)$$

де справедливою є нерівність

$$\frac{1}{D^3} \cdot \text{ch} \left(\frac{1}{D} \right) > 0, \quad (9)$$

то графік напрямлено вгнutoю частиною вгору (рис. 2).

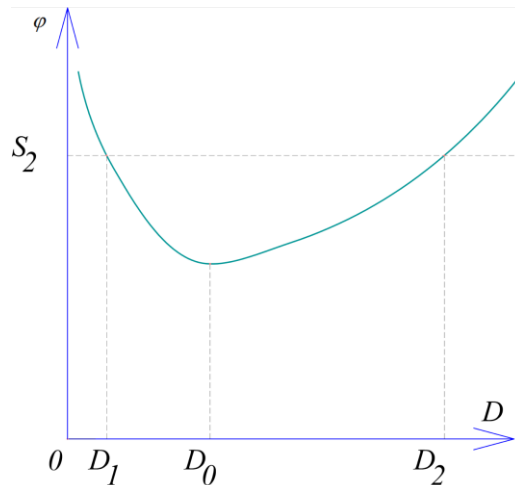


Рис. 2. Геометричне місце точок, що відповідають рівнянню $\varphi(D) = D \cdot \operatorname{ch}\left(\frac{1}{D}\right)$

Припустімо, що функція $\varphi(D)$ має мінімум у точці D_0 . Тоді D_0 визначається як корінь рівняння [16]

$$\chi = \operatorname{th}\left(\frac{1}{\chi}\right). \quad (10)$$

За (10) матимемо, що $D_0 = 0,83355$.

При цьому

$$\varphi(D_0) = \min \varphi(D) = \frac{D_0}{\sqrt{1 - D_0^2}} = 1.5127. \quad (11)$$

У випадку, коли $S_2 < \varphi(D_0)$, екстремалей, що проходять через точки з координатами (t_2, S_2) та (t_2^*, S_2^*) , немає.

При $S_2 = \varphi(D_0)$ існує одна екстремаль, що з'єднує точки з координатами (t_2, S_2) та (t_2^*, S_2^*) .

При $S_2 > \varphi(D_0)$ таких екстремалей буде дві. У цьому випадку отримаємо два значення параметра D : меншому з них – D_1 – буде відповідати більш низька ланцюгова лінія, а більшому з них – D_2 – більш висока ланцюгова лінія.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.

1. Таким чином, у ході проведеного дослідження виконано математичне визначення геометричного місця точок, що відповідають

екстремалі процесу керування моторвагонною одиницею рухомого складу для випадку відставання від графіка руху.

2. Використання математичного апарату теорії варіаційного числення для тягових задач дає змогу визначати раціональні способи керування з оптимальними енерговитратами з огляду на оптимальний розподіл функції керування тяговим процесом відповідно до основних задач варіаційного числення.

3. На основі запропонованих математичних співвідношень можлива подальша побудова системи автоведення для вказаної ситуації подолання відхилення від графіка руху.

4. Окремо потребують вирішення ситуації $S_2 = \varphi(D_0)$ та $S_2 > \varphi(D_0)$, що становить інтерес для дослідження процесу оптимізації керування рухом моторвагонного поїзда.

Список використаних джерел

1. Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України, затверджена наказом Укрзалізниці від 05.04.2002 № 170-Ц.
2. Інструкція про порядок надання і використання вікон у графіку руху поїздів для ремонтних і будівельних робіт на залізницях України, затверджена наказом Укрзалізниці від 13.03.2000 № 96-Ц.
3. Інструкція з оперативного планування поїзної і вантажної роботи на залізницях України, затверджена наказом Укрзалізниці від 15.12.2004 № 969-ЦЗ.
4. Інструкція з руху поїздів та маневрової роботи, затверджена наказом Міністерства транспорту України від 31.08.2005 № 507.
5. Інструкція з ведення графіка виконаного руху поїздів на залізницях і дирекціях залізничних перевезень, затверджена наказом Укрзалізниці від 17.12.2008 № 544-Ц.
6. Гетьман, Г.К. Научные основы определения рационального мощностного ряда тяговых средств железнодорожного транспорта [Текст]: монография / Г.К. Гетьман [Днепропетровский нац. ун-т ж.-д. трансп.]. – Днепропетровск: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп., 2008. – 444 с.
7. Моделирование электромеханической системы электровоза с асинхронным тяговым приводом [Текст] / Е.М. Плохов, Ю.А. Бахвалов, А.А. Зарифьян, В.П. Кашников. – М.: Транспорт, 2001. – 286 с.
8. Логвінова, Н.О. Зменшення експлуатаційних витрат за допомогою енергооптимального руху поїздів [Текст] / Н.О. Логвінова, Д.О. Босий, О.М. Полях // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2012. – Вип. 42. – С. 110-113.
9. Гетьман, Г.К. Теория электрической тяги [Текст]: монография; в 2 т. / Г.К. Гетьман. – Днепропетровск: Изд-во Маковецкий, 2011. – Т. 2. – 363 с.
10. Петров, Ю.П. Оптимальное управление движением транспортных средств [Текст] / Ю.П. Петров. – Л.: Энергия, 1969. – 96 с. – Библиотека по автоматике; вып. 373.
11. Методы классической и современной теории управления [Текст]. В 5 т. Т. 4. Теория оптимизации систем автоматического управления / [под ред. Н.Д. Егупова, К.А.Пупкова]. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 744 с.
12. Gelfand I. M. Calculus of Variations [Текст] / I. M. Gelfand, Izrail Moiseevitch Gelfand, S. V. Fomin. – Courier Dover Publications, 2000 – 232 P.
13. Cassel Kevin W. Variational Methods with Applications in Science and Engineering [Текст] / Cassel Kevin W. – Cambridge University Press, 2013. – 432 P.
14. Lebedev L. P. The Calculus of Variations and Functional Analysis with Optimal Control and Applications in Mechanics [Текст] / Lebedev L. P., Cloud M. J. – World Scientific, 2003. – 436 P.
15. Logan J. David. Applied Mathematics [Текст] / Logan J. David. – 3rd Ed. – Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, 2006. – 546 P.
16. Корн, Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. – 832 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор П.Д. Андрієнко

Кулагін Дмитро Олександрович, канд. техн. наук, доцент, докторант, кафедра електропостачання промислових підприємств Запорізького національного технічного університету. Тел.: (061) 769-82-81.
E-mail: nemix123@rambler.ru.

Kulagin Dmitro Oleksandrovich, Candidate of Science (Engineering), PhD student, associate Professor, Senior Lecturer of the Department «Electrosupply of the industrial enterprises of Zaporozhye national technical University. Tel.: (061) 769-82-81. E-mail: nemix123@rambler.ru.

УДК 621.436

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЇ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ

Канд. техн. наук К.В. Астахова

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ КОНСТРУКЦИИ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВАЛОВ ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Канд. техн. наук К.В. Астахова

ANALYSIS OF CONSTRUCTION FEATURES AND FUNCTIONING OF CAMSHAFTS DIESEL POWER PLANTS

Cand. of techn. science K. Astakhova

В роботі подано результати досліджень, спрямованих на визначення особливостей конструкції та функціонування розподільних валів енергетичних установок, якими обладнана переважна більшість магістральних тепловозів експлуатаційного парку Укрзалізниці. Отримані схеми формування навантажень, що діють на елементи конструкції розподільних валів енергетичних установок, дали змогу визначити рівні механічної напруженості в механізмах привода клапанів та навантаження на опорні шийки розподільних валів.

Ключові слова: енергетична установка тепловоза, розподільний вал, кулачковий механізм газорозподілу.

В работе приведены результаты исследований, направленных на определение особенностей конструкции и функционирования распределительных валов энергетических установок, которыми оборудовано подавляющее большинство магистральных тепловозов эксплуатационного парка Укрзалізниці. Полученные схемы формирования нагрузок, действующих на элементы конструкции распределительных валов энергетических установок, позволили определить уровни механической напряженности в механизмах привода клапанов и нагрузки на опорные шейки распределительных валов.

Ключевые слова: энергетическая установка тепловоза, распределительный вал, кулачковый механизм распределения.

The results of studies designed to determine the characteristics of the design and operation of power plants camshafts, which is equipped with the vast majority of diesel locomotives operating Ukrzaliznytsi park. Significant impact on the quality of workflow processes render cylinder gas exchange flow which provide appropriate design mechanisms for timing. Underlying these mechanisms a suitable camshafts. Most power plants camshafts manage traffic intake and exhaust valves and the fuel pump pressure according to the order of the cylinders. The resulting generation circuit loads on structural elements of camshafts power plants, allowed to determine the levels of mechanical stress in the valve operating mechanisms and load bearing cervical camshafts. The level of mechanical tension in the valve drive mechanism, the load on the bearing neck RVs determined by current value of the total force. The analysis results demonstrate the feasibility of the research and development work aimed at improving the camshafts and timing mechanisms in general.

Keywords: diesel engine, camshaft, cam timing.

Постановка проблеми і аналіз останніх досліджень у напрямку її вирішення. Відповідно до основних положень Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року (схвалена розпорядженням Кабінету

Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1555-р) і Програми оновлення локомотивного парку залізниць України (затверджена Постановою КМУ № 840 від 01.08.2011 р.), пріоритетом в оновленні тягового рухомого

складу (ТРС) є забезпечення залізниць України парком ТРС переважно нового покоління. Це надасть змогу покращити техніко-економічні показники діяльності залізничного транспорту, поліпшити безпеку та зручність перевезень, підвищити конкурентоспроможність залізниць України і суттєво підвищити ефективність роботи галузі.

В той же час оперативне оновлення залізничного рухомого складу ускладнюється необхідністю витрат дуже великих обсягів коштів. Тому при поетапному (поступовому) вирішенні такої проблеми набувають актуальності роботи, спрямовані на зниження витрат на ремонт і утримання наявного ТРС.

Суттєвий обсяг вантажних і пасажирських перевезень на мережах залізниць України, а також маневрової роботи на підприємствах залізничного транспорту та промисловості виконується тепловозами. На цей час на залізницях України експлуатуються магістральні тепловози серій 2ТЕ116, 2М62, М62, ТЕП70, ТЕП150, 2ТЕ10 [1, 2]. Їх техніко-економічні показники в основному визначаються експлуатаційними характеристиками енергетичних установок.

Тепловози серій М62 і 2М62 обладнані енергетичними установками тепловозів (ЕУТ) з V-подібним двотактним дванадцятициліндровим дизелем 14Д40 [3]. На тепловозах ТЕП70 і 2ТЕ116 встановлені ЕУТ з V-подібними чотиритактними дизелями Д49 [4, 5]. Винятком є незначна кількість тепловозів 2ТЕ116 з V-подібними чотиритактними дизелями типу Д80 [6].

Відомо, що значний вплив на якість робочого процесу в циліндрах справляють процеси газообміну, протікання яких забезпечується відповідними конструкціями механізмів газорозподілу. В основі таких механізмів використовуються відповідні розподільні вали (РВ), тому одним з перспективних напрямків вирішення завдань щодо поліпшення техніко-економічних показників ЕУТ є удосконалення конструкції розподільних валів за умов забезпечення якісних експлуатаційних характеристик. Це потребує аналізу особливостей їх конструкції та функціонування у складі ЕУТ.

Мета статті і виклад основного матеріалу. У статті наведено опис результатів досліджень, спрямованих на визначення

особливостей конструкції і функціонування розподільних валів енергетичних установок тепловозів, якими обладнана переважна більшість магістральних тепловозів експлуатаційного парку Укрзалізниці.

У конструкцію двотактної V-подібної енергетичної установки з дизелем Д40 з прямоточно-клапанним продуванням входить один розподільний вал з тангенціальними кулачками, кожен з яких управляє випускними клапанами правого і лівого циліндра відповідного циліндрового модуля [3, 7].

Кулачки виконані за одне ціле з розподільним валом. Рівень механічної напруженості в механізмі привода клапанів, навантаження на опорні шийки РВ визначається поточними величинами сумарних сил $F_{\Sigma П}$ і $F_{\Sigma Л}$ – сил тиску на кулачок відповідного циліндрового модуля від роликів штовхачів відповідно циліндрів правого і лівого рядів (рис. 1).

$$F_{\Sigma П,Л} = F_{Г_{П,Л}} + F_{ПР_{П,Л}} + F_{ІН_{П,Л}}, \quad (1)$$

де $F_{Г_{П,Л}}$ – зведені до кулачка загальні сили газів у циліндрах правого і лівого рядів, що діють на тарілки випускних клапанів;

$F_{ПР_{П,Л}}$ – зведені до кулачка загальні сили клапанних пружин циліндрів правого та лівого рядів;

$F_{ІН_{П,Л}}$ – зведені до кулачка загальні інерційні навантаження від прискореного руху деталей КМГР циліндрів правого та лівого рядів.

В більшості чотиритактних ЕУТ, що встановлені на ТРС Укрзалізниці, розподільні вали здійснюють управління рухом випускних (ВПК) і випускних (ВИПК) клапанів, а також роботою паливного насоса високого тиску (ПНВТ) відповідно до порядку роботи циліндрів.

В конструкцію V-подібної енергетичної установки тепловоза з дизелем Д80 входить два РВ – лівий та правий [3, 7]. За одне ціле з розподільними валами виконані паливні і тангенціальні газорозподільні кулачки для кожного циліндра відповідного ряду.

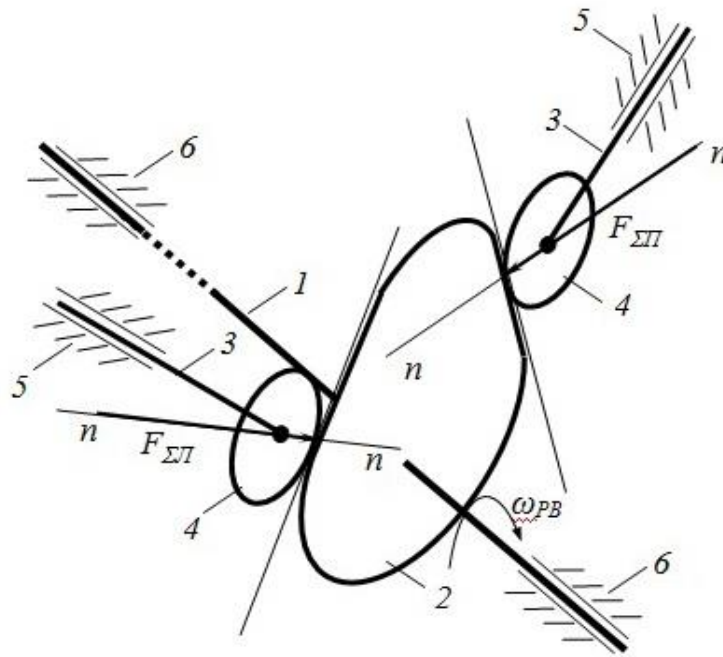


Рис. 1. Формування навантажень, діючих на елементи конструкції РВ енергетичної установки тепловоза з дизелем Д40: 1 – розподільний вал; 2 – кулачок; 3 – штовхачі; 4 – ролики штовхачів; 5 – напрямні штовхачів; 6 – опори РВ

Рівні механічної напруженості в механізмах привода ПНВТ, впускних і випускних клапанів, навантаження на опорні шийки кожного з РВ визначаються величинами таких сил (рис. 2):

$F_{ПНВТ}$ – діюча на паливний кулачок сила тиску ролика штовхача ПНВТ (визначається величиною поточних тисків палива в надплунжерному просторі);

$F_{\Sigma ВП}$ – діюча на кожний впускний кулачок сила тиску ролика штовхача механізму привода ВПК;

$$F_{\Sigma ВП} = F_{ПР} + F_{ІН}, \quad (2)$$

де $F_{ПР ВП}$ – зведена до кулачка сила клапанних пружин ВПК;

$F_{ІН ВП}$ – зведене до кулачка загальне інерційне навантаження від прискореного руху ланок механізму привода ВПК;

$F_{\Sigma ВПП}$ – діюча на кожний випускний кулачок сила тиску ролика штовхача механізму привода ВІПК;

$$F_{\Sigma ВПП} = F_{Г} + F_{ПР ВПП} + F_{ІН ВПП}, \quad (3)$$

де $F_{Г}$ – зведена до кулачка сила тиску газів у відповідному циліндрі, що діє на тарілки ВІПК;

$F_{ПР ВПП}$ – зведена до кулачка сила клапанних пружин ВІПК;

$F_{ІН ВПП}$ – зведене до кулачка загальне інерційне навантаження від прискореного руху ланок механізму привода ВІПК.

В конструкції чотиритактної V-подібної енергетичної установки тепловоза з дизелем Д49 використовується розміщений у лотку один розподільний вал, на якому встановлені паливні і тангенціальні газорозподільні кулачки [3, 7]. Кожен паливний кулачок управляє роботою ПНВТ правого і лівого циліндрів відповідного циліндрового модуля. Кожен газорозподільний кулачок – переміщенням відповідних клапанів правого і лівого циліндрів циліндрового модуля.

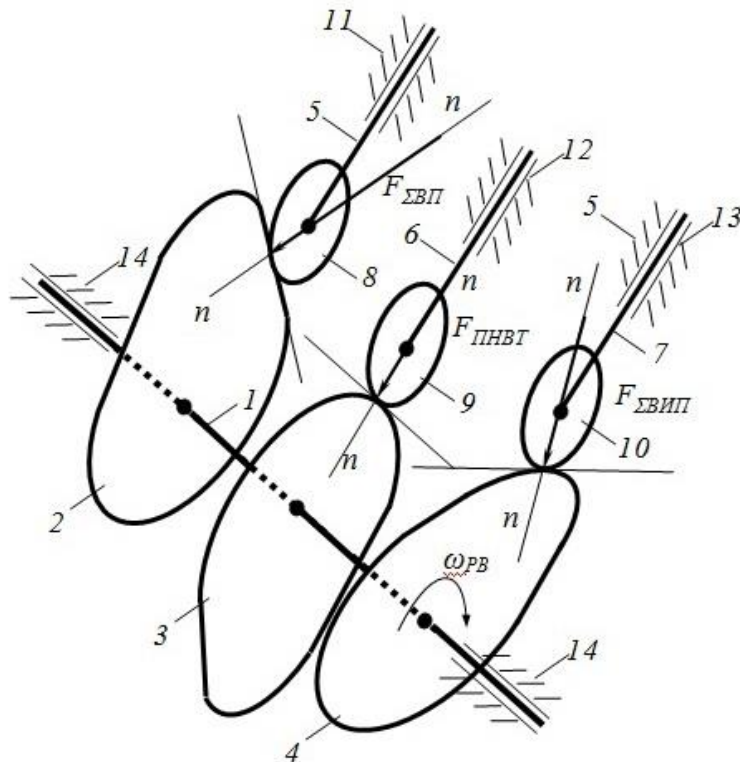


Рис. 2. Формування навантажень, діючих на елементи конструкції правого РВ енергетичної установки тепловоза з дизелем Д80: 1 – розподільний вал; 2 – впускний кулачок; 3 – паливний кулачок; 4 – випускний кулачок; 5...7 – штовхачі; 8...10 – ролики штовхачів; 11...13 – напрямні штовхачів; 14 – опори РВ

Рівні механічної напруженості в механізмах привода ПНВТ, впускних і випускних клапанів, навантаження на опорні шийки кожного з РВ визначаються величинами таких сил (рис. 3) [7]:

$F_{ПНВТ}^{PP}$, $F_{ПНВТ}^L$ – діючі на кожний паливний кулачок сили тиску роликів штовхачів ПНВТ правого та лівого циліндрів (визначаються величиною поточних тисків палива в надплунжерному просторі);

$F_{\Sigma ВП}^{PP}$, $F_{\Sigma ВП}^L$ – діючі на кожний впускний кулачок сили тиску ролика штовхача механізмів привода ВПК правого та лівого циліндрів;

$$F_{\Sigma ВП}^{PP,L} = F_{ПНВТ}^{PP,L} + F_{IH ВП}^{PP,L}, \quad (4)$$

де $F_{ПНВТ}^{PP,L}$ – зведені до кулачка сили клапанних пружин ВПК правого та лівого циліндрів;

$F_{IH ВП}^{PP,L}$ – зведені до кулачка загальні інерційні навантаження від прискореного руху ланок механізму привода ВПК правого та лівого циліндрів;

$F_{\Sigma ВВП}^{PP}$, $F_{\Sigma ВВП}^L$ – діючі на кожний випускний кулачок сили тиску ролика штовхача механізмів привода ВІПК правого та лівого циліндрів;

$$F_{\Sigma ВВП}^{PP,L} = F_{\Gamma}^{PP,L} + F_{ПНВТ}^{PP,L} + F_{IH ВВП}^{PP,L}, \quad (5)$$

де F_{Γ} – зведені до кулачка сили тиску газів, що діють на тарілки ВІПК правого та лівого циліндрів;

$F_{ПНВТ}^{PP,L}$ – зведені до кулачка сили клапанних пружин ВІПК правого та лівого циліндрів;

$F_{IH_{ВИП}}^{ПР,Л}$ – зведені до кулачка загальні інерційні навантаження від прискореного руху

ланок механізму привода ВИПК правого та лівого циліндрів.

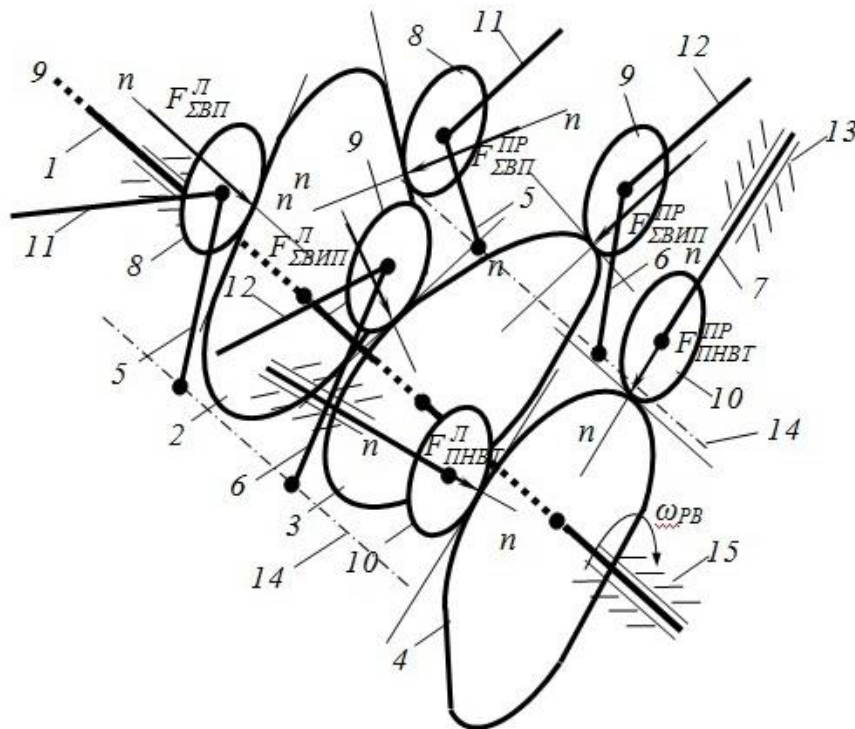


Рис. 3. Формування навантажень, діючих на елементи конструкції РВ енергетичної установки тепловоза з дизелем Д49: 1 – розподільний вал; 2 – впускний кулачок; 3 – випускний кулачок; 4 – паливний кулачок; 5 – коромислові штовхачі привода ВПК; 6 – коромислові штовхачі привода ВИПК; 7 – штовхач ПНВТ; 8...10 – ролики штовхачів; 11 – штанги привода ВПК; 12 – штанги привода ВИПК; 13 – напрямні штовхачів ПНВТ; 14 – осі коромислових штовхачів; 15 – опора РВ

Висновки з дослідження і перспективи використання. Аналіз поданих матеріалів щодо формування навантажень на елементи конструкції розподільних валів (рис. 1, 2, 3) засвідчив, що найбільш навантаженими в експлуатації магістральних тепловозів є розподільні вали ЕУТ Д49.

З урахуванням того, що тепловози, які обладнано енергетичними установками з

V-подібними чотиритактними дизелями Д49, складають понад 50 % експлуатаційного парку магістральних тепловозів Укрзалізниця, є доцільним проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, спрямованих на удосконалення розподільних валів та механізмів газорозподілу в цілому, в тому числі і за рахунок удосконалення технології їх проектування та ремонту.

Список використаних джерел

1. Боднар, Б.Є. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування [Текст]: підруч. для ВНЗ залізнич. трансп. / Б.Є. Боднар, Є.Г. Нечаєв, Д.В. Бобир; за ред. д-ра тех. наук, проф. Б.Є. Боднара. – Дніпропетровськ: ПП «Ліра ЛТД», 2010. – 358 с.
2. Луганские тепловозы 1956-2006 [Текст]: каталог-справочник. – Луганск: ОАО «ХК «Лугансктепловоз», 2006. – 538 с.

3. Володин, Л.И. Локомотивные энергетические установки [Текст]: учебник для вузов ж.-д. трансп. / Л.И. Володин, В.З. Зюбанов, В.Д. Кузьмич и др.; под ред. А.И. Володина. – М.: ИПК «Желдориздат», 2002. – 718 с.
4. Филонов, С.П. Тепловоз 2ТЭ116 [Текст] / С.П. Филонов, А.И. Гибалов, В.Е. Быковский и др. – 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1985. – 328 с.
5. Быков, В.Г. Пассажирский тепловоз ТЭП70 [Текст] / В.Г. Быков, Б.Н. Морошкин, Г.Е. Серделевич, Ю.В. Хлебников, В.М. Ширяев. – М.: Транспорт, 1976. – 232 с.
6. Будённый, М.М. Новые двигатели Д-80 для тепловозов [Текст] / М.М. Буденный, Н.И. Сергиенко // Залізничний транспорт України. – 2001. - № 1. – С. 30-32.
7. Симсон, А.Э. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания [Текст] / А.Э. Симсон, А.З. Хомич, А.А. Куриц и др. – М.: Транспорт, 1987. – 536 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор О.В. Устенко

Астахова Ксенія Вікторівна, канд. техн. наук, доцент кафедри механіки і проектування машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-52. E-mail: kseniya.astakhova@gmail.com.

Astakhova Kseniya Viktorivna, cand. of techn. science, lecturer, department Mechanics and Machine Design, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-52. E-mail: kseniya.astakhova@gmail.com.

УДК 629.4.033:62-233.3/.9

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗНОСУ ТЯГОВИХ ЗУБЧАТИХ ПЕРЕДАЧ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ СЕРІЇ ЕР-2

Канд. техн. наук. С. В. Бобрицький

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗНОСА ТЯГОВЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ СЕРИИ ЭР-2

Канд. техн. наук. С. В. Бобрицкий

RESEARCH OF FEATURES OF WEAR OF TRACTION TOOTH GEARINGS OF ELECTRIC TRAINS OF THE ER-2 SERIES

Candidate of techn. sciences S. Bobritskiy

Зазначено, що знос зубчатих коліс негативно впливає на роботу всього колісно-моторного блока і тягового електродвигуна, зокрема. Обґрунтовано необхідність проведення досліджень особливостей зносу тягових зубчатих передач в експлуатації. Подано результати дослідження з виділенням основних груп шестерень та зубчатих коліс у залежності від зносу їх зубців за хордою ділільного кола. Наведено приклади знімків зубців шестерень та зубчатих коліс відповідних груп.

Ключові слова: рухомий склад, електропоїзд ЕР-2, тягова зубчата передача, зубчаті колеса, знос зубців.

Указано, что износ зубчатых колес отрицательно влияет на работу всего колесно-моторного блока и тягового электродвигателя, в частности. Обоснована необходимость проведения исследований особенностей износа тяговых зубчатых передач в эксплуатации. Представлены результаты исследования с выделением основных групп шестерен и зубчатых колес в зависимости от износа их зубьев по хорде делительной окружности. Приведены примеры снимков зубьев шестерен и зубчатых колес соответствующих групп.

Ключевые слова: подвижной состав, электропоезд ЭР-2, тяговая зубчатая передача, зубчатые колеса, износ зубьев.

In articles the statistics of malfunctions of gear wheels and cogwheels of traction tooth gearings of a rolling stock is analysed. It is found out that their majority in operation is rejected because of achievement of limit wear of teeths on a chord of a delitelny circle. The errors of gear gearing caused by wear of teeths of gear wheels and cogwheels, uneven demolition of their profiles, lead to change of characteristics of gearing in comparison with a new tooth gearing that negatively influences operation of all wheel and motor block and, in particular, the traction electric motor. Need of carrying out researches of features of wear of traction tooth gearings for operation is proved. Results of research with allocation of the main groups of gear wheels and cogwheels depending on wear on a chord of a delitelny circle are presented. Examples of pictures of teeths of gear wheels and cogwheels of the relevant groups are given.

Keywords: rolling stock, electric train of ER-2, traction tooth gearing, cogwheels, wear of teeths.

Вступ. Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Відповідно до основних положень Програми оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012-2016 роки (Постанова Кабінету Міністрів України № 840 від 01.08.2011 р.) одним з пріоритетних напрямків розвитку залізниць є підвищення експлуатаційної надійності ТРС. При цьому особлива роль відводиться забезпеченню необхідних характеристик його окремих модулів конструкції та агрегатів. Однією із складових частин конструкції ТРС, що безпосередньо впливає на безпеку руху, є екіпажна частина, до складу якої входить тяговий привод з тяговою зубчатою передачею (ТЗП) (складається із шестерні, вал якої через муфту з'єднується з валом ротора тягового електродвигуна, і зубчатого колеса колісної пари).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз публікацій [1-4] показав, що більшість шестерень і зубчатих коліс бракується в експлуатації через граничний знос зубців. До того ж у шестерень знос досягає допустимої величини значно швидше, ніж у зубчатих коліс [5].

Похибки зубчатого зачеплення, обумовлені зносом зубців шестерень та зубчатих коліс, нерівномірним зносом їх профілів, призводять до зміни характеристик зачеплення в порівнянні з новою ТЗП [6]. Так, зі збільшенням строку служби передачі число відмов, пов'язаних, головним чином, з механічними пошкодженнями тягових електродвигунів (ТЕД), збільшується. При цьому зі збільшенням пробігу пошкодження деталей набувають яскраво виражений утомний характер. Це свідчить про тривалу дію високочастотних динамічних навантажень, яка

згубно позначається на працездатності таких елементів ТЕД, як ізоляція якірних і полюсних обмоток, якірних підшипників, виводів та перемичок головних та додаткових полюсів тощо [7].

Наведене вище обґрунтовує необхідність більш детального вивчення питань зносу ТЗП.

Визначення мети та задачі дослідження. Основна частина дослідження. Стаття направлена на дослідження особливостей зносу ТЗП електропоїздів серії ЕР-2.

У ході дослідження на базі моторвагонного депо «Харків» у період з 2007 по 2011 роки були обстежені шестерні та зубчаті колеса, що були в експлуатації. На основі візуального вивчення стану робочої поверхні їх зубців були виділені основні групи:

– група 1. Шестерні та зубчаті колеса, які мали пошкодження зубців (сколи, пітинг, тріщини, відколювання окремих зубців або сегмента з декількома зубцями);

– група 2. Шестерні та зубчаті колеса, зубці яких виявились без пошкоджень, а стан їх профілю характеризувався тільки зносом.

На наступному етапі дослідження були виключені з подальшого розгляду шестерні та колеса групи 1 як такі, що не відповідають вимогам [8].

Зубці шестерень та зубчатих коліс, які належали до групи 2, обстежувались відповідно до розробленого методу [9], в основу якого покладене отримання знімків зубців, отримання їх цифрових версій і аналіз зносу зубців. Аналіз засвідчив, що частина шестерень та зубчатих коліс групи 2 виявилась з бракувальним зносом, який відповідно до правил технічного обслуговування і поточного ремонту електропоїздів і електросекцій за хордою ділильного кола складає: для шестерень – 3,39 мм, для зубчатих коліс – 5,28 мм. Приклади їх знімків наведені на рис. 1.

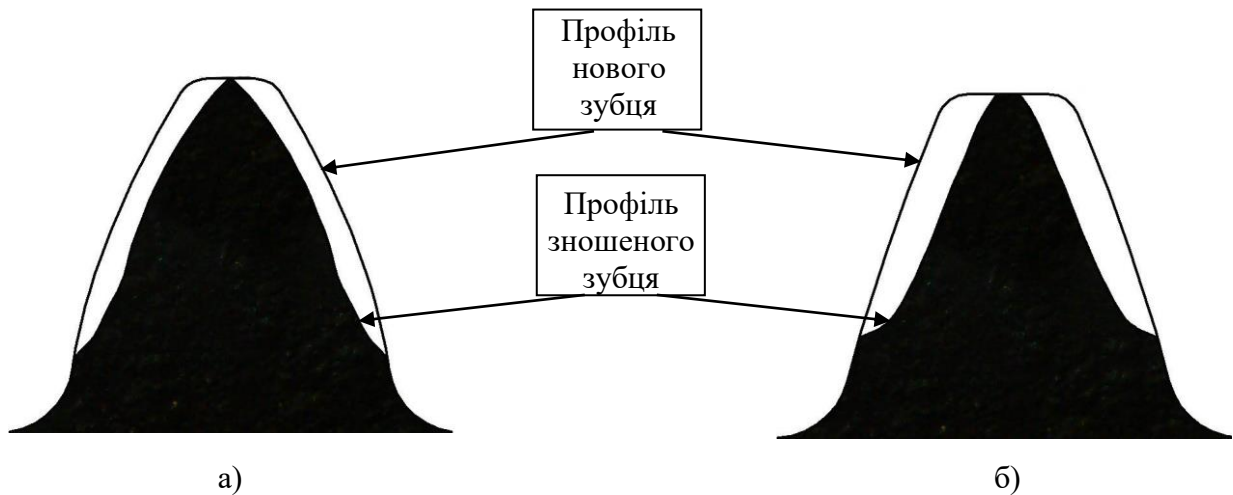


Рис. 1. Знімки профілів зубців з бракувальним зносом:
а – шестерні (знос 3,35 мм); б – зубчатого колеса (знос 5,38 мм)

У процесі дослідження основна увага приділялась зубцям шестерень та зубчатих коліс групи 2, які можуть застосовуватися для подальшої експлуатації в складі ТЗП. Серед них можна виділити:

- шестерні та зубчаті колеса із зносом у межах допустимих значень (шестерні із зносом за хордою ділительного кола більше 0 мм і менше 3,39 мм; зубчаті колеса - більше 0 мм і менше 5,28 мм);

- шестерні та зубчаті колеса, в яких наявна значна хвилястість контактуючих поверхонь.

Приклади знімків зубців указаних вище шестерень та зубчатих коліс наведені на рис. 2,3.

За результатами обмірів для шестерні та зубчатого колеса, що зображені на рис. 3, товщина зубців за хордою ділительного кола становить відповідно 17,16 та 13,58 мм.

За результатами обмірів для шестерні та зубчатого колеса, що зображені на рис. 3, товщина зубців за хордою ділительного кола становить відповідно 17,02 та 18,46 мм при нерівномірному зносі профілю.

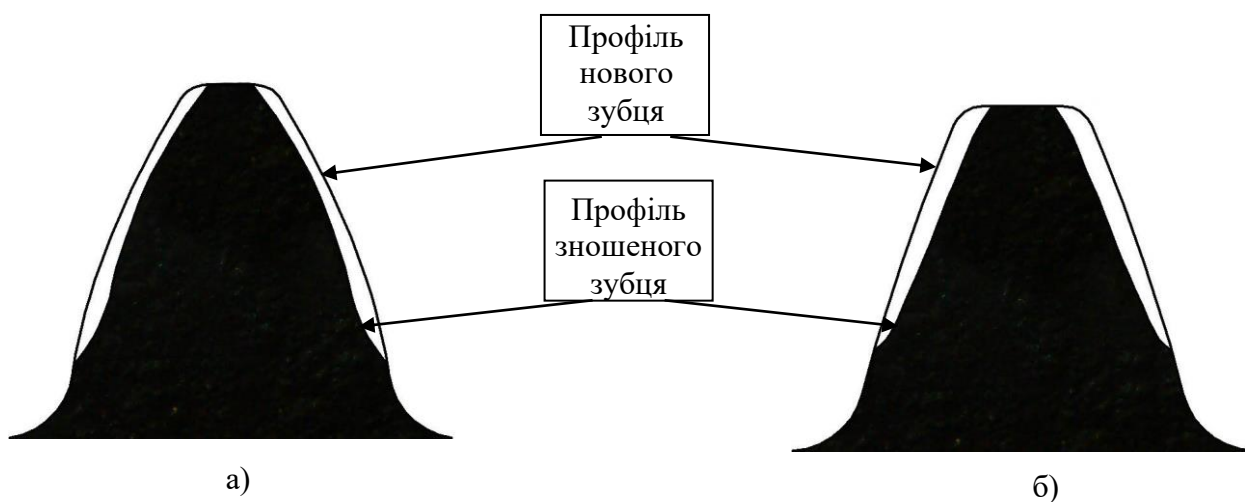


Рис.2. Знімки профілів зубців з допустимим зносом:
а – шестерні (знос 1,87 мм); б – зубчатого колеса (знос 2,9 мм)

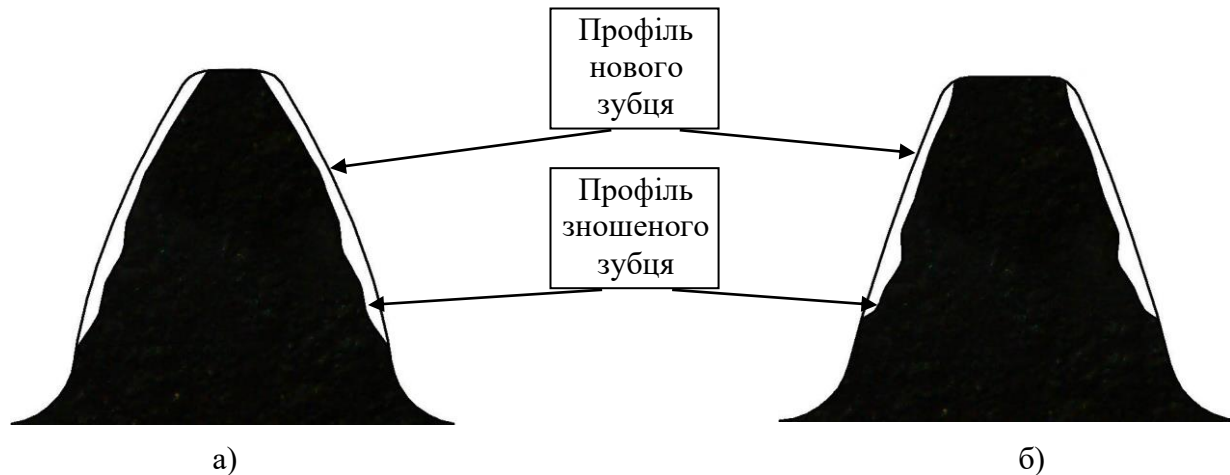


Рис. 3. Знімки профілів зубців з нерівномірним зносом:
а – шестерні; б – зубчатого колеса

Висновки з дослідження. Висвітлені особливості зносу ТЗП електропоїздів серії ЕР-2 показали, що можливе виділення таких груп зубців: з пошкодженнями, з бракувальним зносом та зносом у межах, встановлених правилами технічного обслуговування та поточного ремонту електропоїздів і

електросекцій, а також зубців з нерівномірним зносом профілю. Наведені в статті матеріали обґрунтовують необхідність проведення робіт з більш детального виділення груп шестерень та зубчатих коліс у залежності від зносу зубців за хордою ділительного кола.

Список використаних джерел

1. Генкин, М.Д. Динамика и качество зубчатых передач [Текст] / М.Д. Генкин // Надежность и качество зубчатых передач. – М.: НИИМАШ, 1969. – С. 10-17.
2. Калихович, В.Н. Тяговые передачи локомотивов: Устройство, обслуживание и ремонт [Текст] / В.Н. Калихович. – М.: Транспорт, 1983. – 111 с.
3. Кучерявая, Т.И. Повышение долговечности ведущих шестерен локомотивов за счет применения метода объемно-поверхностной закалки [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: спец. 05.22.07 "Подвижной состав железных дорог и тяга поездов" / Т.И. Кучерявая. – М.: ВНИИЖТ, 1977. – 22 с.
4. Старченко, В.Н. Исследование надежности, износа и динамики зубчатой тяговой передачи грузовых магистральных тепловозов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.07 "Подвижной состав и тяга поездов" / В.Н. Старченко. – Днепропетровск, 1977. – 22 с.
5. Эстлинг, А.А. Повышение работоспособности тяговых зубчатых передач тепловозов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.07 "Подвижной состав железных дорог и тяга поездов" / А.А. Эстлинг. – СПб., 1995. – 20 с.
6. Бобрицький, С.В. Визначення характеристик зацеплення тягових зубчатих передач з реальними профілями зубців [Текст] / С.В. Бобрицький // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 142. – С.87-91.
7. Повышение надежности тяговых передач тепловозов [Текст] / Н.Н. Каменев, В.С. Авраменко, С.М. Королев, Л.В. Яшина // Железнодорожный транспорт. – 1981. – № 5. – С. 43-46.
8. Правила технічного обслуговування та поточного ремонту електропоїздів і електросекцій [Текст]: ЦТ-0046. – К., 2005. – 320 с.

9. Мороз, В.І. Нова методика визначення експлуатаційних зносів профілів зубців та підбору парних коліс тягових зубчатих передач [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, С.В. Бобрицький // 36. наук. праць Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 117. – С.12-16.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.П. Фалендиш

Бобрицький Сергій Владиславович, канд. техн. наук, кафедра механіки і проектування машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-52.

Bobritskiy Sergiy Vladislavovich candidate of technical sciences, department of Mechanics and planning of machines Ukrainian State Academy of railway transport. Tel.: (057) 730-10-52.

УДК 629.4.027

ОСНОВНИ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЗДВОЄНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПІДШИПНИКІВ КАСЕТНОГО ТИПУ

Канд. техн. наук А.В. Труфанова

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ СДВОЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ КАССЕТНОГО ТИПА

Канд. техн. наук А.В. Труфанова

PROACTIVE INTER-MIDDLEWARE FOR GLOBAL ENTERPRISE RESOURCE INTEGRATION

Cand. of techn. sciences A. Trufanova

Одним з важливих етапів створення буксового вузла нової конструкції є проведення експлуатаційних випробувань для підтвердження показників надійності.

Аналіз світового досвіду конструювання і експлуатації буксових вузлів з підшипниками кочення свідчить, що одним із шляхів підвищення надійності роликових букс може стати застосування підшипників касетного типу.

Проведено аналіз результатів експлуатаційних випробувань здвоєних підшипників касетного типу СВУ в буксах вантажних вагонів.

Ключові слова: буксовий вузол, вантажний вагон, здвоєний циліндричний підшипник, відмова, надійність.

Одним из важных этапов создания буксового узла новой конструкции является проведение эксплуатационных испытаний для подтверждения показателей надежности.

Анализ мирового опыта конструирования и эксплуатации буксовых узлов с подшипниками качения свидетельствует, что одним из путей повышения надежности роликовых букс может стать применение подшипников касетного типа.

Проведен анализ результатов эксплуатационных испытаний сдвоенных подшипников касетного типа СВУ в буксах грузовых вагонов.

Ключевые слова: буксовой узел, грузовой вагон, сдвоенный цилиндрический подшипник, отказ, надежность.

One of the important steps in creating a new axle unit with roller bearings is conducting field tests to confirm reliability.

The current design of axle unit with two cylindrical roller bearings the great landing is unreliable and costly maintenance.

Analysis of international experience of design and operation of the axle unit bearings suggests that one way to improve the reliability Books roller bearings may be made of cassette type. Use of such bearings

in the axle boxes of cars will increase the reliability of the axle unit, switch to the other system maintenance that will reduce the cost of technical maintenance and repair, saving considerable material and human resources, increase the level of traffic safety stitching.

The comparative performance test cars about two-row tapered roller bearings in the test route Ukrzaliznitsi Rokovata-Uzhgorod in real exploitation in the railway network in Ukraine. During the extended operational test failures are not documented cases of axle assemblies with double-row tapered roller bearings, which have caused a non-permissible heating box and uncoupling from the wagon train. According to the test results determined for the reliability and durability of the axle boxes.

On results the tests reliability and longevity of axle bearing boxes indexes are certain.

The analysis of the performance testing dual bearings, cassette-type SBU in Buchs freight cars.

Keywords: axle bearing boxes, wagon, dual cylindrical roller bearing, failure, reliability.

Вступ. Одним з важливих етапів створення буксового вузла (БВ) нової конструкції є проведення експлуатаційних випробувань для підтвердження показників надійності.

Існуюча конструкція буксового вузла з двома циліндричними роликовими підшипниками на гарячій посадці має недостатню надійність і потребує значних витрат на технічне обслуговування [1].

Одним із шляхів підвищення надійності роликових букс може стати застосування підшипників касетного типу [2]. Використання подібних підшипників у буксах вагонів дозволить збільшити надійність буксових вузлів, перейти на іншу систему технічного обслуговування, що дозволить скоротити витрати на технічне обслуговування та ремонт, економити значні матеріальні та трудові ресурси, збільшити рівень безпеки руху.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Буксовий вузол є одним із найбільш відповідальних елементів ходових частин вагонів, несправність або відмова якого загрожує безпеці руху поїздів. Частка транспортних подій (відчеплення вагонів через технічні несправності на шляху прямування), що викликані відмовами елементів підшипникових вузлів, склала 64,1 %. Саме відмови буксових вузлів призвели до 2824 випадків відчеплення вагонів і затримки поїздів.

Вирішити визначені вище проблеми можливо шляхом використання буксових вузлів з підшипниковими вузлами нових конструкцій. Одним з варіантів є використання циліндричних підшипників касетного типу СБУ (здвоєний). Використання подібних підшипників у буксах вагонів дозволить

збільшити надійність буксових вузлів, перейти на принципово іншу систему технічного обслуговування, що дозволить скоротити витрати на технічне обслуговування та ремонт, економити значні матеріальні і трудові ресурси, збільшити рівень безпеки руху, тобто циліндричні підшипники касетного типу СБУ (здвоєні) призначені для використання в буксах вагонів з метою підвищення їхньої надійності та безвідмовності, збільшення міжремонтних циклів для букс, зменшення кількості зламів шийок осей, збільшення рівня безпеки руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням забезпечення надійності БВ вагонів в експлуатації завжди приділялася особлива увага, оскільки від їх безвідмовної роботи безпосередньо залежить безпека руху потягів. За даними УЗ, кількість відчеплень вагонів через надмірний нагрів роликових букс, який був виявлений дистанційними приладами контролю, коливається у широких межах: від 352 випадків у 1995 р. до 33 випадків у 2012 р. Але до цієї кількості необхідно додати випадки виявлення підвищеного нагріву роликових підшипникових вузлів за зовнішніми ознаками оглядачами вагонів. У 2011 р. ця кількість складала 1122 вагони, у 2012 р. – 1437 вагонів (рис. 1).

Низька надійність буксових вузлів вантажних вагонів підтверджується як дослідженнями ще за часів СРСР [3], так і в роботах сучасних авторів [4, 5].

Причини низької надійності роликових букс з циліндричними підшипниками наведені в статті [6]. На буксові підшипники під час руху діють радіальні та осьові сили. Слід зазначити, що величина і характер дії радіальних сил вивчені достатньо повно. Характер дії осьових сил значно різноманітніший. Так, при проходженні

вагоном кривих дільниць колії осьові сили будуть постійними. У той же час бічні коливання вагона викликають короточасні

осьові навантаження. А при проходженні бічних горизонтальних нерівностей колії осьові сили матимуть ударний характер.

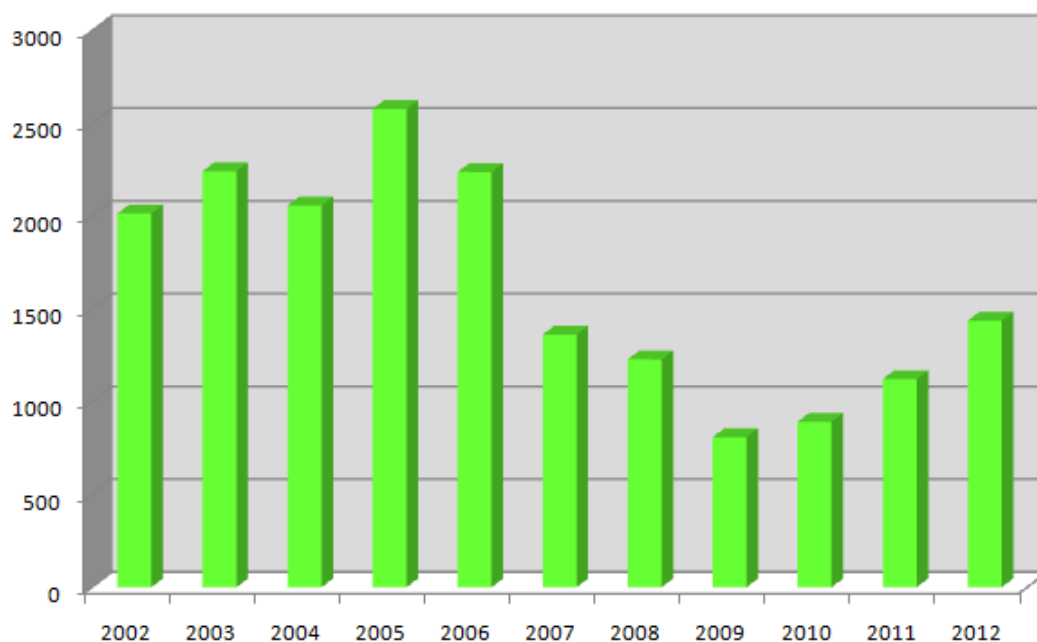


Рис. 1. Залежність зміни кількості відчеплень вагонів через нагрів букс

Величина осьових сил може досягати високих значень, особливо у вантажних вагонів. Це підтверджується результатами численних поїзних випробувань.

При русі вагона осьові сили передаються торцями роликів у режимі ковзання "сталь по сталі" об напрямні борти кілець.

У результаті такого режиму тертя між бортом і торцями роликів відбувається інтенсивне виділення тепла та розрив масляної плівки між поверхнями, що труться, у зоні нагріву. Внаслідок режиму сухого тертя суттєво знижується вихідна міцність металу бортів. Це призводить до мікросхоплювання металу в зоні контакту і викликає спрацювання типу "ялинка" на роликах і бортах кілець. У подальшому наявність подібного спрацювання сприяє появі тріщин, сколів або навіть повному руйнуванню бортів.

Одним зі шляхів підвищення надійності роликівих букс є використання підшипників касетного типу (дворядних конічних або циліндричних) [7]. Але спиратись лише на закордонний досвід експлуатації подібних підшипникових вузлів при виборі типу

підшипника для вагонів нового покоління неможливо. Необхідна перевірка працездатності подібних підшипників в умовах вітчизняних залізниць.

Визначення мети і задачі дослідження.

Метою даної роботи є попередній аналіз результатів експлуатаційних випробувань буксових вузлів вантажних вагонів, що обладнані перспективними здвоєними циліндричними підшипниками касетного типу.

Основна частина дослідження.

Експлуатаційні випробування дослідних буксових вузлів проходили в реальних умовах експлуатації в дослідному маршруті Роковата-Ужгород. Дослідними буксами були обладнані напіввагони, що перевозять руду. При цьому навантаження на вісь становила 23,5 тс. Методика випробувань була розроблена співробітниками кафедри "Вагони" УкрДАЗТ, погоджена усіма зацікавленими організаціями та затверджена Головним управлінням вагонного господарства Укрзалізниці.

Під час експлуатації здійснювався ретельний облік пробігу колісних пар як у завантаженому, так і порожньому стані.

Один раз в три місяці здійснювався комісійний огляд колісних пар за участю представників УкрДАЗТ, Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, Головного управління вагонного господарства, а також представників виробника підшипників.

Під час оглядів проводився зовнішній огляд букс, перевірялася надійність кріплення кришок, відкривалася оглядова кришка, контролювався стан торцевого кріплення і мастила, наявність іржі на посадковій поверхні колеса, стан поверхні кочення колеса (його знос, кількість обточок і наявність інших дефектів).

Програмою і методикою випробувань передбачалося, що випробування повинні бути завершені після досягнення дослідними колісними парами пробігу 70 тис. км, після чого планувалося проведення повної ревізії всіх буксових вузлів.

В експлуатаційних випробуваннях брали участь здвоєні касетні підшипники СВУ виробництва "Саратовский подшипниковый завод" (Росія).

Монтаж всіх дослідних підшипників здійснювався на Дарницькому вагоноремонтному заводі.

Під час випробувань не були виявлені пошкодження буксових вузлів, що викликали нагрів букс і відчеплення вагона від поїзда на шляху прямування.

Пробіг напіввагона на час останнього комісійного огляду склав 81,2 тис. км у дослідному маршруті. Це еквівалентно

приблизно 150 тис. км пробігу в загальній експлуатації.

5 грудня 2013 р. комісією був проведений огляд дослідних підшипників СВУ виробництва «Саратовский подшипниковый завод» (Росія) у ВЧД Мудрьона (м. Кривий Ріг).

Після зовнішнього огляду підшипники були демонтовані з усіх колісних пар дослідного вагона №96397773 (пробіг вагона на момент огляду склав 81,2 тис. км).

При огляді колісних пар виявлено відсутність мастила в лабіринтових ущільненнях буксових вузлів і дефекти на поверхні шийок осей механічного походження.

У ході проведення комісійних оглядів не виявлені найбільш розповсюджені пошкодження буксових вузлів з типовими циліндричним підшипниками: послаблення торцевого кріплення та наявність задирок типу "ялинка" на торцях роликів і бортах кілець.

Під час оглядів на деяких підшипниках були знайдені ознаки луцення (рис. 2), що може бути ознакою втоми металу.

Оскільки під час випробувань не було виявлено випадків нагріву букс (тобто відмов буксових вузлів), оцінка показників надійності була виконана за допомогою методів теорії надійності і теорії інформації.

На підставі проведених випробувань визначено показники надійності циліндричних буксових підшипників (здвоєний). Нижня межа ймовірності безвідмовної роботи складатиме 0,889, а верхня – 1. Такий високий розбіг показників викликаний недостатньою кількістю об'єктів випробувань (лише 2 вагони та 16 здвоєних підшипників).



Рис. 2. Сліди луцення металу на дорожках кочення внутрішнього кільця

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Для забезпечення ефективної роботи ватажних вагонів залізниць України провести експлуатацію дослідно-промислової партії вагонів у кількості 50-70 шт., обладнаних радіальними дворядними підшипниками з короткими циліндричними роликами (СВУ) з двоєними з розмірами 130×250×160 мм виробництва Саратівського підшипникового

заводу під наглядом всіх зацікавлених сторін за умови забезпечення безпеки руху. Результати таких випробувань дадуть можливість перевірити працездатність зазначених підшипників у реальних умовах експлуатації на залізницях України та визначити фактичні показники безвідмовності та довговічності підшипників для порівняння їх з нормативними.

Список використаних джерел

1. Цюренко, В.Н. Опыт эксплуатации вагонов с буксовыми узлами на подшипниках качения. [Текст] / В.Н. Цюренко // Пути совершенствования конструкций буксовых узлов вагонов с подшипниками качения: Труды ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1982. – Вып. 654. – С.4-26.
2. Мартинов, І.Е. До питання оптимізації конструкції буксових вузлів рухомого складу [Текст] / І.Е. Мартинов, А.В. Труфанова, В.Л. Мельничук, М.В. Христан // 36. наук. праць Укр. держ. акад. заліз. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 141. – С. 70-75.
3. Шавшишвили, А.Д. Анализ опыта эксплуатации вагонных букс с роликовыми подшипниками [Текст] / А.Д. Шавшишвили // Повышение надежности и долговечности подшипников качения букс подвижного состава. – Ростов-на-Дону: РИИЖТ, 1982. - №167. – С. 13-18.
4. Мартинов, І.Е. Технічний стан буксових роликпідшипників вантажних вагонів [Текст] / І.Е. Мартинов // 36. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2000. – Вип. 41. – С. 38-42.
5. Ільчишин, В.М. Аналіз надійності буксових підшипників критих вагонів [Текст] / В.М. Ільчишин // Вісник Східноукраїнського державного університету. Науковий журнал. – Луганськ, 2013. – №9 (198), ч. 1. – С. 157-159.
6. Мотовилов, К.В. Эксплуатационная надежность буксовых узлов вагонов [Текст] / К.В. Мотовилов, С.В. Перов, И.Э. Мартынов // Проблемы повышения безопасности движения на железнодорожном транспорте: межвуз. сб. науч. тр. – М.: МИИТ, 1988. – С. 92-99.
7. Труфанова, А.В. Новые пути развития конструкций буксовых узлов [Текст] / А.В. Труфанова // Вагонный парк. – 2008. - № 10. – С. 13-17.
8. Фишбейн, Ф.И. Методы оценки надежности по результатам испытаний [Текст] / Ф.И. Фишбейн. – М.: Знание, 1973. – 24 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

Труфанова Альона Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: alena.hiit@rambler.ru.

Trufanova Alena Vladimirovna, candidate science, associate professor department of wagons Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-35. E-mail: alena.hiit@rambler.ru.

ТЕХНОЛОГІЯ МЕТАЛІВ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 629.4

ОСОБЕННОСТИ ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ КОЛЕС

Д-р техн. наук В.Н. Остапчук, канд. техн. наук И.И. Федченко

ОСОБЛИВОСТІ ЗНОСУ ПОВЕРХНІ КАТАННЯ КОЛІС

Д-р техн. наук В.М. Остапчук, канд. техн. наук І.І. Федченко

FEATURES WEAR OF THE WHEEL THREAD

Doct. of techn. sciences V. Ostapchyk, cand. of techn. sciences. I. Fedchenko

В статье рассмотрены особенности механизма износа поверхности катания колес, а также исследованы основные источники образования частиц износа. Предложен комплексный подход к механизму изнашивания железнодорожных колес, включающий изучение структурных изменений, происходящих в поверхностных слоях ободьев, анализ частиц износа и установление механизма их образования.

Ключевые слова: износ, колесные пары, комплексный подход, поверхность катания.

У статті розглянуто особливості механізму зносу поверхні катання коліс, а також досліджено основні джерела утворення частинок зносу. Запропоновано комплексний підхід до механізму зношування залізничних коліс, що включає вивчення структурних змін, що відбуваються в поверхневих шарах ободів, аналіз частинок зносу і встановлення механізму їх утворення.

Ключові слова: знос, колісні пари, комплексний підхід, поверхня катання.

In practice there for more than 60 types of defects set of wheels that arise under the influence of various factors, and from them, directly or indirectly dependent on traffic safety.

Therefore, set of wheels, which exceed the established defects undergo repair or excluded from the inventory. The article describes the features of the mechanism of wear of the wheel thread, as well as to study the main sources of the wear particles.

Results of the analysis of micro-cracks, peeling and wear particles, as well as the mechanisms of their formation showed that the wear of the wheel thread is a complex phenomenon that occurs by several mechanisms (fatigue, adsorption, corrosion, wear by friction) and is a multifactorial process, and the change state of the surface layer of the rim during operation reduces its quality characteristics.

Keywords: wear, set of wheels, multifaceted approach, wheel thread.

Введение. Значительная часть отказов в пути следования и неплановых ремонтов колесных пар является следствием износа термомеханических повреждений верхних слоев поверхности катания и гребня. Появляющиеся дефекты вызваны главным образом динамическим взаимодействием пути и подвижного состава, а также процессом торможения, которые прямо или косвенно влияют на безопасность движения и работоспособность колес.

Анализ последних исследований и публикаций. Многообразие условий работы пар трения позволяет утверждать, что общим подходом может быть представление об усталостной природе разрушения поверхностных слоев [1]. Такой подход необходим как при выборе химического состава сталей пары трения колесо-рельс с учетом их циклической прочности и долговечности, так и при разработке новых конструкций колес с учетом условий их

эксплуатации. Резко возросший в последние годы интерес к изучению механизма износа связан не только с необходимостью сокращения связанных с износом потерь, но и с разработкой эффективных методов прогнозирования долговечности колес, обеспечением надежности их работы, особенно в экстремальных условиях (большие нагрузки, высокие скорости, повышенные температурные нагрузки на затяжных спусках и т.д.).

На практике встречается более 60 видов дефектов колесных пар, которые возникают под влиянием различных факторов, и от них прямо или косвенно зависит безопасность движения. Поэтому колесные пары, у которых дефекты превышают установленные нормы, подвергаются ремонту или исключаются из инвентаря [1,2].

Постановка задачи. Целью данной работы является комплексный подход к механизму изнашивания железнодорожных колес, который включает не только изучение структурных изменений, происходящих в поверхностных слоях ободьев, но также анализ частиц износа и установление механизма их образования.

Основная часть исследования. Усталостные процессы связаны с возникновением вблизи поверхности катания зоны пластической деформации и участков "белого слоя", который отличается хрупкостью, а также с наличием вблизи поверхности катания частиц

неметаллических включений и образовавшихся в процессе эксплуатации участков коррозионного повреждения стали [2]. Эти структурные изменения вызывают появление дефектов усталостного происхождения (трещин, частиц износа), которые приводят к разрушению обода (причем очень опасным является подрез гребня), а также к изменению профиля колеса в результате смещения слоев металла вдоль поверхности катания. Таким образом, механизм износа поверхности катания представляет совокупность механических, теплофизических и химических явлений и связан с образованием частиц износа и микротрещин в местах интенсивной пластической деформации и в участках "белого слоя", вблизи частиц неметаллических включений и продуктов коррозии стали.

Исследован механизм износа колес 1-6 с плоскоконическим профилем диска, химический состав которых приведен в таблице. Колеса 1 и 2 проработали около 5 лет под пассажирским составом и были сняты с эксплуатации по предельному износу ободьев.

Для исследований влияния срока службы на структурные и фазовые изменения, происходящие в процессе эксплуатации, были выбраны четыре колеса одной партии, проработавшие разный срок под пассажирским составом: 3-1,5 года, 4 - 2,5 года, 5-4 года, 6-5,5 года.

Таблица

Химический состав исследованных колес и колесной стали

№ колеса	Содержание элементов, %							
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
1	0,59	0,72	0,34	0,025	0,012	0,14	0,15	0,20
2	0,65	0,79	0,36	0,027	0,010	0,13	0,18	0,18
3-6	0,58	0,74	0,34	0,025	0,011	0,14	0,17	0,21

Идентификацию неметаллических включений, продуктов коррозии и частиц износа на поверхности катания железнодорожных колес 1-6 проводили несколькими методами: металлографический, поляризованный свет; микрорентгеноспектральный; рентгеноструктурный.

Вдоль всей поверхности катания встречаются микротрещины и расслоения,

приводящие к формированию и отслоению частиц износа, а также хрупкому разрушению в зоне выкружки, что на практике вызывает массовые подрезы гребней колес. Образование частиц износа имеет разные причины, а конечная видимая форма частиц износа зависит от условий их образования.

Одной из главных причин формирования частиц износа является протекание

пластических сдвигов с довольно большой степенью деформации, которая имеет неоднородный характер [1, 2].

Именно на границах зон с разной степенью деформации, а также в участках интенсивной и турбулентной деформации

возникают микротрещины (рис. 1, а), отслоения, частицы износа (рис. 1, б). В зоне выкружки возникает группа частиц износа, что свидетельствует о значительной локализации деформации и приводит в конечном счете к подрезу гребня.

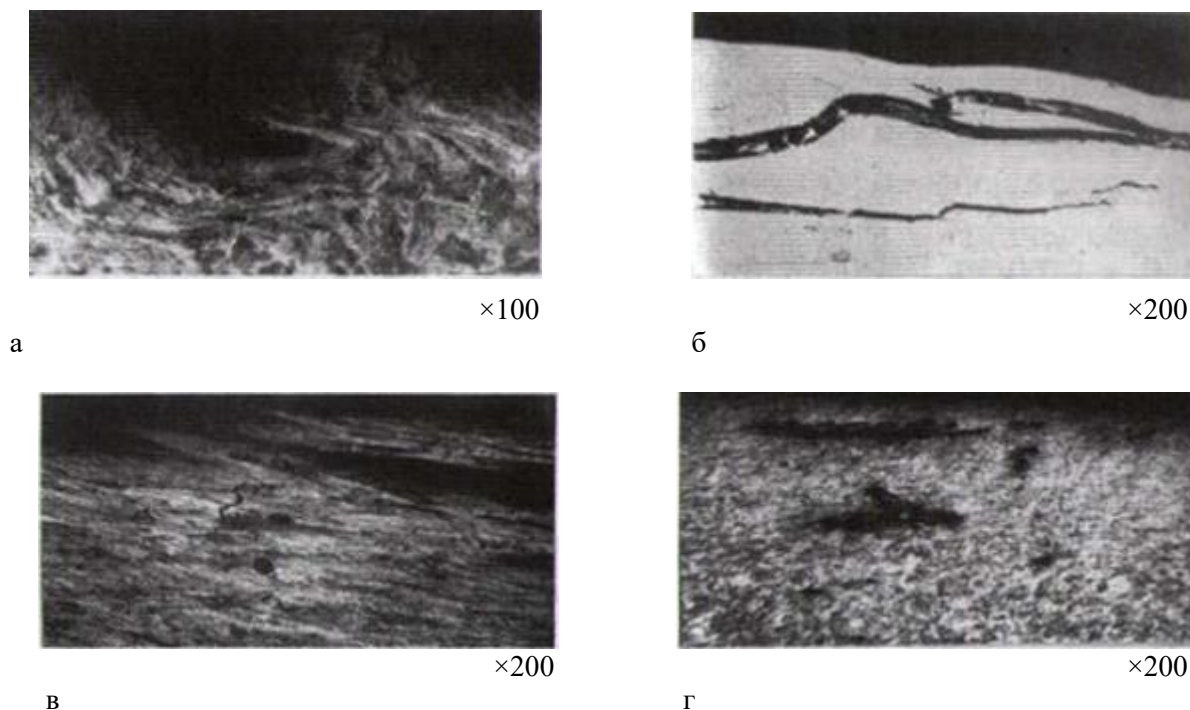


Рис. 1. Частицы износа вблизи поверхности катания в зоне интенсивной пластической деформации, $\times 200$

Частицы износа, возникшие вследствие развития интенсивной пластической деформации вблизи поверхности катания, представляют собой чешуйки или пластины разной толщины. Они характерны для нормальных условий износа [3], и их появление связано с пластической деформацией, протекающей вблизи поверхности катания колеса.

При трении на некоторой глубине появляются протяженные микротрещины (рис. 1, в), растущие до критического размера в результате пластического течения стали (рис. 1, г). При этом в зоне между трещинами и поверхностью катания локализуется пластическое течение стали и образуются частицы в виде чешуек, которые отслаиваются.

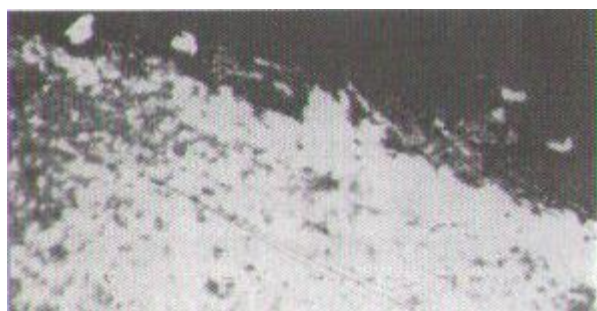
Главная роль в этом процессе относится к пластическим актам, приводящим к

накоплению дислокаций и появлению микротрещин, параллельных поверхности катания колеса. Такие микротрещины определенное время не вызывают образования частиц износа, они могут расти и в это время образуются новые микротрещины. Образование чешуек износа происходит путем вязкого отслоения металла при слиянии этих микротрещин и сопровождается пластическим течением стали вблизи поверхности катания колеса.

Следующей причиной образования частиц износа на поверхности катания колеса является так называемый «белый слой», который обладает повышенной хрупкостью. На границе его раздела с основной структурой колесной стали возникают значительные напряжения, обусловленные различными физическими и механическими свойствами зон

с различной структурой. Кроме того, вблизи участков «белого слоя» обнаруживается локализация деформации поверхностного слоя обода колеса, что также способствует концентрации напряжений на границе «белый слой» - основная структура колесной стали. Это способствует выкрашиванию «белого слоя», поэтому практически всегда он не является

сплошным. Такие частицы износа имеют вид осколков с острыми краями неправильной формы (рис. 2, а). Они обычно возникают при очень высоких давлениях, и их появление можно связать с образованием в поверхностных слоях ободьев мелких усталостных трещин, выход которых на поверхность является началом образования частиц износа.



а



б

Рис. 2. Частицы износа (а) и выкрашивания «белого слоя» (б); $\times 1000$

Следует отметить, что под хрупким «белым слоем» сталь пластически деформируется и на границе этих структурных составляющих возникают силы отталкивания, действующие на движущиеся дислокации [3], что приводит к формированию вблизи границы раздела этих структурных зон области с повышенной плотностью дислокаций, обеспечивающей деформированный наклеп. Это может в свою очередь привести к появлению микротрещин как вдоль границы «белый слой» - деформированная структура стали, так и на некотором расстоянии от нее, аналогичных приведенным на рис. 1, в, и параллельных поверхности катания колеса (рис. 2, б). Еще одной из причин образования частиц износа являются неметаллические включения, которые имеют металлургическое происхождение и являются концентраторами напряжений и деформаций в колесной стали [1].

Образованию трещин и частиц износа также способствует окисление и коррозионное разрушение поверхности катания, причем эти процессы приводят к формированию непосредственно на поверхности катания грубых включений сложных оксидов. Проведенными исследованиями установлено, что наличие частиц второй фазы существенно

повышает скорость образования микротрещин и их объединения, что увеличивает интенсивность износа (усталостного и при трении). Это связано с тормозящим влиянием частиц на движущиеся дислокации, а влияние включений на формирование частиц износа является одним из наиболее важных механизмов формирования дефектов при износе. Глубина формирования дефектов при этом определяется глубиной нахождения частиц неметаллических включений от внешней поверхности. Анализ микроструктуры колесной стали вблизи поверхности катания колес показал, что неметаллические включения и продукты коррозии колесной стали способствуют неоднородному развитию деформации, появлению зон турбулентного течения и способствуют образованию зон с повышенной степенью деформации относительно среднего ее значения в разных участках по ширине обода. Неметаллические включения вблизи поверхности катания колеса находятся в сложном напряженном состоянии, определяемом системой контактных, динамических и циклических напряжений. Многократное циклическое термомеханическое воздействие на поверхность катания колеса при взаимодействии ее с рельсом приводит к накоплению напряжений и дефектов

(микротрещин, расслоений, отслоений), что способствует образованию частиц износа, имеющих разную форму, источник и механизм формирования.

Выводы. Результаты анализа микротрещин, отслоений и частиц износа, а также механизмов их образования показали, что износ поверхности катания

железнодорожных колес представляет собой сложное явление, которое происходит по нескольким механизмам (усталостный, адсорбционный, коррозионный, износ при трении) и является многофакторным процессом, а изменение состояния поверхностного слоя обода при эксплуатации способствует снижению его качественных характеристик.

Список использованных источников

1. Обеспечение износостойкости в машиностроении [Текст]: учебн. пособие / А.Н. Гладченко, Н.А. Зенкин, И.В. Шевеля и др. – К.: ИСДО, 1996. – 115 с.
2. Богданов, А.Ф. Эксплуатация и ремонт колесных пар железнодорожных вагонов [Текст] / А.Ф. Богданов, В.Г. Чурсин. – М.: Транспорт, 1985. – 270 с.
3. Марченко, Е.А. О природе износа поверхностей металлов при трении [Текст] / Е.А. Марченко. – М.: Наука, 1979. – 118 с.

Остапчук Віктор Миколайович, доктор техн. наук, професор кафедри матеріалів та технологій виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-49. E-mail: fedcirina@yandex.ru.

Федченко Ірина Іванівна, канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалів та технологій виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-49. E-mail: fedcirina@yandex.ru.

Ostapchuk V. doct. of techn. sciences, professor department of materials and manufacturing technology products transport purposes Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-49. E-mail: fedcirina@yandex.ru.

Fedchenko I.I. kand. of techn. sciences, associate professor department of materials and manufacturing technology products transport purposes Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-49. E-mail: fedcirina@yandex.ru.

УДК 629.083

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЯ

Д-р техн. наук С.С. Тимофеев

МОДЕЛЮВАННЯ ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТЯ

Д-р техн. наук С.С. Тимофеев

MODEL ANALYSIS OF ELASTIC PROPERTIES OF COATING

Doct. of techn. sciences S.S. Timofeyev

В статье описан способ решения задачи проектирования поверхностей трения с композиционными покрытиями. Доказано, что моделируя физико-механические свойства и варьируя составом покрытия, можно добиться благоприятного сочетания свойств поверхности и основы. Предложено оценивать механическое поведение композиционного слоя путем построения адекватной модели взаимодействия поверхностей.

Ключевые слова: упруго-пластические свойства, композиционные покрытия, адекватная модель, медьсодержащий материал.

У статті описаний спосіб вирішення задачі проектування поверхонь тертя з композиційними покриттями. Доведено, що моделюючи фізико-механічні властивості й варіюючи складом покриття, можна домогтися сприятливого поєднання властивостей поверхні та основи. Запропоновано оцінювати механічну поведінку композиційного шару шляхом побудови адекватної моделі взаємодії поверхонь.

Ключові слова: пружно-пластичні властивості, композиційні покриття, адекватна модель, мідєвмісний матеріал.

The article describes a method of solving the problem of designing the friction surfaces with composite coatings. Despite the fact that many scientists have investigated the effect of coatings on the properties of the items during the exploitation, however, has not yet been carried out a detailed study of elastoplastic properties of the coating to the copper-containing material with different concentrations of ultrafine additions of copper, nickel, molybdenum disulfide. Elastoplastic properties of such materials is usually described by the relations of the deformation theory of plasticity.

It is proved that the modeling of physical and mechanical properties, and varying the coating composition can achieve a favorable combination of properties of the surface and the substrate. Proposed of designing friction surface with composite coating, development an adequate model of the interaction of surfaces, which makes it possible to judge which components need to enter into the coating to obtain the desired properties.

Keywords: elastoplastic properties, composite coatings, adequate model, copper-containing material.

Постановка проблеми. Теоретическое прогнозирование макроскопических свойств поверхностных покрытий является одной из актуальных задач механики деформируемого твёрдого тела. Многие материалы на диаграммах растяжения не имеют явно выраженных площадок текучести, что существенно затрудняет решения технологических задач. Упруго-пластические свойства подобных материалов обычно описывают соотношениями деформационной теории пластичности. Практика показала, что, моделируя физико-механические свойства и варьируя составом покрытия, можно добиться благоприятного сочетания свойств поверхности и основы. Проектирование поверхностей трения с композиционными покрытиями весьма сложная задача, которую можно решить, например, способом разработки адекватной модели взаимодействия поверхностей, что даёт возможность судить о том, какие компоненты необходимо ввести в покрытие для получения требуемых свойств.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах многих ученых исследовалось влияние покрытий на свойства изделий в процессе эксплуатации. До теперешнего времени не проводилось детальное исследование упругопластических свойств покрытия для медьсодержащего материала с различной концентрацией ультрадисперсных добавок меди, никеля,

дисульфида молибдена. Поэтому построение адекватной модели механического поведения композиционного слоя, дающего возможность достаточно точно оценивать его деформационные свойства, прочностные характеристики, несущую способность и т.д., является актуальной и важной задачей.

Цель исследования. Разработка модели упруго-пластических свойств покрытий в процессе эксплуатации.

Основной материал исследования. Технологический процесс нанесения покрытия состоит из следующих этапов: предварительно образуется диффузионный слой, а затем само покрытие. В большинстве случаев в процессе эксплуатации покрытие относительно быстро изнашивается (процесс приработки), и основной несущей поверхностью является приповерхностный слой, который обладает свойствами, отличными от свойств основного материала и свойств покрытия. Считается, что насыщение поверхностного слоя основного металла элементами покрытия будет происходить по границам зёрен, величина образованного диффузионного слоя определялась по зависимостям. Кроме того, в процессе образования диффузионного слоя происходит "залечивание", поверхностных микротрещин, т.е. наблюдается дополнительный процесс проникновения компонентов покрытия в основной материал.

При построении математической модели макроскопического диффузионного слоя частицы проникновения удобно аппроксимировать разориентированными в пространстве эллипсоидами и идеальной адгезией. Исходные локальные определяющие уравнения для компонентов в этом случае можно записать в виде

$$\Delta_{ij} = 2\mu_{m,f}(e)e_{ij}, \quad \sigma_{pp} = 3K_{m,f}\varepsilon_{pp}. \quad (1)$$

Здесь индекс m относится к материалу матрицы (подложка), индекс f к добавляемым компонентам покрытия (ультрадисперсные порошки).

Структура слоя описывается индикаторной функцией $\chi(r)$, равной нулю в объеме матрицы V_m , и единице в объеме V_f . Положение эллипсоидных включений в пространстве зададим набором индикаторных

функций $\chi_1(r)\chi_2(r), \dots, \chi_n(r)$, каждая из которых $\chi_s(r)$ равна единице в объеме V_s всех эллипсоидов S -го направления и равна нулю вне этого объема. При этом имеет место соотношение

$$\chi(r) = \sum_{\Delta=1}^n \chi_s(r).$$

Соотношения (1) принимают вид

$$\Delta_{ij}(r) = 2(\mu_m + [\mu]\chi(r))e_{ij}(r), \quad (2)$$

$$\sigma_{pp}(r) = 3(K_m + [K]\chi(r))\varepsilon_{pp}(r).$$

С помощью тензора Грина [1] определяем

$$G_{ij}(r) = \frac{1}{8\pi\mu_m(\langle e \rangle)} \left(\delta_{ik}r_{pp} - \frac{3K_m + 5\mu_m(\langle e \rangle)}{3K_m + 8\mu_m(\langle e \rangle)} r_{ik} \right).$$

Система уравнений (2) и уравнения $\sigma_{ip,p}(r) = 0$, $2\varepsilon_{ij}(r) = u_{i,j}(r) + u_{j,i}(r)$, $f(r)|_{r \in S} = \langle f \rangle$ сводятся к системе интегральных уравнений вида $\varepsilon_{ij}(r) = \int_V G_{ik,ej}(r - r_1)\tau'_{ke}(r_1)dr_1$, в которых

$$\tau_{ij}(r) = -(2[\mu]e_{ij}(r) + \delta_{ij}[K]\varepsilon_{pp}(r))\chi(r). \quad (3)$$

Вычислим микроскопические напряжения $\langle \sigma_{ij} \rangle$. Для этого усредним соотношения (2) по полному объему V и применим правило механического смешивания.

$$\langle \Delta_{ij} \rangle = 2\mu_m \langle e_{ij} \rangle + 2[\mu] \sum_{S=1}^n c_S \langle e_{ij} \rangle_S, \quad (4)$$

$$\langle \sigma_{pp} \rangle = 3K_m \langle \varepsilon_{pp} \rangle + 3[K] \sum_{S=1}^n c_S \langle \varepsilon_{pp} \rangle_S,$$

где $c_\Delta = V_\Delta V^{-1}$ – объемное содержание эллипсоидов S -го направления.

Для вычисления величин $\langle \varepsilon_{ij} \rangle_\Delta$ воспользуемся известным соотношением

$$\langle \varepsilon_{ij} \rangle_S = \langle \varepsilon_{ij} \rangle + c_S^{-1} \langle \chi_S \varepsilon'_{ij} \rangle. \quad (5)$$

Для определения моментов $\langle \chi_S \varepsilon'_{ij} \rangle$ умножим уравнение $\varepsilon_{ij}(r) = \int_V G_{ik,ej}(r - r_1)\tau'_{ke}(r_1)dr_1$ на $\chi_S(r)$ и усредним результат по объему V , в результате получим

$$\langle \chi_S \varepsilon'_{ij} \rangle = \int_V G_{ik,ej}(r_1) \langle \chi'_S(r) \tau'_{ke}(r + r_1) dr_1 \rangle. \quad (6)$$

При вычислении интеграла, стоящего в правой части, воспользуемся тем, что функция $\chi_S(r)$ описывает эллипсоиды только одного направления, и будем считать, что коррекционная функция по знакам интеграла имеет вид

$$\langle \chi'_S(r) \tau'_{ke}(r+r_1) \rangle = \int_{ke}^{\Delta} \left(\frac{x_1^2}{a_1^2} + \frac{x_2^2}{a_2^2} + \frac{x_3^2}{a_3^2} \right). \quad (7)$$

Здесь a_i – полуоси эллипсоида. Значение интеграла с учётом сделанного допущения выражается формулой [2]

$$\langle \chi_S \varepsilon'_{ij} \rangle = \frac{c_S}{2\mu_m} Z_{ijke}^{(S)} (\langle \tau_{ke} \rangle_S - c_f \langle \tau_{ke} \rangle_f), \quad (8)$$

где $Z_{ijke}^{(S)} = S_{ijke}^{(S)} - \frac{\nu_m}{1+\nu_m} \delta_{ij} S_{ppke}^{(S)},$

$$\nu_m = \frac{3K_m - 2\mu_m}{6K_m + 2\mu_m}, \quad c_f = V_f \cdot V^{-1} - \text{объёмное}$$

содержание всех включений;

$S_{ijke}^{(r)}$ – компоненты тензора Эшелби [3],

записанные в лабораторной системе координат эллипсоида s -го направления.

Постановка выражения для τ_{ij} и формул (5) в соотношение (4) даёт

$$\langle \varepsilon_{ij} \rangle_S = c_f Q_{ijpq}^{(S)} P_{pqke}^{(S)} \langle \varepsilon_{ke} \rangle_f + Q_{ijre}^{(S)} \langle \varepsilon_{ke} \rangle, \quad (9)$$

Соотношение $\langle \sigma_{ij} \rangle = E_{ijke}^* \langle e \rangle \langle \varepsilon_{ij} \rangle$ принимает вид $\langle \Delta_y \rangle = 2\mu^* \langle e \rangle \langle e_y \rangle,$
 $\langle \sigma_{pp} \rangle = 2K^* \langle e \rangle \langle e_{pp} \rangle,$ в котором

$$\mu^* = \mu_m + [\mu] \frac{C_f \alpha}{C_m + \gamma C_f}, \quad (13)$$

$$\text{где } P_{ijke}^{(\Delta)} = \frac{1}{2\mu_m} (2[\mu] Z_{ijke}^{(S)} + \delta_{ke} [\lambda] Z_{ijpp}^{(S)}),$$

$$Q_{ijke}^{(S)} = (I_{ijke} + P_{ijke}^{(S)})^{-1};$$

$$\lambda_{m,f} = K_{m,f} - \frac{2}{3} \mu_{m,f}.$$

Умножая (5) на C_S и суммируя по всем возможным направлениям эллипсоида, запишем уравнение для $\langle \varepsilon_{ij} \rangle_f$

$$\langle \varepsilon_{ij} \rangle_f = \frac{\langle \varepsilon_{ke} \rangle - c_f \langle \varepsilon_{ke} \rangle_f}{c_f \cdot c_m} \sum_{\Delta=1}^n c_{\Delta} Q_{ijke}^{(S)}. \quad (10)$$

Разрешая тензорное уравнение относительно $\langle \varepsilon_{ij} \rangle_f$ получаем

$$\langle \varepsilon_{ij} \rangle_f = a_{ijke} \cdot \langle \varepsilon_{ke} \rangle, \quad (11)$$

где

$$a_{ijke} = (I_{ilpq} + R_{ijpq})^{-1} R_{pqke} R_{ijke} = \frac{1}{c_f c_m} \sum_{\Delta=1}^n c_{\Delta} Q_{ijke}^{(S)},$$

$$c_m = 1 - c_f.$$

Подставляя (4), (10) в соотношения (2), находим макроскопический закон упруго-пластического деформирования композиционного слоя вида $\langle \sigma_{ij} \rangle = E_{ijke}^* \langle e \rangle \langle \varepsilon_{ij} \rangle,$ в котором

$$E_{ijke} = 2\mu_m I_{ijke} + \delta_{ij} \delta_{ke} \lambda_m + c_f \cdot (2[\mu] I_{ijpq} + \delta_{ij} \delta_{pq} [\lambda]) \cdot a_{pqke}. \quad (12)$$

$$K^* = K_m + [K] \frac{C_f \alpha}{C_m + \gamma C_f},$$

где K^* – эффективный предел текучести;

μ^* – эффективный коэффициент Пуассона.

При расчётах по полученным формулам $\Delta_{ij}(r) = 2(\mu_1(e)x_1(r) + \mu_2(e)x_2(r))e_{ij}(r)$ и

$\sigma_{pp}(r) = 3(K_1 x_1(r) + K_2 x_2(r)) \cdot \varepsilon_{pp}(r)$, (10) и (12) следует использовать зависимость для модулей пластичности вида

$$\tau = 2\mu_{\infty} e + K \left(1 - e^{-\frac{2\mu_0 - 2\mu_{\infty}}{K}} \right) \text{ и для концент-}$$

раций $c_2 = c_{\max} \left[1 - \left(\frac{z}{\Delta h} \right)^{\lambda} \right]$. Для построения

зависимости изменения напряжений от деформации диффузионного слоя используем

зависимость $\langle \sigma_{11} \rangle = \frac{9K^* \mu^*}{3K^* + \mu^*} \langle \varepsilon_{11} \rangle$ и

$\langle \varepsilon_{11} \rangle = \langle \varepsilon_{22} \rangle$. Рассматривалось одноосное растяжение.

Экспериментальные исследования проводились на образцах с основой 40Х при определении поверхностной твёрдости после механически снятого покрытия (имитация процесса износа покрытия). Предел текучести определялся в соответствии со стандартной методикой (при $\varepsilon = 0,2$).

На рисунке представлены результаты деформационных свойств медьсодержащего слоя покрытия с ультрадисперсными добавками меди, никеля дисульфида молибдена.

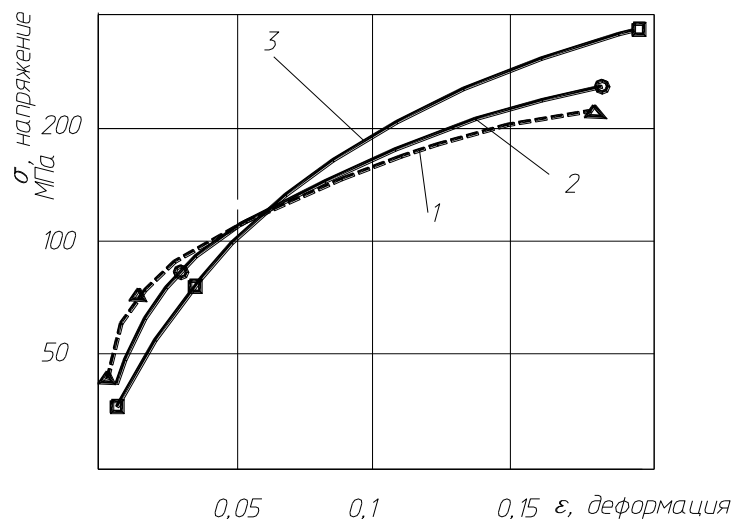


Рис. Зависимость механических свойств слоя покрытия для медьсодержащего покрытия с различными концентрациями включений (одноосное растяжение):

- 1 – расчётная зависимость (медь 95%, добавки 5%); 2 – экспериментальная кривая;
3 – экспериментальная кривая с серебряным покрытием

Выводы. Разработана модель физико-механических свойств многокомпонентного покрытия на рабочих поверхностях деталей, работающих в условиях трения и изнашивания.

Установлено, что за пределом упругости композиционного материала покрытие ведет себя так же, как и упруго-пластическое тело с линейным пластическим упрочнением.

Список использованных источников

1. Сараев, Л.А. Сингулярное приближение теории вязкопластических микронеоднородных сред [Текст] / Л.А. Сараев, Т.Д. Шермергор // Прикладная механика. – 1985. – Т.21, №5. – С. 92-97.
2. Холодинов, О.В. Диагностика изнашивания подвижных сопряжений [Текст] / О.В. Холодинов // Трибология: Исследования и приложения: опыт США и стран СНГ. – М.: Машиностроение; Нью-Йорк: Аллerton пресс, 1993. – С. 413-423.

З. Эшелби, Дж. Континуальная теория дислокаций [Текст] / Дж. Эшелби: пер. с англ. – М.: Иностранная литература, 1963. – 247 с.

Тимофеев Сергей Сергійович, доктор техн. наук, доцент кафедри матеріалів та технологій виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-49. E-mail: fedcirina@yandex.ru.

Timofeyev Sergiy, doct. of techn. sciences, associate professor department of materials and manufacturing technology products transport purposes Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-49. E-mail: fedcirina@yandex.ru.

УДК 621.78; 621. 785.5

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Д-р техн. наук Л.А. Тимофеева, канд. техн. наук А.Л. Комарова

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

Д-р техн. наук Л.А. Тимофеева, канд. техн. наук А.Л. Комарова

INCREASE OF WEAR RESISTANCE OF CUTTING TOOLS FOR PROCESSING IRON-CARBON ALLOYS

Doct. of techn. sciences L. Timofeeva, cand. of techn. science A. Komarova

В статье рассмотрена проблема разработки экологически чистой технологии нанесения упрочняющих покрытий на режущий инструмент для обработки железоуглеродистых сплавов.

В исследованиях использованы методы определения триботехнических свойств инструментальных материалов в зависимости от скорости скольжения покрытий. В работе изучен механизм процесса изнашивания инструмента из кубического нитрида бора и металлокерамики. Предложен способ нанесения на них защитных покрытий.

Ключевые слова: сверхтвердые материалы, режущий инструмент, металлокерамика, диффузия, элемент, свойства, оксиды, покрытие.

В статті розглянута проблема розроблення екологічно чистої технології нанесення зміцнювальних покриттів на різальний інструмент для обробки залізовуглецевих сплавів.

У дослідженнях використані методи визначення триботехнічних властивостей інструментальних матеріалів залежно від швидкості ковзання покриттів. У роботі вивчений механізм процесу зношування інструменту з кубічного нітриду бору і металокераміки. Запропонований спосіб нанесення на них захисних покриттів.

Ключові слова: надтверді матеріали, різальний інструмент, металокераміка, дифузія, елемент, властивості, оксиди, покриття.

The article considers the problem of the development of environmental-friendly technology of drawing of strengthening coatings on cutting tools for processing iron-carbon alloys.

The studies have used methods for determining the tribological properties of the tool materials depending on the speed of sliding surfaces.

In the work of the mechanism of wear process tool cubic boron nitride and metal ceramics. Proposed the method of application of protective coatings.

Given the nature and chemical composition of superhard materials and composite materials proposed and partially tested a method of chemical-thermal spraying of oxide coatings, the essence of which is the impact (30...60 min) superheated (600 °C) vapour aqueous solution (3 %) of the various salts on the working surface of the tool.

The technological process of causing of oxide coverages is tested in a laboratory stove, simple, inexpensive, high-performance, ecologically clean.

In the future it is necessary to conduct a study of the diffusion and physico-chemical processes occurring in the surface layers of cutting plates during chemical-thermal processing and as a result of mechanical treatment. In addition, should continue studies towards a greater variation of the parameters of the process of chemical-thermal processing tool - temperature, chemical composition and concentration of the saturating environment. This will enable them optimization, as well as specify the chemical composition of the coating.

Keywords: *Superhard materials, cutting tools, ceramic metal, diffusion, element properties, oxides, coating*

Введение. Для изготовления различных видов режущего инструмента используется большая гамма инструментальных материалов, а также дополнительно производится поверхностное упрочнение с учетом конкретных условий его работы.

В целом известно, что в процессе обработки металлов и сплавов на режущий инструмент действуют различные по величине и направлению силы [1,2]. Они зависят от режимов резания, физико-механических свойств обрабатываемого материала и материала инструмента, его конструкции. Однако во всех случаях прослеживается общая закономерность, заключающаяся в том, что работа сил резания вызывает ряд явлений, которые отрицательно сказываются на стойкости режущего инструмента, качестве процесса резания.

В частности, при высокой удельной работе резания может иметь место пластическая деформация обрабатываемого материала и режущего инструмента. В случае высокой степени деформации обрабатываемого материала и адгезионной способности к материалу инструмента возникает большая вероятность образования нароста. Нарост нарушает геометрию инструмента, увеличивает его износ и отрицательно влияет на качество обрабатываемой поверхности. Нанесение на инструмент специальных покрытий с низкой адгезионной способностью к обрабатываемому материалу может частично или полностью предотвратить процесс наростообразования [3].

Следует заметить, что износ инструмента зависит от многих факторов – скорости резания, контактных давлений, физико-механических свойств обрабатываемого материала и инструмента [3, 4].

Но решающее значение на износ оказывает скорость резания [6]. Это обусловлено тем, что при определенных скоростях резания резко увеличивается температура в зоне контакта, интенсивно развиваются диффузионные процессы, в том числе на границе «режущий инструмент – деталь», и заметно ослабевают защитные действия оксидных пленок.

Таким образом, анализируя условия работы режущего инструмента, следует указать на следующие основные требования, предъявляемые к его материалу: высокая твердость, существенно превосходящая твердость обрабатываемого материала при комнатной температуре и нагреве; надежная прочность при изгибе; высокие теплопроводность, теплостойкость, уровень износостойкости и низкий коэффициент трения; слабая адгезионная способность.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Современный уровень развития техники требует увеличения объема производства при одновременном повышении качества режущего инструмента. Проблема повышения качества инструмента касается прежде всего повышения его стойкости, которая достигается либо изысканием новых инструментальных

материалов, либо путем поверхностного его упрочнения. Второй путь имеет ряд преимуществ и поэтому уже длительное время усилие многих специалистов по резанию и материаловедению направлено на разработку новых методов и материалов поверхностного упрочнения, что на сегодня является актуальным.

Анализ последних исследований и публикаций. Предложены и нашли уже практическое применение десятки способов упрочнения деталей и инструмента, среди которых такие, как химико-термические, тепловые и механические воздействия лишь на поверхностные слои материала инструмента [6]. Известны методы поверхностного упрочнения, к которым можно отнести: электроискровой метод, плазменное напыление, химическое осаждение из газовой среды, электролитическое осаждение.

Что касается первого пути повышения качества инструмента, то крупным скачком в развитии инструментальной промышленности явилось производство инструмента из специальных сверхтвердых материалов (СТМ) и керамических материалов (КМ) [7].

Целью данного исследования является разработка экологически чистой технологии нанесения упрочняющих покрытий на режущий инструмент.

Основная часть исследований. При разработке новой технологии особое внимание заслуживает низкотемпературный метод нанесения покрытий из газообразной фазы, содержащей такие элементы, как Mo, W, Ni, Ti, N и др.

В частности, уже частично опробован способ поверхностного упрочнения режущего инструмента из высокоуглеродистых (У8, У10) и легированных сталей (Р6М5). Суть этого метода заключается в использовании

парогазовой насыщающей среды, содержащей Mo, S, N, Cu и другие элементы, которые формируют оксидное защитное покрытие на инструментальных материалах с антифрикционными свойствами [8].

В последние годы в металлообрабатывающей промышленности находят широкое применение новые инструментальные материалы, изготовленные на основе сверхтвердых материалов. Особенностью для этих материалов является то, что в зоне резания возникают высокие значения коэффициента трения.

Наибольший интерес с научной и практической точек зрения представляет исследование влияния оксидных покрытий на износ инструмента, изготовленного из кубического нитрида бора (КНБ).

Результаты испытаний и исследований. Для разработки экологически чистой технологии нанесения упрочняющих покрытий на режущий инструмент в качестве насыщающей среды были использованы: 1) перегретый пар чистой воды; 2) перегретый пар водного раствора NaCl; 3) перегретый пар водного раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{P}_3$; 4) перегретый пар водного раствора CuSO_4 .

Испытания проводились с целью выявления влияния сформированного покрытия на свойства режущего инструмента, а именно на величину износа и значение коэффициента трения в зоне резания чугуна и КНБ при разных скоростях резания. Для этого были изготовлены специальные цилиндрической формы образцы из металлокерамики, которые использовались в качестве металлорежущих пластин токарных резцов.

Химический состав и содержание компонентов испытуемых материалов металлокерамических пластин приведены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание компонентов и химический состав испытуемого композиционного керамического материала

Композит	Содержание компонентов, мас. дол. %						
	BN	Al_2O_3	AlB_{12}	AlN	BrO_3	Cr_2O_3	TiO_2
1	-	-	-	12,0	-	48,0	20,0
2	70,0	2,0	3,0	1,5	3,5	-	-

В качестве материалов, обрабатываемых токарными резцами с испытуемыми пластинками из КНБ, применяли маслотно-чугун, используемый для нарезки поршневых колец. Твердость чугуна 240 НВ.

Химический состав маслотно-чугуна приведен в табл. 2. Износ пластин из

металлокерамики определяли при точении закаленной стали 40Х.

Первая опытная партия инструмента, предназначенного для нарезки поршневых колец из маслотно-чугуна, была обработана по четырем вариантам, отличающимся химическим составом насыщающей среды.

Таблица 2

Химический состав испытуемого чугуна

Материал	Содержание элементов, мас. дол. % (ост.-Fe)							
	C	Si	Mn	Ti	P	S	Cu	Cr
Маслотно-чугун	3,7	2,6	0,80	0,11	0,48	0,09	0,45	0,18

По всем вариантам химико-термического способа нанесения покрытия температура составляла 600°C, продолжительность насыщения – 60 мин.

Были проведены сравнительные лабораторные испытания образцов с покрытием и без покрытия, изготовленных из КНБ.

Линейный износ режущих пластин устанавливался методом обмера их по задней

поверхности после обработки чугуновых заготовок (маслотно-чугуна) длиной 210 мм.

Зависимость величины износа пластин из КНБ от химического состава насыщающей парогазовой среды, содержащей ионы и катионы различных химических элементов и используемой для создания покрытий, приведена на рис. 1.

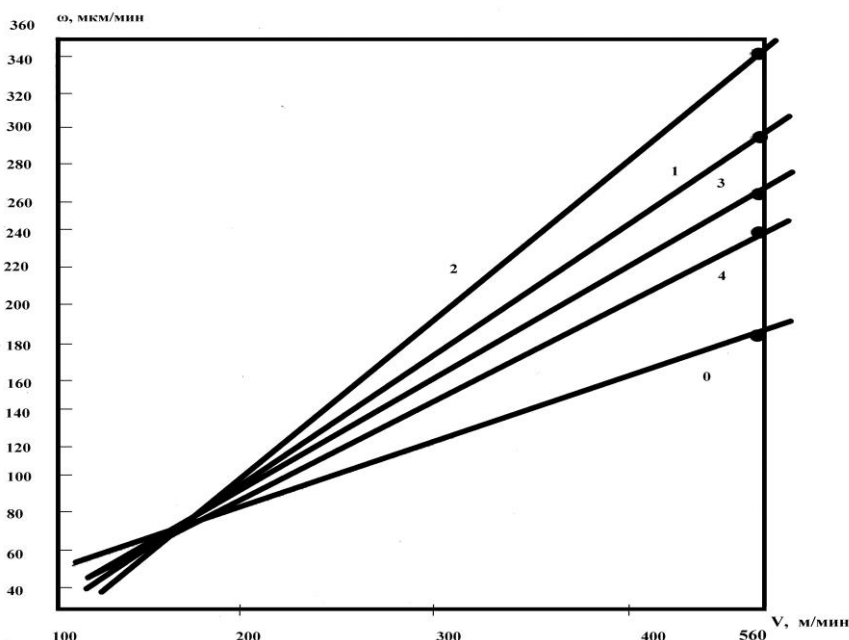


Рис. 1. Изменение величины износа пластин из КНБ в зависимости от скорости резания и состава насыщающей среды при ХТО:

0 – исходный образец (без ХТО); 1 – перегретый водяной пар; 2 – раствор NaCl (3%);
3 – раствор Na₂S₂O₃(3%); 4 – раствор CuSO₄(3%)

Анализируя полученные экспериментальные данные при скоростях скольжения 145 и 500 м/мин, следует отметить наличие характерного предельного значения скорости резания, при котором качественно изменяется роль покрытия в процессе обработки маслотногo чугуна. А именно при скорости резания более 145 м/мин и вплоть до 550 м/мин все исследованные покрытия усиливают скорость изнашивания режущих пластин. В наибольшей мере проявляется увеличение в случае покрытия, полученного из водного раствора хлористого натрия, а в наименьшей – тиосульфата натрия.

В то же время обработка пластин из КБН по всем вариантам состава насыщающей среды уменьшает интенсивность их изнашивания, если скорость резания маслотногo чугуна ниже 145 м/мин. В частности, покрытие из водного раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ и CuSO_4 на 30 % уменьшает износ пластин по сравнению с исходным вариантом (0). Существенное повышение величины износа пластин, обработанных по варианту 2, может быть связано с тем, что, как было установлено ранее, такого рода покрытие резко повышает коэффициент трения.

Исследования проводились на образцах сопряженной пары «серый чугун + покрытие - маслотногo чугун» на машине трения СМЦ - 2 при скорости скольжения 1,04 м/с и давлении 4,5 МПа. На поверхность трения химико-термическим методом наносили покрытие из перегретого пара водного раствора солей NaCl и $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Оказалось, что, несмотря на одинаковую структуру и химический состав исходных чугунов (материала подложки) испытываемой пары трения, указанные покрытия коренным образом изменяют условие трения: наличие соли натрия в покрытии создало предпосылки для создания условий фрикционности работы пары трения, в отличие от соли $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, которая способствовала повышению антифрикционных свойств исходной пары трения «серый чугун - маслотногo чугун». На протяжении 100 часов испытаний пары трения с покрытием из NaCl стабильно сохранялось значение коэффициента трения в пределах 0,45...0,50 (рис. 2). Температура смазки в объеме 250 мл поддерживалась практически постоянной на всех промежутках испытания (6 часов непрерывного испытания) и равнялась 160...175°C.

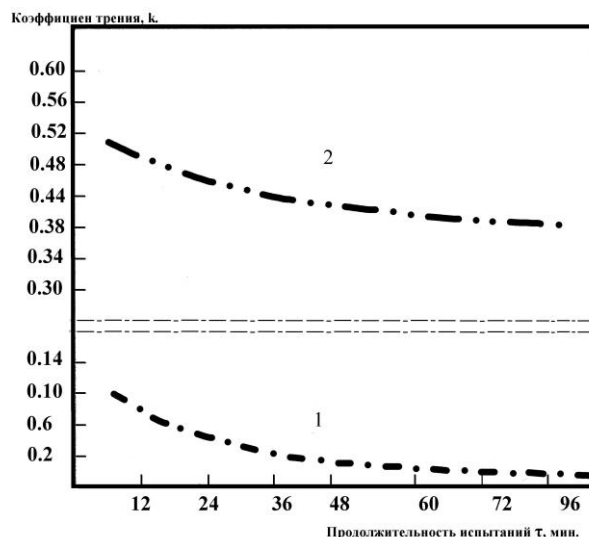


Рис. 2. Изменение коэффициента трения сопряжения «колодка - диск» (СЧ + покрытие - маслотногo чугун) в зависимости от состава насыщающей среды:
1 – XTO в среде $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$;
2 – XTO в среде NaCl

В случае пары трения с покрытием, полученным в среде водного раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, значение коэффициента трения составляло 0,015...0,08. Температура масла за 6 часов испытаний не превышала 60°C.

Как подчеркивалось ранее, кроме коэффициента трения на износ резца оказывают существенное влияние другие факторы, учет которых должен быть комплексным. Однако по результатам предварительных экспериментов можно сделать вывод, что микролегированные оксидные покрытия оказывают двойственное влияние на износ пластин из КНБ: при скорости резания чугуна, не превышающей 150 м/мин, ослабляют интенсивность процесса изнашивания, при более высокой (вплоть до 550 м/мин) – усиливают, причем в различной степени в зависимости от состава покрытия. Для объяснения этих закономерностей необходимо провести дополнительные испытания и исследования, охватывающие более широкий диапазон концентраций элементов в насыщающей среде, которые оказывают минимальное отрицательное влияние на износ пластинки. Кроме того, возможно, что снижение температуры XTO может быть также положительным фактором,

поскольку при температуре $\sim 600^{\circ}\text{C}$ имеет место частичное окисление КНБ, а значит снижение твердости рабочего микрослоя.

Исследовали также влияние аналогичных оксидных покрытий на режущую способность керамических пластин. Испытания керамических неперетачиваемых пластин проводили в процессе чистовой обработки закаленной стали 40X с твердостью 50...53 HRC, без применения смазочно-охлаждающей жидкости. Это связано с тем, что керамика в таких условиях резания лучше сохраняет твердость, достаточно хорошо переносит резкие температурные перепады.

На рис. 3 приведены результаты определения зависимости величины износа пластин из композита от скорости резания и состава оксидных покрытий.

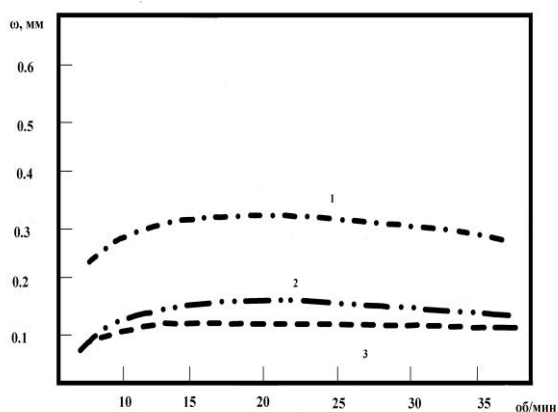


Рис. 3. Зависимость величины износа пластин по заданной поверхности в зависимости от скорости резания стали 40X:
1 – чистый композит без покрытия; 2 – перегретый водный пар; 3 – перегретый водный раствор $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (3%)

Установлено, что пареокидирование и в особенности окислегирование поверхностного слоя керамической пластинки повышают ее износостойкость при скорости резания в пределах 100...350 об/мин. Причем с повышением скорости резания во всех случаях наблюдается тенденция повышения износа режущей пластинки. Но износостойкость пластин с оксидными покрытиями фактически в 4 раза выше, чем у необработанных. Это достигается, очевидно, в первую очередь за счет снижения коэффициента трения, а также благодаря падению химической активности поверхностного рабочего слоя.

Известно, что процесс резания может сопровождаться пластическим течением поверхностных контактных слоев инструментального материала и их дальнейшим срезом. Это связано с размягчением материала инструмента при больших скоростях и подачах обработки. Однако керамические материалы обладают достаточной твердостью даже при высоких температурах и поэтому срез материала происходит в месте соединения покрытия и режущей пластинки.

Можно представить, что в процессе резания имеет место рост оксидной пленки на поверхности подложки (композита) за счет диффузии к ней кислорода. Это в конечном итоге приводит к образованию твердых растворов шпинельного типа, которые увеличивают вязкость разрушения керамических пластин и снижают вероятность абразивного износа.

Чем выше скорость резания, а следовательно, температура, тем больше толщина оксидной пленки, а значит сильнее проявляются ее защитные свойства. Химическая активность материала резца, таким образом, снижается.

Устойчивость и эффективность оксидного покрытия объясняется, очевидно, не только прочной адгезионной связью между покрытием и подложкой, но и возможностью образования твердых растворов внедрения или замещения между материалом покрытия и подложкой, а также наличием эффективного диффузионного барьера на границе «инструмент – обрабатываемый материал». При наличии оксидного слоя снижается также вероятность хрупкого разрушения керамики.

Выводы. С учетом природы и химического состава исследуемых СТМ и КМ материалов предложен и частично опробован способ химико-термического нанесения оксидных покрытий, суть которого заключается в воздействии (30...60 мин) перегретого (600°C) пара водного раствора (3 %) различных солей на рабочую поверхность инструмента.

Технологический процесс нанесения оксидных покрытий опробован в лабораторной печи, прост, недорогой, высокопроизводителен, экологически чист.

Предварительные сравнительные испытания режущих пластин из КНБ и композитов на основе оксидов, нитридов и

других мелкодисперсных абразивных частиц показали, что оксидные покрытия оказывают положительное влияние на их износостойкость. Наиболее значительный эффект (износ уменьшается в 2...4 раза) достигается при обработке чугуна и стали 40Х (закаленной до 50-52 НЛС), если скорость резания не превышает 140...150 м/мин.

С увеличением скорости резания вплоть до 500 м/мин наблюдается пропорциональное увеличение износа, характерное для пластин из КНБ.

В дальнейшем необходимо провести исследования диффузионных и физико-химических процессов, происходящих в поверхностных слоях режущих пластин во время ХТО и в результате механической обработки. Кроме того, следует продолжить исследования в направлении более широкого варьирования параметрами процесса ХТО инструмента – температурой, химическим составом и концентрацией насыщающей среды. Это позволит добиться их оптимизации, а также уточнить химический состав покрытия.

Список использованных источников

1. Даниелян, А.М. Теплота и износ инструментов в процессе резания [Текст] / А.М. Даниелян. – М.: Машгиз, 1984. – 275 с.
2. Конструкционные материалы [Текст] / под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986. – 383 с.
3. Макаров, А.Д. Износ и стойкость режущих инструментов [Текст] / А.Д. Макаров. – М.: Машиностроение, 1966. – 264 с.
4. Табаков, В.П. Износостойкие покрытия на основе нитрида титана, легированного железом и алюминием, для режущих пластин резания [Текст] / В.П. Табаков // Станки и инструмент. – 1991. – №3. – С. 29-30.
5. Шагнев, С.А. Экономическая эффективность использования режущего инструмента с покрытиями, полученными методом химического и физического осаждения: CVD и PVD [Текст] / С.А. Шагнев, С.В. Бойко // Новые материалы и ресурсосберегающие технологии термической и химико-термической обработки деталей машин и инструмента: тез. докл. к зонал. конф., 12-13 апр. 1990. – Пенза, 1990. – С. 42-43.
6. Мацевитый, В.М. Покрытия для режущих инструментов [Текст] / В.М. Мацевитый. – Харьков: Вища шк., 1987. – 128 с.
7. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвёрдыми и керамическими материалами, и их применение резанием [Текст] / В.П. Жедь, Г.В. Боровской, Я.А. Музыкант, Г.М. Ипполитов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1987. – 319 с.
8. Гуров, К.П. Взаимная диффузия в многофазных металлических системах [Текст] / К.П. Гуров, Б.А. Карташкнн, Ю.Э. Угасте. – М.: Наука, 1981. – 349 с.

Тимофеева Лариса Андріївна, д-р техн. наук, професор, завідувача кафедри матеріалів і технології виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-49.

Комарова Ганна Леонідівна, канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалів і технології виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту.. Тел.: (057) 730-10-49.

Timofeeva Larisa Andreevna, dr. sciences, professor, head. department of materials and technology of the manufacture of products for transport purposes Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel: (057) 730-10-49.

Komarova Anna Leonidovna, k-t technology. sciences, associate professor, department of materials and technology of the manufacture of products for transport purposes Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-49.

УДК 621.785.6

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Канд. техн. наук Л.И. Путятина, д-р техн. наук Л.А. Тимофеева

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВИЛИВКІВ З ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

Канд. техн. наук Л.І. Путятіна, д-р техн. наук Л.А. Тимофеева

PARTICULARS APPLICATION OF DUCTILE IRON CASTINGS

Cand. of techn. sciences L. Putyatina, Doct. of techn. sciences L. Timofeeva

В статье приведены результаты анализа взаимосвязи структуры и механических свойств отливок из высокопрочного чугуна с шаровидной формой графита, опыта и перспектив их промышленного применения. Показано, что рост объема производства отливок из высокопрочного чугуна обусловлен исключительно благоприятным сочетанием физико-механических, эксплуатационных и технологических свойств этого конструкционного материала, а также экономическими соображениями.

Ключевые слова: высокопрочный чугун с шаровидным графитом, физико-механические свойства, модифицирование, термическая обработка, структура чугуна, номенклатура чугунных отливок.

У статті наведено результати аналізу взаємозв'язку структури і механічних властивостей виливків з високоміцного чавуну з кулястою формою графіту, досвіду і перспектив їхнього промислового застосування. Показано, що зростання обсягу виробництва виливків з високоміцного чавуну обумовлено виключно сприятливим поєднанням фізико-механічних, експлуатаційних і технологічних властивостей цього конструкційного матеріалу, а також економічними міркуваннями.

Ключові слова: високоміцний чавун з кулястим графітом, фізико-механічні властивості, модифікування, термічна обробка, структура чавуну, номенклатура чавунних виливків.

The results of analysis of the relationship of structure and mechanical properties of ductile cast iron pots with globular graphite form, experience and perspectives of their industrial application. It is shown that the growth in the production of castings of ductile iron is caused exclusively by a favorable combination of physical, mechanical, operational and technological properties of this material, as well as economic considerations.

The main factors regulating the cast structure and level of physical, mechanical and operational characteristics of ductile iron are: the quality of the initial melt modification modes (including composition, quantity, method and sequence of input and additives), chemical composition and rate of solidification of the metal.

Heat treatment of ductile iron is more effective than iron with lamellar graphite, since graphite spherical than weakens the metal substrate than the plate. Castings from nodular iron are exposed to various types of heat treatment. The purpose of heat treatment - structurally free cementite decomposition in relatively thin sections of the casting (graphitizing joke) or hardening of pearlite matrix (normalization). Can be used combined heat treatment, the purpose of pursuing the expansion of structurally free cementite with subsequent normalization.

Keywords: ductile cast iron with nodular graphite, physical and mechanical properties, modification, heat treatment, the structure of cast iron, iron casting range.

Введение. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ), характеризующийся сочетанием высоких технологических,

физико-механических и эксплуатационных характеристик, широко применяется взамен стального литья, поковок, штамповок, ковкого

и серого чугунов, обеспечивая надежность и долговечность изделий в различных режимах эксплуатации. Отличительные особенности ВЧШГ в сравнении со сталью – более высокое отношение предела текучести к пределу прочности при растяжении, равное 0,7-0,8 (против 0,50-0,55 для стали), достаточно высокий модуль упругости, низкая чувствительность к концентраторам напряжений, повышенная (в 1,5-3,5 раза) циклическая вязкость – позволяют считать этот конструкционный материал весьма перспективным. Высокая жидкотекучесть этого сплава открывает возможности расширить номенклатуру изделий из него, снизить сечение и массу отливок, повысив тем самым их жесткость. Широкое использование ВЧШГ в деталях машин, наряду с их надежностью, является мощным резервом снижения расхода материалов, энергозатрат, себестоимости изделий и улучшения показателей их работы [1, 2].

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Промышленное освоение чугунов с шаровидным графитом начато в 1948-1949 гг., когда фирма «International Nickel Company» (INCO) (США) и Британская исследовательская ассоциация чугунного литья опубликовали первые патентные материалы по технологии получения нового сплава (патенты США № 2485760 и № 2488511). В тех же годах (1948-1949) в Киеве и Москве начинает активно развиваться это направление: создаются научные школы по разработке технологий получения ВЧШГ и изучению свойств высокопрочных чугунов. В настоящее время удельный вес отливок из высокопрочного чугуна в общем объеме чугунного литья можно считать весьма объективным показателем уровня развития литейного производства в стране.

Анализ последних исследований и публикаций. По теории и практике применения высокопрочного чугуна при изготовлении отливок опубликовано очень большое количество работ, как нашими, так и зарубежными учёными. Равно как и по исследованию механизмов получения высокопрочных чугунов.

Несмотря на обилие трудов на эту тему, до сих пор дискуссионными остаются такие важные вопросы, как оптимальный состав модификатора, условия и технологии

модифицирования, механизм образования графита, режимы термообработки и др.

Влияние структуры на механические свойства изделий из ВЧШГ также широко освещено в технической литературе и используется в практике металлургического производства. Однако в настоящее время еще нет систематизированных данных, позволяющих разработать технологический процесс производства изделий из деформированного чугуна с учетом характера изменения его структуры при различных методах ОМД, что часто приводит к снижению физико-механических свойств, а, следовательно, и ухудшению качества готовых изделий. Во многих случаях выбор схемы деформации определяется наличием оборудования. Например, попытки получения трубной заготовки из чугуна чаще всего осуществляют методом горячего прессования, что приводит к высокой анизотропии свойств и невозможности дальнейшего использования изделий при радиальных нагрузках, эксплуатации их под внутренним давлением [3-6].

Определение цели и задачи исследования. Целью данной работы является изучение и анализ взаимосвязи структуры и механических свойств отливок из ВЧШГ, опыта и перспектив их промышленного применения.

Основная часть исследования. Наиболее распространённым в мировой практике способом получения высокопрочного чугуна является магниевый процесс, основанный на введении в расплав металлического магния, магниевых лигатур и комплексных модификаторов, содержащих магний.

Основными факторами регулирования литой структуры и уровня физико-механических и эксплуатационных характеристик высокопрочного чугуна являются: качество исходного расплава, режимы модифицирования (включающие состав, количество, способ и очередность ввода присадок), химический состав и скорость затвердевания металла.

Для чугуна с шаровидным графитом характерна заметная пластичность и вязкость, которые обуславливаются шаровидной формой включений графита, получаемой в процессе изготовления отливок. Чугуны с шаровидным графитом имеют широкий диапазон

механических и эксплуатационных свойств. Механические свойства чугуна с шаровидным

графитом регламентируются ГОСТ 7293-85 (см. таблицу).

Таблица

Механические свойства чугуна с шаровидным графитом (ГОСТ 7293-85)

Чугун	Свойства			
	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %	НВ
ВЧ 35	350	220	22	140-170
ВЧ 40	400	250	15	140-202
ВЧ 45	450	310	10	140-225
ВЧ 50	500	320	7	153-245
ВЧ 60	600	370	3	192-277
ВЧ 70	700	420	2	228-302
ВЧ 80	800	480	2	248-351
ВЧ 100	1000	700	2	270-360

В настоящее время все более широкое распространение на заводах находит термическая обработка чугуна. Отливки из высокопрочного чугуна подвергаются различным видам термической обработки: низкотемпературному и графитизирующему отжигу, нормализации, изотермической закалке, поверхностной закалке с нагревом ТВЧ. Одной из особенностей термической обработки чугуна, в отличие от стали и цветных металлов, является необходимость более строгого учета структуры и механических свойств материала в исходном состоянии. При термической обработке чугунные детали необходимо нагревать и охлаждать с такой скоростью, которая гарантировала бы от образования наружных и внутренних трещин и деформаций. В изделиях большого сечения и сложной конфигурации особенно рекомендуется пониженная скорость нагрева и охлаждения. Опасной является повышенная скорость нагрева в температурной области упругого состояния. Для чугуна этот интервал находится при температурах от 20 до 500⁰С. При более высоких температурах скорость нагрева может быть увеличена [7-9].

Номенклатура отливок из ВЧШГ, освоённая в мировом транспортном машиностроении, включает в себя коленчатые и распределительные валы, блоки цилиндров, кронштейны рессор, картеры заднего моста, дифференциала и делителя, шатуны, тормозные

барабаны, диски сцепления, маховики, выхлопные коллекторы, крышки подшипников, ступицы, зубчатые колеса, поршни, поршневые кольца, корпуса турбин, сервоцилиндры, кулаки заднего моста, поворотные шкворни, водила планетарного механизма конечной передачи, корпуса передней оси, рычаги поворотного кулака и др. Особо высокий технико-экономический эффект обеспечивает производство из бейнитного чугуна с шаровидным графитом коленчатых валов в автомобилестроении. Средние значения предела выносливости коленчатых валов при ступенчатых испытаниях на изгиб в случае бейнитного чугуна вдвое выше по сравнению с высокопрочным перлитным чугуном с шаровидным графитом. При одинаковой конструкции коленчатые валы из бейнитного чугуна имеют на 10 % меньшую массу и на 20 % меньший модуль упругости при одинаковых показателях относительного удлинения и твердости.

Выводы на основании исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Проведенный анализ показал, что рост объема производства отливок из ВЧШГ обусловлен исключительно благоприятным сочетанием физико-механических, эксплуатационных и технологических свойств этого конструкционного материала, а также экономическими соображениями.

Наиболее актуальными для исследования в настоящее время являются вопросы, касающиеся оптимизации технологических параметров при получении, термообработке и поверхностном упрочнении ВЧШГ,

закономерностей структурообразования при горячей пластической деформации отливок из ВЧШГ, а также повышения эффективности и совершенствования процессов механической обработки чугуновых заготовок.

Список использованных источников

1. Бубликов, В.Б. Высокопрочному чугуну – 60 [Текст] / В.Б. Бубликов // Литейное производство. – 2008. – №11. – С. 2-8.
2. Солнцев, Л.А. Получение чугунов повышенной прочности [Текст] / Л.А. Солнцев, А.М. Зайденберг, А.Ф. Малый. – Харьков: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. – 152 с.
3. Корниенко, Э.Н. Перспективы производства отливок из ЧШГ аустенитно-бейнитного класса [Текст] / Э.Н. Корниенко, А.Г. Панов, Д.Ф. Хальфин // Литейщик России. – 2006. – № 2. – С. 22-25.
4. US2485760. Cast ferrous alloy. K.D. MILLIS AT AL.
5. Высококачественные чугуны для отливок [Текст] / В.С. Шумихин, В.П. Кутузов, А.И. Храмченков [и др.]; под ред. Н.Н. Александрова. – М.: Машиностроение, 1982. – 222 с.
6. Любченко, А.П. Высокопрочные чугуны [Текст] / А.П. Любченко. – М.: Металлургия, 1982. – 120 с.
7. Литовка, В.И. Повышение качества высокопрочного чугуна в отливках [Текст] / В.И. Литовка. – К.: Наук. думка, 1987. – 208 с.
8. Захарченко, Э.В. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом [Текст] / Э.В. Захарченко, Ю.Н. Левченко, В.Г. Горенко, П.А. Вареник. – К.: Наук. думка, 1986. – 248 с.
9. Путятіна, Л.І. Формування поверхневого шару виробів з високоміцного чавуну у процесі комплексної механічної обробки [Текст] / Л.І. Путятіна // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2002. – Вип. 49. – С. 90-93.

Путятіна Лариса Іванівна, канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалів та технологій виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-49. E-mail: zdelanovklase@mail.ru.

Тимофеева Лариса Андріївна, д-р техн. наук, професор кафедри матеріалів та технологій виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-49.

Putyatina Larisa Ivanovna, c-t of techn. science, docent department of materials and manufacturing techniques for transport purposes Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-49. E-mail: zdelanovklase@mail.ru.

Timofeeva Larisa Andreevna, d-r of techn. science, professor department of materials and manufacturing techniques for transport purposes Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-49.

УДК 681.518.54, 621.311, 656.25

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ Й АВТОМАТИКИ ДЛЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Кандидати техн. наук І.В. Піскачова, С.Є. Бантюков, М.О. Колісник

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ДЛЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Кандидаты техн. наук И.В. Пискачева, С.Е. Бантюков, М.А. Колесник

RELIABILITY ANALYSIS OF MICROPROCESSOR SYSTEMS RELAY PROTECTION AND AUTOMATION FOR RAILWAY ENERGY SYSTEMS

Candidates of technical Sciences I. Piskachova, S. Bantyukov, M. Kolisnyk

Проведено аналіз недоліків мікропроцесорних систем релейного захисту й автоматики для енергосистем залізничного транспорту та можливості підвищення їх надійності за допомогою методу дублювання як апаратних, так і програмних засобів, а також розрахунок надійності досліджуваних структур.

Ключові слова: мікропроцесорна система релейного захисту та автоматики, надійність, дублювання, апаратні засоби, програмні засоби, ймовірність безвідмовної роботи, енергосистеми залізничного транспорту.

Проведен анализ недостатков систем релейной защиты и автоматики для энергосистем железнодорожного транспорта и возможности повышения их надежности с помощью дублирования как аппаратных, так и программных средств, а также расчет надежности исследуемых структур.

Ключевые слова: микропроцессорная система релейной защиты и автоматики, надежность, дублирование, аппаратные средства, программные средства, вероятность безотказной работы, энергосистемы железнодорожного транспорта.

The analysis of faults of microprocessors relay protection and automation of energy systems for railway transport faults and opportunities to increase their reliability by duplicating the method as a hardware so are software and calculation of reliability of structures that are investigated. The technical level of microprocessor devices of relay protection and automation usually considered from several positions: technical excellence and reliability of the devices, microprocessor-based protective relaying and automation technology level, which determines the performance of the system microprocessor relay protection and automation algorithms embedded security and automation; functionality of microprocessor relay protection systems and automation; possibility of integrating relaying and automation microprocessor systems in other systems. Invalid action relaying is one of the main causes of severe accidents that occasionally occur in energy systems - max globally. Therefore, the reliability of relay protection largely depends on the reliability of the entire grid. Previously developed methods to increase reliability of attitude to the old element base and microprocessor devices of relay protection and automation with a number of features that can not be taken into account in the calculation of these methods. It is necessary to develop new approaches to design microprocessor devices of relay protection and automation and methodology for assessing the performance reliability of these systems.

Keywords: microprocessor relay protection and automation systems, reliability, redundancy, hardware, software, failure operation, railway energy systems.

Вступ. Модернізація енергосистем (ЕС) на залізничному транспорті заснована на впровадженні інноваційних технологічних

розробок і використанні сучасних систем управління. Особлива увага у даний час приділяється проектуванню та впровадженню

високонадійних мікропроцесорних систем релейного захисту й автоматики (МС РЗА), які призначені для мінімізації негативного ефекту від виникаючих в енергосистемі різного роду ушкоджень і аномальних режимів. Тому необхідно розглядати різноманітні методи підвищення надійності МС РЗА з метою визначення найбільш ефективного методу.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Технічний рівень пристроїв МС РЗА звичайно розглядають з декількох позицій: технічна досконалість та надійність функціонування пристроїв МС РЗА; технологічний рівень, що визначає виконання МС РЗА вбудованих алгоритмів захисту та автоматики; функціональність МС РЗА; можливість інтегрування МС РЗА в інші системи. Неправильні дії релейного захисту є однією з основних причин виникнення важких аварій, що періодично відбуваються в ЕС. Тому від надійності релейного захисту багато в чому залежить надійність всієї ЕС. Розроблені раніше методи підвищення надійності ЕС ставилися до старої елементної бази, а пристрої МС РЗА мають цілий ряд особливостей, які не можуть бути враховані при цих методах розрахунку. Необхідно розробити нові підходи до проектування високонадійних МС РЗА, надійність яких суттєво впливає на надійність ЕС та методики оцінки показників надійності цих систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За даними North American Electric Reliability Council [1,5], в 74 % випадків причиною важких аварій в енергосистемах були неправильні дії релейного захисту в процесі розвитку аварії. Серпнева аварія 2003 року позбавила електроенергії п'ять найбільших міст США та Канади. Це обвальне відключення електрики вже визнано найбільшою енергетичною аварією в історії Америки, і представники офіційної влади привселюдно визнали, що національна мережа електропостачання США застаріла і має потребу в модернізації [1,5,6]. Після цієї аварійної ситуації в енергосистемі США та Канади висловлювалася версія про перевантаження електромережі, внаслідок локальної аварії на одній з генеруючих потужностей. Для забезпечення її безаварійної роботи існують пристрої релейного захисту та

протиаварійної автоматики, які мають спрацьовувати незалежно від того, з яких причин виник збій у системі. Їх призначення – локалізувати джерело аварії і не допустити її поширення на всю іншу енергосистему, чого у вищерозглянутій аварійній ситуації не відбулося [5,6].

Надійність функціонування МС РЗА визначає надійність спрацьовування (при ушкодженнях у зоні, що захищається). Зростаючі вимоги до МС РЗА мають забезпечити умови безперебійного забезпечення споживачів електроенергією, що має високу якість. [1,5,6].

До релейного захисту мікропроцесори прийшли на початку 80-х років (Siemens і ABB). Вимірювальні перетворювачі сприймають в основному тільки два параметри: величину струму та величину напруги в мережі. Мікропроцесорні пристрої на підставі аналізу двох даних параметрів видають і запам'ятовують ще цілий ряд додаткових параметрів, наприклад таких, як причина відключення, час і дата відключення, струм і тривалість аварійної ситуації, векторна діаграма напруг і струмів у лінії в момент відключення та ін. Але кінцеве завдання цих пристроїв – дати сигнал на відключення при перевантаженні мережі [5,6].

До недоліків МС РЗА належать:

- висока чутливість, яка впливає на помилкове спрацьовування;

- багатошарові друковані плати МС РЗА, які припускають величезну кількість контактних перемичників між шарами. Відомі випадки неправильних дій МС РЗА внаслідок зростання перехідного опору цих переходів [5];

- відмовою мікропроцесорних систем (МС) є не тільки відмова апаратних засобів (АЗ), а також відмови та збої через помилки в його програмних засобах (ПЗ) [1-4,7], які не завжди виявляються при тестуванні;

- необхідність відновлення ПЗ, що застаріває набагато швидше, ніж техніка [1-5]. При цьому часто при відновленні ПЗ виникає невідповідність між АЗ і ПЗ, або вносяться нові помилки [1-3,7]. Ці проблеми можуть призвести до важких наслідків для енергомережі. Як відомо, однією з причин найбільшої аварії в енергосистемах США та Канади в серпні 2003 року була відмова комп'ютерної системи управління в енергосистемі "First Energy" [1];

- мініатюризація МС РЗА, яка призводить до використання електронних елементів, що працюють із перевантаженням і розсіюють підвищену кількість тепла, що призводить до зниження її надійності та прискорює старіння елементів [5,6].

Все вищесказане вказує на те, що необхідно створювати високонадійні МС РЗА із застосуванням методів підвищення надійності як АЗ, так і ПЗ [1,2,7].

Визначення мети та задачі дослідження. Деякі автори [5,6] для підвищення надійності пропонують дублювання систем релейного захисту системами за різними принципами роботи: один канал – впровадження МС РЗА, а другий канал – електромеханічний захист, що дуже добре зарекомендував себе протягом багатьох років. Однак і самі МС РЗА потребують подальшого підвищення їх надійності. Якщо перегріву електронних приладів можна позбутися за допомогою охолодження повітря кондиціонерами в приміщенні, де розташовані МС РЗА, та встановленням додаткових вентиляторів на елементах, що сильно перегріваються. В мікропроцесорних системах для підвищення надійності широко використовуються дубльовані АЗ з однією версією ПЗ.

Мета досліджень – аналіз можливості підвищення надійності МС РЗА за допомогою методу дублювання АЗ та ПЗ, а також приклад розрахунку надійності структур, що досліджуються.

Основна частина дослідження. Для підвищення надійності МС широко використовується метод пасивного резервування, що дає змогу виправляти

помилки без підключення нових резервних вузлів, а тільки за рахунок тих, які із самого початку беруть участь у роботі нарівні з іншими. В основі методу пасивного резервування лежать два основні принципи: передача та обробка інформації за декількома паралельно працюючими каналами замість одного, при цьому помилки статистично незалежні; використання спеціальних засобів і процедур для відновлення правильної інформації на рівні окремих частин і надмірної системи в цілому, щоб виключити розповсюдження помилок по структурі [1, 2, 7].

Розглянемо варіант відмовостійкої двоканальної структури, коли АЗ створені з мікропроцесорів різних фірм, мають кожен свою систему контролю та діагностування (СКД) та ПЗ. Для аналізу надійності МС розглянемо випадок функціонування системи до першої відмови. При цьому можна прийняти, що ймовірність безвідмовної роботи (ІБР) АЗ змінюється залежно від часу за експоненціальним законом розподілу. Програмні засоби, як відомо, не зовсім підходять для оцінювання за допомогою експоненціального закону, однак, в умовах функціонування до першої відмови, коли кількість помилок, що призводять до відмови ПЗ, постійна, нові помилки не вносяться, тому можна прийняти, що ІБР ПЗ змінюються від часу теж за експоненціальним законом розподілу.

За допомогою табличного процесора були отримані таблиці істинності можливих станів працездатності МС і отримано формулу для визначення ІБР двоканальної МС з двома версіями АЗ та ПЗ (1):

$$P = (p_{11} \cdot p_{12} \cdot p_{21} \cdot p_{22} + p_{12} \cdot p_{22} + p_{11} \cdot p_{21}) \cdot P_{skd1} \cdot P_{skd2}, \quad (1)$$

де p_{11} , p_{12} – ІБР АЗ першого та другого каналів відповідно;

p_{21} , p_{22} – ІБР ПЗ першого та другого каналів відповідно;

P_{skd1} , P_{skd2} – ІБР СКД першого та другого каналів відповідно.

А також для двоканальної МС, у якій дубльовані канали ідентичні (2):

$$P1 = (2 \cdot p_1 \cdot p_2 - p_1^2 \cdot p_2^2) \cdot P_{skd1} \cdot P_{skd2}, \quad (2)$$

де p_1 , p_2 – ІБР АЗ та ПЗ відповідно; P_{skd1} , P_{skd2} – ІБР СКД першого та другого каналів відповідно.

Позначимо інтенсивності відмов для МС з двоверсійними АЗ та ПЗ:

$\lambda_{11}, \lambda_{21}$ – інтенсивність відмов АЗ та ПЗ першого каналу;

$\lambda_{12}, \lambda_{22}$ – інтенсивність відмов АЗ та ПЗ другого каналу;

$\lambda_{skd1}, \lambda_{skd2}$ – інтенсивність відмов СКД першого та другого каналів відповідно.

Інтенсивності відмов для МС з одноверсійними АЗ та ПЗ:

λ_1, λ_2 – інтенсивність відмов АЗ та ПЗ;

$\lambda_{skd1}, \lambda_{skd2}$ – інтенсивність відмов СКД першого та другого каналів відповідно.

В табличному процесорі заповнили таблиці, за допомогою якої побудували графік залежності $P(t)$ для двоверсійної МС (рис. 1) та $P_1(t)$ для одноверсійної МС (рис. 2). Порівняння отриманих залежностей (рис. 3) показує, що дублювання МС за принципом різних версій приводить до підвищення ІБР МС РЗА.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	t, год	p11	p21	pskd1	p12	p22	pskd2	p
2	0	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
3	500	0,995012	0,995012	0,999950	0,997503	0,997503	0,999950	0,999844
4	1000	0,990050	0,990050	0,999900	0,995012	0,995012	0,999900	0,999578
5	1500	0,985112	0,985112	0,999850	0,992528	0,992528	0,999850	0,999205
6	2000	0,980199	0,980199	0,999800	0,990050	0,990050	0,999800	0,998727
7	2500	0,975310	0,975310	0,999750	0,987578	0,987578	0,999750	0,998146
8	3000	0,970446	0,970446	0,999700	0,985112	0,985112	0,999700	0,997465
9	3500	0,965605	0,965605	0,999650	0,982652	0,982652	0,999650	0,996686
10	4000	0,960789	0,960789	0,999600	0,980199	0,980199	0,999600	0,995812
11	4500	0,955997	0,955997	0,999550	0,977751	0,977751	0,999550	0,994844
12	5000	0,951229	0,951229	0,999500	0,975310	0,975310	0,999500	0,993785
13	5500	0,946485	0,946485	0,999450	0,972875	0,972875	0,999450	0,992637
14	6000	0,941765	0,941765	0,999400	0,970446	0,970446	0,999400	0,991402
15	6500	0,937067	0,937067	0,999350	0,968022	0,968022	0,999350	0,990082
16	7000	0,932394	0,932394	0,999300	0,965605	0,965605	0,999300	0,988680
17	7500	0,927743	0,927743	0,999250	0,963194	0,963194	0,999250	0,987197
18	8000	0,923116	0,923116	0,999200	0,960789	0,960789	0,999200	0,985635
19	8500	0,918512	0,918512	0,999150	0,958390	0,958390	0,999150	0,983996
20	9000	0,913931	0,913931	0,999100	0,955997	0,955997	0,999100	0,982283
21	9500	0,909373	0,909373	0,999050	0,953610	0,953610	0,999050	0,980496
22	10000	0,904837	0,904837	0,999000	0,951229	0,951229	0,999000	0,978638

Рис. 1. Аналіз залежності ІБР МС від часу двоверсійних АЗ та ПЗ при

$\lambda_{11}=1 \cdot 10^{-5}$ 1/год, $\lambda_{21}=1 \cdot 10^{-5}$ 1/год, $\lambda_{12}=0,5 \cdot 10^{-5}$ 1/год,
 $\lambda_{22}=0,5 \cdot 10^{-5}$ 1/год, $\lambda_{skd1}=1 \cdot 10^{-7}$ 1/год,
 $\lambda_{skd2}=1 \cdot 10^{-7}$ 1/год

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	t	p1	p2	p1	p2	pskd1	pskd2	P1(t)
2	0	1	1	1	1	1	1	1
3	500	0,997503	0,997503	0,997503	0,997503	0,99995	0,99995	0,997397
4	1000	0,995012	0,995012	0,995012	0,995012	0,9999	0,9999	0,994789
5	1500	0,992528	0,992528	0,992528	0,992528	0,99985	0,99985	0,992175
6	2000	0,99005	0,99005	0,99005	0,99005	0,9998	0,9998	0,989556
7	2500	0,987578	0,987578	0,987578	0,987578	0,99975	0,99975	0,986932
8	3000	0,985112	0,985112	0,985112	0,985112	0,9997	0,9997	0,984303
9	3500	0,982652	0,982652	0,982652	0,982652	0,99965	0,99965	0,981669
10	4000	0,980199	0,980199	0,980199	0,980199	0,9996	0,9996	0,979031
11	4500	0,977751	0,977751	0,977751	0,977751	0,99955	0,99955	0,976388
12	5000	0,97531	0,97531	0,97531	0,97531	0,9995	0,9995	0,973741
13	5500	0,972875	0,972875	0,972875	0,972875	0,99945	0,99945	0,97109
14	6000	0,970446	0,970446	0,970446	0,970446	0,9994	0,9994	0,968435
15	6500	0,968022	0,968022	0,968022	0,968022	0,99935	0,99935	0,965776
16	7000	0,965605	0,965605	0,965605	0,965605	0,9993	0,9993	0,963114
17	7500	0,963194	0,963194	0,963194	0,963194	0,99925	0,99925	0,960448
18	8000	0,960789	0,960789	0,960789	0,960789	0,9992	0,9992	0,957779
19	8500	0,95839	0,95839	0,95839	0,95839	0,99915	0,99915	0,955106
20	9000	0,955997	0,955997	0,955997	0,955997	0,9991	0,9991	0,952431
21	9500	0,95361	0,95361	0,95361	0,95361	0,99905	0,99905	0,949752
22	10000	0,951229	0,951229	0,951229	0,951229	0,999	0,999	0,947071

Рис. 2. Аналіз залежності ІБР МС від часу одноверсійних АЗ та ПЗ при

$\lambda_1=0,5 \cdot 10^{-5}$ 1/год, $\lambda_2=0,5 \cdot 10^{-5}$ 1/год,
 $\lambda_{skd1}=1 \cdot 10^{-7}$ 1/год, $\lambda_{skd2}=1 \cdot 10^{-7}$ 1/год

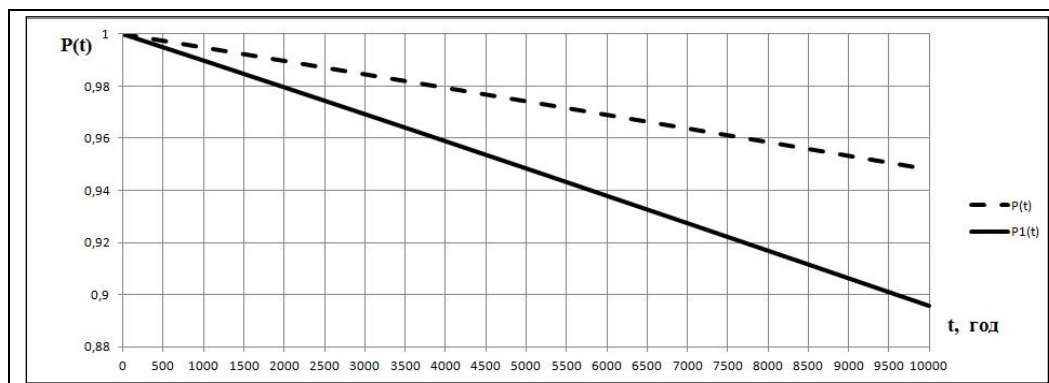


Рис. 3. Порівняння залежності ІБР МС від часу одноверсійних АЗ та ПЗ при $\lambda_1=0,5 \cdot 10^{-5}$ 1/год, $\lambda_2=0,5 \cdot 10^{-5}$ 1/год ($P_1(t)$) та залежності ІБР МС від часу двоверсійних АЗ та ПЗ при $\lambda_{11}=1 \cdot 10^{-5}$ 1/год, $\lambda_{21}=1 \cdot 10^{-5}$ 1/год, $\lambda_{12}=0,5 \cdot 10^{-5}$ 1/год, $\lambda_{22}=0,5 \cdot 10^{-5}$ 1/год, $\lambda_{skd1}=1 \cdot 10^{-7}$ 1/год, $\lambda_{skd2}=1 \cdot 10^{-7}$ 1/год

Висновок. Дослідження МС показали, що навіть маючи високу надійність одноверсійних АЗ та ПЗ, вони поступаються за надійністю МС, де АЗ та АЗ мають різні версії. Подальші дослідження будуть проводитись для адаптивних МС з автоматичним включенням

або відключенням резервного каналу та оцінкою надійності таких систем. Ці МС широко використовуються для підвищення надійності МС РЗА, однак введення багатоверсійності ПЗ та АЗ в ЕС на залізничному транспорті не розглядалось.

Список використаних джерел

1. Харченко, В.С. Безопасность критических инфраструктур: математические методы анализа и обеспечения [Текст] / В.С. Харченко. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2011. – 641 с.
2. Безопасность критических инфраструктур: математические и инженерные методы оценки и обеспечения [Текст] / под ред. В.С. Харченко. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2011. – 603 с.
3. Харченко, В.С. Гарантоспособность и гарантоспособные системы: элементы методологии [Текст] / В.С. Харченко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – № 5(17). – С. 7–19.
4. Kharchenko, V.S. Dependable Systems and Multi-Version Computing: Aspects of Evolution [Text] / V.S. Kharchenko // Radio Electronic and Computer Systems. – 2009. – № 7 (41). – P. 46-60.
5. Гуревич, В.И. Микропроцессорные реле защиты: альтернативный взгляд [Текст] // Электроинфо. – 2006. – № 4 (№30). – С. 40-46.
6. Шнеерсон, Э.М. Цифровая релейная защита [Текст] / Э.М. Шнеерсон. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 547 с.
7. Колісник, М.О. Надійність програмних засобів мікропроцесорних пристроїв управління систем телекомунікації [Текст]: навч. посібник / М.О. Колісник, І.В. Піскачова. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – 167 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор В.І. Мойсеєнко

Піскачова Ірина Вікторівна, канд. техн. наук, доцент кафедри обчислювальної техніки та систем управління Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-40. E-mail: vtsu@kart.edu.ua.
Бантюков Сергій Євгенович, канд. техн. наук, завідувач кафедри обчислювальної техніки та систем управління Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-39.
E-mail: vtsu@kart.edu.ua.
Колісник Марина Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри транспортного зв'язку Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-83. E-mail: kart TZ@ukr.net.

Piskachova Iryna Viktorivna, candidate of technical Sciences, docent, Cafedra of Computer technics and Control Systems Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-40. E-mail: vtsu@kart.edu.ua.
Bantyukov Sergey Evgenovich, candidate of technical Sciences, Head of Cafedra of Computer technics and Control Systems Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-39. E-mail: vtsu@kart.edu.ua.
Kolisyk Maryna Olexandrivna, candidate of technical Sciences. docent, Cafedra of Transportation Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-83. E-mail: kart TZ@ukr.net

УДК 621.3.066.6

**АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Инж. В.С. Морозов

**АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО
УСТАТКУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Інж. В.С. Морозов

**ANALYSIS OF MATERIALS FOR ELECTRICAL CONTACTS OF RAILWAY TRANSPORT
ELECTRICAL FACILITIES**

Postgraduate V. Morozov

В статье проанализированы существующие материалы используемые, для электрических контактов на подвижном составе железнодорожного транспорта. Выяснено, что применяемые контактные материалы не отвечают требованиям современного машиностроения из-за своей высокой себестоимости, преждевременного изнашивания рабочей части, недостаточной дуговой стойкости, значительного удельного электрического сопротивления. Предложен новый материал на основе меди для электрических контактов, отвечающий требуемым характеристикам.

Ключевые слова: электрические контакты, технико-экономические показатели, дуговстойкие композиционные материалы.

У статті проаналізовано існуючі матеріали, використовувані для електричних контактів на рухомому складі залізничного транспорту. З'ясовано, що застосовувані контактні матеріали не відповідають вимогам сучасного машинобудування через свою високу собівартість, передчасне зношування робочої частини, недостатню дуговстійкість, значний питомий електричний опір. Запропоновано новий матеріал на основі міді для електричних контактів, що відповідає необхідним характеристикам.

Ключові слова: електричні контакти, техніко-економічні показники, дуговстійкі композиційні матеріали.

The article analyzes the existing materials used for electrical contacts on railway rolling stock. It has been established that the presently used materials such as copper, silver, and composite materials based on them do not provide a predetermined service life of contacts and their operation reliability in operation, have a greater cost of repairs, do not possess the necessary resistance to the action of an electric arc, which occurs between contacts, working with arcing, have significant resistivity, do not provide a secure fit.

In this regard, the development of material for electrical contacts satisfying the technical and economic criteria of modern engineering is an important task. In such a situation, is effective to use a new material based on copper, containing titanium boride, graphite, zirconium oxide and titanium oxide. This composite has a high electrical discharge resistance, and low resistivity, long service life, eliminates the need for expensive components and can be used in high-current electrical circuits.

Keywords: electric contacts, technical and economic performance, arc-resistant composite materials.

Постановка проблемы. На современном этапе развития железнодорожного транспорта острой становится проблема повышения надёжности, безопасности и безотказности работы его электротехнического оборудования. Параметры, определяющие качество работы такого оборудования, зависят от многих

факторов, таких как: качество и точность изготовления деталей оборудования, их сборки, материалов, из которых они изготовлены, правильное выведение оборудования на рабочие режимы и т. д. Большое количество машин приводится в действие электрическим током, поэтому в них имеется большее

количество электрических контактов, работающих на замыкание и размыкание электрических цепей, и коммутирующих устройств, представляющих собой надёжное соединение двух проводников, позволяющее проводить электрический ток. Проблемы при эксплуатации электрических контактов связаны с применением дорогостоящих материалов, преждевременным изнашиванием рабочей части, отпаиванием электрических контактов от держателей, разрушением отдельных частей конструкций и др.

Поэтому разработка материала для электрических контактов, который обеспечивал бы безотказность работы электрического оборудования, снижение себестоимости ремонтных работ такого оборудования, повышение срока службы контактов и предотвращение отрыва электрических контактов от держателей являются актуальными задачами [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. Большой вклад в изучение конструктивных особенностей, свойств материалов, технологию изготовления электрических контактов, а также исследования эрозийных процессов и характера токовой нагрузки внесли теоретические и экспериментальные работы таких ученых, как: В.Я. Берент, В.В. Измайлов, Ю.М. Королев, В.Н. Федоров, В.Я. Алехин, З.В. Игнатьева, Н.В. Гуревич, Л.П. Строка, Л.С. Шмелев и др.

Надежная работа контактов, осуществляющих размыкание и замыкание электрических цепей, определяется, прежде всего, элементами, обеспечивающими беспрепятственное прохождение тока. Специфика работы таких контактов обусловлена действием многочисленных факторов, зависящих от конструкции и материалов контактов, условий эксплуатации и воздействий внешней среды. Влияние перечисленного таково, что несмотря на правильно разработанную конструкцию и подобранный материал, контакты не могут при определенных внешних условиях обеспечивать надежную передачу электроэнергии. Таким образом, важной является задача по исследованию всех факторов, влияющих на работу электрических контактов, учет этих факторов в процессе поиска конструкторских решений, оказывающих влияние на работоспособность контактов, при подборе и разработке материалов для контактов,

определении оптимальных условий эксплуатации каждой пары контактов.

Работа электрических контактов сопряжена со сложными физико-химическими процессами, протекающими на их поверхности. В эксплуатации на них образуются соединения, которые могут значительно повлиять на первоначальные свойства материала. В связи с этим важным является также изучение процессов на поверхностях контактов и межконтактном промежутке, что позволит оптимизировать требования к материалам контактов, условиям их работы и в конечном итоге повысить надежность коммутации тока [2-4].

Постановка задачи. Целью статьи является анализ существующих материалов, используемых для электрических контактов, и обоснование необходимости разработки нового материала, технико-экономические показатели которого удовлетворяют требованиям современного машиностроения.

Основной материал исследования. В соответствии с природой контакта, кинематикой движения, характером токовой нагрузки, конструктивными особенностями электрические контакты подразделяют на несколько типов. По геометрической форме контактных поверхностей контакты могут быть точечными, линейными, плоскостными, по токовой нагрузке – сильноточными и слаботочными, по кинематике – неподвижными, разрывными, катящимися и скользящими. В зависимости от технологии выполнения неподвижные контакты могут быть паяными, сварными, клеевыми или зажимными с механическим соединением.

В качестве основных материалов для электрических контактов применяются: медь, серебро и композиционные материалы на их основе. В большинстве своем материалы, используемые для контактов, часто представляют собой смесь двух или более компонентов; многие из них получают методами порошковой металлургии.

Нашли применение цельнометаллические контакты (медь, платина, палладий, серебро, золото, а также вольфрам и молибден) и композиционные материалы, изготовленные методами порошковой металлургии (прессование заготовок из смеси металлических порошков и спекание их в высокотемпературных печах в вакууме или защитной атмосфере). Применяются также

биметаллические контакты, состоящие из рабочего слоя – основного контактного материала, и нерабочего слоя – основания из меди, никеля, железа и др. [3,4].

В электрооборудовании подвижного состава железных дорог Украины широко распространены материалы на основе меди с добавлением вольфрама, серебра и сплавы на его основе. Один из таких материалов состоит из 90 % вольфрама и 10 % меди. Этот материал считается первым порошковым материалом и предназначен для работы электрических контактов при высоких температурах и высоких напряжениях.

Сплавы для контактов, такие как серебро - медь, серебро - кадмий и др., имеют по сравнению с металлами повышенную прочность и твёрдость, поверхность их не тускнеет, но их электро- и теплопроводность значительно ниже соответствующих чистых металлов. Для получения требуемых характеристик контактов в силовых цепях разрабатываются композиционные материалы, которые сочетают высокую электро- и теплопроводность с высокими температурами плавления и кипения, обладающие высокой смачиваемостью, низкой изнашиваемостью при работе и т. д. [5]. Материалы, которые используются для контактных элементов, способные прерывать ток большой величины, противостоять действию силовых электрической дуги, механическому воздействию, должны содержать в себе 40 % или более тугоплавкого металла в сочетании с серебром или медью.

Для электрических контактов, работающих в условиях возникновения умеренной электрической дуги, возникающей при токах 50-150 А, в машиностроении применяется материал, состоящий из 85 % Ag и около 15 % CdO. На железнодорожном транспорте данный материал широко применяется в контактах тяговых подвижных составов.

Зачастую, при выходе из строя электрических контактов такого типа, возникает проблема, связанная с их ремонтом. Это обусловлено тем, что замену или восстановление электрических контактов с использованием серебросодержащих материалов производят только на ремонтных заводах, а в условиях депо данный вид работы проводить не разрешено, также при восстановлении электрических контактов возникает проблема

приобретения серебросодержащего материала из-за его высокой стоимости.

Широко используются контакты на основе вольфрама, они изготавливаются методом порошковой металлургии с применением пропитки пористых заготовок вольфрамоникелевого сплава серебром или медью и предназначены для замыкания и размыкания электрических цепей в аппаратах управления приёмниками электрической энергии и её распределения [6].

Большинство контактов работают при высоких значениях напряжения, силы тока, давлениях и т. д. При работе в таких режимах между контактами велика вероятность появления электрической дуги, что увеличивает износ поверхности контактов и может привести к преждевременному выходу их из строя, а в последствии и к скорому выходу из строя всего оборудования в целом, на котором они установлены. Поэтому особое внимание уделяется дугостойким материалам. Они применяются в силовых контактах, которые работают с дугогашением, например, в контакте главного контроллера электровоза и в дугогасительных контактах, таких как быстродействующий выключатель постоянного тока. Основная функция силовых контактов – коммутирование электрического тока при замыкании. Главная причина выхода из строя – выгорание материалов контактов в дуге при размыкании. Функция дугогасительных контактов – гашение электрической дуги. Основные требования, предъявляемые к дугогасительным контактам, – это высокая дугостойкость и низкое удельное электрическое сопротивление.

На практике часто возникает вопрос об использовании материалов системы Cu – C, т. к. медь в этом случае является токопроводящим компонентом, а графит хорошо сопротивляется дуговому воздействию. При изготовлении таких материалов необходимо, чтобы графит смачивался медью для более надёжной работы.

Проблема изготовления таких контактов заключается в том, что графит не взаимодействует с медью. Поэтому перспектива разработки материала для электрических контактов, работающих с дугогашением на основе системы, содержащей углерод и медь, заключается в том, что медь должна надёжно смачивать графит. Данная

проблема решається в сплаве матеріала на основі міді, який містить борид титана, графіт, діоксид цирконія і оксид титана. Даний композиційний матеріал має високу електроерозійну стійкість, низьким удільним і контактним опірністю, значительним терміном служби і дозволяє відмовитися від використання дорогих компонентів. Він може бути використаний для сильноточних контактів в сучасному електрообладуванні [7-9].

Висновки. В зв'язі з підвищенням вимог до електричному обладдуванню, зв'язаних з підвищенням потужності і швидкості тягового подвижного складу залізничних доріг, ускладнюються і вимоги, пред'являються до їх деталей, в тому числі і до електричним контактам. Остро стоїть проблема, зв'язана з тим, що використовуються на даний момент матеріали, такі як мідь, срібло і композиційні матеріали на їх основі, не забезпечують заданий термін служби

контактів і безотказність їх роботи в експлуатації, мають велику собівартість ремонтних робіт, не мають необхідним опірністю дії електричної дуги, яка виникає між контактами, працюючими з дугогашенням, не забезпечують уникнення відриву контактів від держателів. В цій зв'язі, розробка матеріала для електричних контактів, задовольняючого техніко-економічним критеріям сучасного машинобудування, є важливою задачею. В такій ситуації ефективним є застосування нового матеріала на основі міді, що містить борид титана, графіт, діоксид цирконія і оксид титана. Даний композит має високу електроерозійну стійкість, низьким удільним і контактним опірністю, значительним терміном служби, дозволяє відмовитися від використання дорогих компонентів і може використовуватися в сильноточних електричних ланках.

Список використаних джерел

1. Хольм, Р. Електричні контакти [Текст] / Р. Хольм. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1961. – 464 с.
2. Берент, В.Я. Матеріали і властивості електричних контактів в пристроях залізничного транспорту [Текст] / В.Я. Берент. – М.: Интекст, 2005. – 408 с.
3. Бойченко, В.И. Контактні з'єднання токоведущих шин [Текст] / В.И. Бойченко, Н.Н. Дзекер. – Л.: Энергия, 1978. – 1143 с.
4. Березин, В.Б. Справочник електротехнічних матеріалів [Текст] / Н.С. Прохоров, Г.А. Рыков, А.М. Хайкин. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 399 с.
5. Нотон, Б. Применение композиционных материалов в технике [Текст] / Б. Нотон. – М.: Машиностроение, 1978. – 508 с.
6. Нотыч, А.А. Влияние легирования на свойства вольфрам-медных электрических контактов / А. А. Нотыч, В. Ф. Кроликов, А. А. Жилин // Перспективные материалы. – 1999. – №4. – С. 80-82.
7. Харитонов, Е.О. Разработка материалов для силовых разрывных и дугостойких электрических контактов с повышенными эксплуатационными характеристиками, используемых на железнодорожном транспорте [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / Е.О. Харитонов; [Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский ин-т железнодорожного транспорта"]. – М., 2007. – 20 с.
8. Брон, О.Б. Проблемы электрических контактов в сильноточных аппаратах / О.Б. Брон // В сб.: Электрические контакты. – М.: Наука, 1973. – С. 7-15.
9. Харитонов, Е.О. Разработка дугостойких материалов для электрических контактов / Е.О. Харитонов // Сб. статей ученых и аспирантов "Развитие железнодорожного транспорта в условиях реформирования". – М.: Интекст, 2006. – С. 220-225.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Л.А. Тимофеева

Морозов Володимир Сергійович, здобувач кафедри матеріалів та технологій виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-49. E-mail: a.domin@mail.ru.

Morozov Vladimir, postgraduate department of materials and manufacturing technology products transport purposes Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-49. E-mail: a.domin@mail.ru.

УДК 621.793

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЯКОСТІ НАНЕСЕННЯ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Асп. А.Ю. Дьомін

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Асп. А.Ю. Дёмин

SYSTEMATIC APPROACH TO ASSESSING THE QUALITY OF APPLYING A PROTECTIVE COATING FOR RESTORATION DETAILS OF TRANSPORT DESTINATION

Postgraduate A. Dyomin

У статті розглянуто системний підхід до оцінки якості нанесення зміцнювального та антифрикційного покриття в одному технологічному циклі комплексної технології відновлення колінчастих валів. Запропоновано проводити оцінку якості колінчастих валів, які були виготовлені та відновлені нанесенням захисних покриттів, використовуючи базові принципи з обрання технології нанесення покриттів та визначення їх фізико-механічних властивостей.

Ключові слова: колінчастий вал, комплексна технологія відновлення, якість покриття, фізико-механічні властивості.

В статье рассмотрен системный подход к оценке качества нанесения упрочняющего и антифрикционного покрытия в одном технологическом цикле комплексной технологии восстановления коленчатых валов. Предложено проводить оценку качества коленчатых валов, которые были изготовлены и восстановлены нанесением защитных покрытий, используя базовые принципы по избранию технологии нанесения покрытий и определение их физико-механических свойств.

Ключевые слова: коленчатый вал, комплексная технология восстановления, качество покрытия, физико-механические свойства.

The article presents a comprehensive approach to assessing the quality of the application and reinforcing anti-friction coatings in one technological cycle of technology recovery of crankshafts.

Found that the use of methods of hardening and application wear-resistance coating must comply satisfactory level of performance tribosystems with acceptable processability, maintainability and economical efficiency processes of manufacturing and repair detail. Use of protective coatings in the manufacture and renovation of machinery parts makes demands for coatings and technologies for their application, the need to ensure receipt of the surface layer with stable physical and mechanical properties.

Proposed to assess the quality crankshafts, which were manufactured and repaired by applying protective coatings, using a structural model of implementation of decisions on technology selection of the application covering layer and cause-effect diagram to identify the factors that affect the quality of the coating.

Keywords: crankshaft, integrated process of recovery technology, the quality of coverage, physical and mechanical properties.

Постановка проблеми. Технологія виготовлення литих колінчастих валів, яка використовується у наш час у промисловості, забезпечує заданий рівень міцності матеріалу

валів, однак у процесі експлуатації відзначається ступінчасте зношування шийок валів, що викликає нерівномірний розподіл навантажень по довжині вала, зародження

втомних тріщин і руйнування валів. Аналіз характеру зношування шийок і руйнування колінчастих валів дає змогу встановити, що основними показниками, які характеризують працездатність валів, є зносостійкість поверхні їх шийок та опір утомі.

Аналіз процесів відновлення колінчастих валів показав, що частина з них містить енергоємні операції, інша частина підвищує зносостійкість, але при цьому знижується втомна міцність. Так само маловивченими є фізико-механічні властивості захисних покриттів, що безпосередньо впливають на експлуатаційні характеристики відновлених валів [1,2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням підвищення працездатності деталей технологічними методами, у тому числі завдяки розробленню й застосуванню поверхневого зміцнення, присвячено досить багато як аналітичних, так і експериментальних досліджень відомих учених Л.А. Тимофєєвої, Е.Д. Тартаковського, Ю.В. Дьоміна, В.М. Остапчука, В.І. Мороза, А.П. Фалендиша, М.Б. Кельріха та ін.

Перспективою розвитку та застосування нових способів зміцнення й нанесення зносостійких покриттів є їх відповідність задовільному рівню експлуатаційних характеристик трибосистем з прийнятною технологічністю, ремонтпридатністю й економічністю процесів виготовлення та ремонту деталей.

У цьому випадку доцільне застосування комплексних технологій, які включають термічну обробку в поєднанні зі способами, що забезпечують підвищення зносостійкості поверхні та навантаження задироутворення при малому значенні коефіцієнта тертя [2-4].

Постановка задачі. Метою статті є оцінка якості нанесення зміцнювального та антифрикційного покриття в одному

технологічному циклі комплексної технології відновлення колінчастих валів.

Основна частина дослідження.

Використання захисних покриттів при виготовленні й реновації деталей машин і механізмів висуває вимоги до покриттів і технологій їх нанесення, які полягають у необхідності забезпечення одержання поверхневого шару зі стійкими фізико-механічними властивостями. Оцінка якості технології нанесення захисних покриттів базується на сучасних технологічних методах й апаратурному забезпеченні, що дають змогу з високою точністю та надійністю оцінити короточасну міцність, міцність на розтягання й згин, міцність від утоми, визначення корозії покриттів тощо.

Для реалізації прийняття рішень щодо вибору технології нанесення покриттів і оцінки якості зміцнених і відновлених поверхонь деталей машин, рекомендується використовувати структурно-логічну модель, яка базується на розроблених принципах формалізованого вибору покриттів і технологій їх нанесення (рис. 1) [5].

Для оцінки основних факторів, що впливають на якісні характеристики одержуваного покриття, запропоновано використовувати причинно-наслідкову діаграму, наведену на рис. 2 [5].

Висновки. Застосований системний підхід до оцінки якості й технологічної ефективності нанесення зміцнювального та антифрикційного покриттів в одному технологічному циклі дає змогу зробити висновок, що використання комплексної технології при відновленні таких важливих і складних деталей, як колінчасті вали, дасть змогу значно підвищити зносостійкість, навантаження задироутворення та забезпечить низький коефіцієнт тертя триботехнічного з'єднання – шийка-вкладиш.

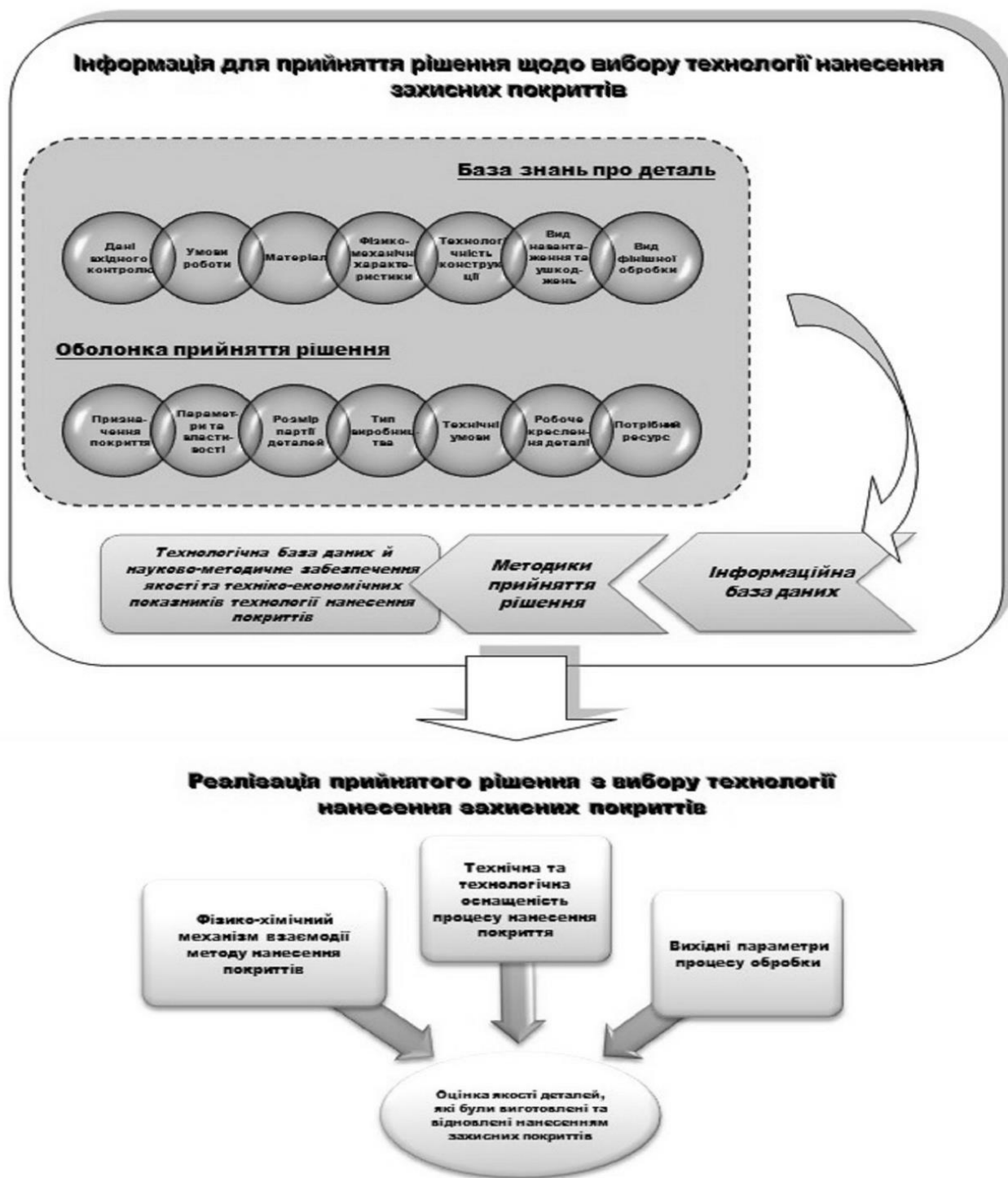


Рис. 1. Структурно-логічна модель реалізації прийняття рішень щодо вибору технології нанесення захисних покриттів та оцінки якості отриманих поверхонь деталей

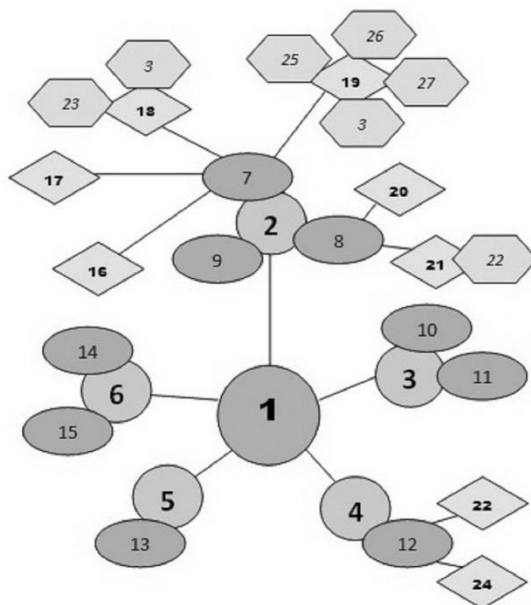


Рис. 2. Причинно-наслідкова діаграма визначення основних факторів, що впливають на якість нанесеного покриття:

1 – якість нанесеного покриття; 2 – властивості покриттів; 3 – залишкові напруження; 4 – зносостійкість та характеристики тертя; 5 – міцність від втоми; 6 – характеристики структури; 7 – механічні властивості; 8 – фізичні властивості; 9 – захисні властивості; 10 – розподіл напружень; 11 – значення напружень; 12 – мікротвердість; 13 – напруження стиснення; 14 – краплі; 15 – вирости; 16 – модуль пружності; 17 – коефіцієнт Пуассона; 18 – міцність покриття при розтягуванні; 19 – міцність зчеплення покриття з основою; 20 – щільність; 21 – пористість; 22 – пори; 23 – розтріскування; 24 – фактори процесу; 25 – відшарування; 26 – підготовка поверхні; 27 – сумісність матеріалу основи й покриття

Список використаних джерел

1. Пашкова, Г.І. Підвищення працездатності чавунних колінчастих валів потужних транспортних дизелів комбінованими методами зміцнення [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / Г.І. Пашкова; [Харківський національний автомобільно-дорожній ун-т]. – Харків, 2008. – 24 с.
2. Елизаветин, М.А. Повышение надёжности машин [Текст] / М.А. Елизаветин. – М.: Машиностроение, 1985. – 309 с.
3. Остапчук, В.Н. Математическая модель определения износов пары трения поршневое кольцо – гильза цилиндра, цилиндрической группы дизелей [Текст] / В.Н. Остапчук // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – 2004. – Вип. 26. – С. 184-189.
4. Тимофеева, Л.А. Повышение эксплуатационных характеристик деталей масляного насоса двигателя СМД 60 [Текст] / Л.А. Тимофеева, Л.В. Проскурина, С.С. Тимофеев // 36. наук. праць НТУ "ХПИ". – Харків: НТУ «ХПИ», 2001. – №1. – С. 263-265.
5. Зенкін, М.А. Технологічні основи забезпечення якості поверхневого зміцнення відповідальних деталей машин [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08 / М.А. Зенкін; [Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний інститут"]. – Харків, 2005. – 40 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор Л.А. Тимофеева

Дьомін Андрій Юрійович, аспірант кафедри матеріалів та технологій виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-49. E-mail: a.domin@mail.ru.

Dyomin Andrey, postgraduate department of materials and manufacturing technology products transport purposes Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-49. E-mail: a.domin@mail.ru.

УДК 621.83

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВАЛОВ ТРАНСПОРТНЫХ ДВС

Инж. Я.Г. Ленин

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ ТРАНСПОРТНИХ ДВЗ

Инж. Я.Г. Ленів

ANALYSIS OF THE METHODS TO RESTORE CAMSHAFTS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Eng. Y. Leniv

В статье анализировались способы и технологии восстановления распределительных валов транспортных двигателей внутреннего сгорания. Установлено, что на сегодняшний день нет универсального способа восстановления, совмещающего в себе высокую производительность, экономичность, экологичность и обеспечивающего высокую износостойкость пары кулачок – толкатель. Определены дальнейшие направления исследований в разработке нового способа восстановления, отвечающего вышеуказанным требованиям.

Ключевые слова: распределительный вал, кулачок, износ, восстановление.

У статті аналізувалися способи й технології відновлення розподільних валів транспортних двигунів внутрішнього згорання. Встановлено, що на сьогодні немає універсального способу відновлення, який поєднує в собі високу продуктивність, економічність, екологічність та забезпечує високу зносостійкість пари кулачок - штовхач. Визначено подальші напрямки досліджень у розробленні нового способу відновлення, що відповідає вищевказаним вимогам.

Ключові слова: розподільний вал, кулачок, знос, відновлення.

The article analyzed the methods and technologies of restoration the camshaft of internal combustion engine, their advantages and disadvantages, as well as working conditions couple camshaft cam – lifter. Found, that there is currently no rational way of recovery, which combined have a high performance, cost-effectiveness, as well as high wear resistance of the camshaft cam and lifter.

Requirement to ensure high wear couples camshaft cam - lifter is of particular relevance due to the fact that the currently increasing engine power, by increasing the speed of the crankshaft.

In this regard, it is urgent search for new universal recovery technologies camshafts internal combustion engines, that can increase the service life of the reduced camshaft, to ensure environmental cleanliness recovery process, reduce the cost and complexity of repairs, ensure high durability couples camshafts cam – lifter.

Keywords: camshaft, camshafts cam, chafe, recovery.

Постановка проблемы. Распределительный вал является важной частью механизма газораспределения двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и предназначен для передачи движения от коленчатого вала двигателя к клапанам.

При ремонте деталей газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания определенную сложность представляет восстановление кулачков распределительного вала.

Существующие в настоящее время способы восстановления кулачков не находят широкое применение в силу несоответствия технико-экономическим критериям современного машиностроения. Поэтому актуальной задачей является поиск новых способов и технологий восстановления, позволяющих повысить эффективность ремонта, а именно снизить трудоемкость и себестоимость, повысить эксплуатационный ресурс восстановленного вала, обеспечить

экологическую чистоту процесса восстановления [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. Изучению вопросов восстановления кулачков распределительных валов посвящено много научно-исследовательских работ известных ученых: В.А. Наливкина, К.А. Ачкасова, Ш.Ш. Джанилидзе, А.В. Поляченко, В.Н. Бугаева, С.С. Некрасова, В.В. Плешакова, И.Е. Ульмана, В.С. Дорофеева, В.П. Силуянова, и др.

Главным требованием, предъявляемым к способам восстановления, является их универсальность, а именно совмещение в себе высокой производительности, экономичности и экологичности, а также обеспечение высокой износостойкости не только кулачка, но и сопряженного с ним толкателя [2].

Распределительный вал относится к нежестким деталям. Одной из главных проблем, возникающих при изготовлении и ремонте распределительных валов, является то, что этот вал искривляется не только в процессе обработки, но и после её завершения, т.е. вал, соответствовавший всем требованиям и прошедший технологический контроль, через определённый интервал времени деформируется. Поскольку вал в двигателе устанавливается на опоры, подобное искривление вала приводит к увеличению вибраций, нагрузок на опоры, их быстрому износу и, как следствие, к снижению качества работы двигателя.

Основной причиной деформаций является перераспределение технологических остаточных напряжений и наследственных напряжений заготовки при удалении припусков и напряжений от температурно-силового воздействия обрабатывающего инструмента, причём, как правило, напряжения перераспределяются неравномерно.

На сегодняшнее время остаются неизученными вопросы комплексного влияния параметров процесса резания на качество поверхностного слоя, точность обработки и эксплуатационные свойства деталей. Многочисленные варианты выполнения операций механической обработки распределительных валов требуют нахождения общих решений вышеуказанной проблемы [3].

Постановка задачи. Целью статьи является анализ существующих способов и технологий восстановления работоспособности

распределительных валов транспортных ДВС, а также поиск новых подходов в решении проблем, возникающих при восстановлении известными способами, с учетом требований современного машиностроения.

Основной материал исследования. Надежная и экономичная работа системы газораспределения двигателя внутреннего сгорания во многом зависит от ресурса распределительного вала, определяемого в первую очередь износостойкостью наиболее нагруженных его рабочих поверхностей – кулачков. Механизм взаимодействия толкателя с кулачком распределительного вала достаточно сложен, наибольшее влияние на изнашивание этой пары оказывают следующие факторы [4]: внешнее механическое воздействие, характеризующееся скоростью относительного перемещения и нагрузкой; температура трения и температурный градиент; физико-механические свойства сопряжённых пар и окружающей промежуточной среды (модуль упругости, коэффициент объёмного расширения, макро- и микротвердость, предел текучести, термообработка и т.д.); макро- и микрогеометрия поверхности трения; вид трения; продолжительность и путь трения; свойства смазочного материала. Действие этих факторов приводит к износу кулачковой пары, и, как следствие, к снижению эффективности работы двигателя внутреннего сгорания.

При ремонте предельно изношенных валов наряду с обеспечением износостойкости кулачков стоит сложная задача восстановления их первоначального профиля. В ремонте распределительных валов получили распространение два способа восстановления кулачков: его вершины и всего профиля.

Известен способ восстановления изношенных вершин кулачков, содержащий операции наплавки стальными электродами, термической обработки для снятия напряжений, правки, упрочняющей термообработки – азотирования, дополнительной правки и шлифования. Валики наплавляют на вершину кулачка с учетом величины износа. Недостатком технологии является высокая трудоемкость и энергоёмкость вследствие наличия двух операций термообработки. Кроме этого, технология предназначена только для распределительных валов, имеющих износ вершин всех кулачков [5].

К способам восстановления вершин кулачков в формирующей оснастке можно отнести способ наплавки порошковой проволокой [6], способ электроконтактной приварки порошков [7] и способ индукционной наплавки [8]. Сущность этих способов заключается в том, что непосредственно на изношенную либо предварительно шлифованную вершину кулачка наносят слой металла, при одновременном использовании формирующей вершины оснастки. В качестве наплавочных сплавов, при электроконтактной приварке и индукционной наплавке используют порошки на основе железа и никеля. Общим недостатком для этих способов является повышенная трудоемкость работ и низкая стойкость формирующей вершины оснастки.

При восстановлении всего профиля кулачков распределительных валов применяются способы электродуговой наплавки в защитной среде CO_2 , вибродуговой наплавки и др. Способы электродуговой наплавки не находят широкого распространения по следующим причинам: большие припуски на механическую обработку, наличие дефектов в наплавленных поверхностях, трудность повторного восстановления ранее наплавленных этим способом поверхностей [9]. Вибродуговая наплавка в свою очередь не обеспечивает равномерной твердости по всей наплавленной поверхности, поэтому для выравнивания и повышения твердости на кулачках проводят их термическую обработку с помощью токов высокой частоты. Недостатком технологии является также большая толщина наплавленного слоя, составляющая 2 мм [10].

На некоторых предприятиях применяются технологии газотермического напыления распределительных валов. Газопламенное [11] и плазменное [12] напыление кулачков производят самофлюсующимися порошками. Поверхность кулачка перед напылением проходит специальную подготовку. После напыления кулачков с целью повышения сцепляемости основного и напыленного материалов производят оплавление покрытия пламенем горелки либо токами высокой частоты. При плазменном напылении оплавление кулачков и других поверхностей производят в печи. Недостатком этих технологий является необходимость тщательной подготовки

напыляемых поверхностей, а также наличие дополнительной операции оплавления, что увеличивает трудоемкость технологического процесса. Кроме этого нерациональные потери порошка достигают 30 % [13].

Меньшее количество операций содержит технология детонационного напыления кулачков. Она обеспечивает сцепляемость основного и напыленного материала в пределах 50 – 170 МПа, значительно большую плотность покрытия, чем при газопламенном и плазменном напылении [14]. Однако высокочастотный шум, возникающий при детонационном, как и при плазменном напылении требует создания специальных боксов с шумопоглощающими стенами.

Наиболее широкое распространение получила технология восстановления кулачков газопламенной наплавкой [15]. Процесс состоит из операций подготовки поверхностей под наплавку, наплавки, правки, шлифования.

Эта технология может быть использована как при наплавке всего профиля, так и при наплавке вершины кулачка. К недостаткам технологии относятся: отпуск неизношенных кулачков, расположенных рядом с наплавленными, а также большая радиальная деформация вала, достигающая 1,5 – 1,8 мм.

Выводы. Проведя анализ способов восстановления кулачков распределительных валов, их преимуществ и недостатков, а также условий работы пары кулачок – толкатель, можно утверждать, что в настоящее время нет универсального способа восстановления, который мог бы одновременно совместить в себе высокую производительность, экономичность, а также возможность обеспечить высокую износостойкость кулачка и сопряженного с ним толкателя.

Требование обеспечения высокой износостойкости пары кулачок – толкатель приобретает особую актуальность в связи с тем, что в настоящее время возрастает энергонасыщенность ДВС за счёт повышения частоты вращения коленчатого вала. При этом на клапан, с целью гашения инерционных сил, устанавливают более мощные пружины, которые при малых оборотах распределительного вала ведут к росту контактных напряжений в кулачке и толкателе, что отрицательно сказывается на их износостойкости.

В связи с этим актуальной задачей является поиск новых универсальных

технологий восстановления распределительных валов транспортных двигателей, позволяющих повысить эксплуатационный ресурс восстановленного вала, обеспечить

экологическую чистоту процесса восстановления, снизить себестоимость и трудоемкость ремонта, обеспечить высокую износостойкость пары кулачок – толкатель.

Список использованных источников

1. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / А.С. Орлин, М.Г. Круглов. – М.: Машиностроение, 1990. – 284 с.
2. Шиповалов, А. Н. Технология восстановления кулачков распределительных валов плазменной наплавкой [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / А.Н. Шиповалов; [Российский государственный аграрный заочный ун-т]. – М., 2010. – 18 с.
3. Непомилуев, В.В. Методика проектирования технологических процессов обработки распределительных валов [Текст] / В.В. Непомилуев, Е.Е. Цедейко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2003. – Т.40, №5. – С. 131–134.
4. Браун, Э.Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах [Текст] / Э.Д. Браун, Ю.А. Евдокимов, А.В. Чигинадзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 191 с.
5. А. с. 1371983 СССР, МКИ С 21 Д 9/30. Способ восстановления чугунных распределительных валов [Текст] / А.К. Тихонов, В.И. Копыл, Л.Я. Кузьменко, В.В. Чотов, А.Б. Чуников (СССР). – № 3705976/22-02; заявл. 13.03.84; опубл. 07.02.88, Бюл. № 5. – 5 с.
6. Джанилидзе, Ш.Ш. Исследование и разработка технологии восстановления кулачков распределительных валов двигателей ЗМЗ – 53 [Текст] / Ш.Ш. Джанилидзе, Н.А. Дьяченко, З.Б. Ермакова // Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: Сб. трудов. – М.: Транспорт, 1977. – С. 111-121.
7. Меркулов, А.Ф. Восстановление кулачков распределительных валов ДВС электроконтактным напеканием металлических порошков в условиях сельскохозяйственных ремонтных предприятий [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / А.Ф. Меркулов; [Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства им. В.П. Горячкина]. – М., 1983. – 19 с.
8. Восстановление кулачков распределительных валов и толкателей клапанов индукционной наплавкой износостойкими порошками [Текст]: тез. докл. науч.-техн. конф. стран-членов СЭВ "Ремдеталь – 88", Пятигорск, окт., 1988. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1988. – Ч. 2. – С. 39-40.
9. Наплавка металла в среде природного газа [Текст] / П.А. Тывончук, Н.И. Фурса, Т.Н. Гальперин, А.А. Кононогов // Техника в сельском хозяйстве. – 1987. – № 5. – С. 59-60.
10. Дюмин, И.Е. Современные методы организации и технологии ремонта автомобилей [Текст] / И.Е. Дюмин, В.А. Кувицкий, А.С. Силкин. – К.: Техника, 1970. – 388 с.
11. Hertig H. Thermisches Metallbeschichten eine moderne Technologie // Technische Rundschau. – 1986. – vol. 78, № 4. – P. 22–25.
12. Дорофеев, В.С. Плазменное напыление распределительных валов [Текст] / В.С. Дорофеев, А.Б. Гоц, А.С. Дробышевский // Техника в сельском хозяйстве. – 1982. – № 11. – С. 27.
13. Спиридонов, Н.В. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н.В. Спиридонов, О.С. Кобяков, И.Л. Куприянов; под ред. В.Н. Чанина. – Минск: Вышэйша шк., 1988. – 155 с.
14. Герасименко, В.М. Перспективные методы получения износ- и коррозионностойких покрытий газотермическим напылением: Обзорная информация [Текст] / В.М. Герасименко. – К.: УкрНИИТИ, 1985. – 64 с.
15. Коломейцев, А.Г. Опыт восстановления деталей газотермическими методами: Обзорная информация [Текст] / А.Г. Коломейцев, И.Г. Голубев, В.И. Свищёв. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1985. – 40 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Л.А. Тимофеева

Ленів Ярослав Григорович, здобувач кафедри матеріалів та технологій виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-49. E-mail: a.domin@mail.ru.

Leniv Yaroslav, postgraduate department of materials and manufacturing technology products transport purposes Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-49. E-mail: a.domin@mail.ru.

УДК 629.4.028

ХАРАКТЕР ПОВРЕЖДЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ АВТОСЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА И СПОСОБЫ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Асп. Е.С. Ягодинский

ХАРАКТЕР ПОШКОДЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ АВТОЗЧІПНОГО ПРИСТРОЮ ТА СПОСОБИ ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ

Асп. Є.С. Ягодинський

MODE OF FAILURE PARTS AUTOMATIC COUPLER AND METHODS OF THEIR RECOVERY

Postgraduate Y. Yagodinskiy

В статье анализируются данные по отказам автосцепного устройства в процессе эксплуатации. Определен характер повреждений деталей автосцепки и описаны основные способы восстановления работоспособности их рабочих поверхностей. Установлено, что для предотвращения развития тенденции износа рабочих поверхностей автосцепки необходимо особое внимание уделять повышению прочностных свойств, совершенствованию методов термообработки, инновационных подходов при восстановлении следов износов.

Ключевые слова: автосцепное устройство, износ, восстановление, заварка, наплавка.

У статті аналізуються дані щодо відмов автозчіпного пристрою в процесі експлуатації. Визначено характер пошкоджень деталей автозчеплення й описані основні способи відновлення працездатності їх робочих поверхонь. Встановлено, що для запобігання розвитку тенденції зносу робочих поверхонь автозчеплення необхідно особливу увагу приділяти підвищенню зміцнювальних властивостей сталі, вдосконаленню методів термообробки, інноваційних підходів при відновленні зношених поверхонь.

Ключові слова: автозчіпний пристрій, знос, відновлення, заварювання, наплавлення.

Analysis of uncoupling of wagons in repairs shows, that over 40% of them fall at derangement of running gear and autocoupling equipment.

In operation automatic couplers have significant dynamic loads acting on different planes, large temperature differences. Also, on their operation affects the vulnerability of the mating parts from falling into the zone of friction of the abrasive particles.

In this article describes the nature of the damage the basic details of autocoupler and ways to restore working capacity of their working surfaces. To restore working capacity of automatic coupler in all types of repair used of methods surfacing worn surfaces and welding of cracks.

Found that in order to prevent the development of dangerous trend of wear work surfaces autocoupler, must pay special attention to improve the strength properties of steels by changing their chemical composition, improve heat treatment methods, innovative approaches in recovery of chafe, methods of surfacing and welding.

Keywords: automatic coupler, chafe, recovery, welding, surfacing.

Постановка проблеми. Важное значение в обеспечении безопасности движения подвижного состава железных дорог представляет надежная работа автосцепного устройства. Сложное конструктивное исполнение деталей автосцепки и их геометрических форм предъявляет повышенные

требования к технологии изготовления, ремонта, системы контроля и испытаний.

Анализ отцепок вагонов в текущий ремонт показывает, что свыше 40 % их приходится на неисправность ходовых частей и автосцепного оборудования. В эксплуатации автосцепные устройства испытывают значительные динамические нагрузки,

действующие в различных плоскостях, большие перепады температур. Кроме того, на их работу отрицательно влияет незащищенность сопряженных деталей от попадания в зоны трения абразивных частиц.

В связи с растущей интенсификацией работы железнодорожного транспорта увеличиваются и требования к конструкции его подвижного состава, в частности к автосцепному устройству. Для обеспечения в этих условиях надежности эксплуатации автосцепок необходимо особое внимание уделять технологическим решениям по восстановлению их работоспособности и защите рабочих поверхностей от износа [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ данных по отказам корпусов автосцепок в эксплуатации свидетельствует о том, что наибольшее количество повреждений приходится на перемычку хвостовика. В последнее время сократилось количество трещин по зеву, но возросло в последние годы количество корпусов, поврежденных трещинами в зоне перехода. Прочность корпуса автосцепки в указанных зонах во многом определяет прочность и безотказную работу автосцепки в целом [2].

Вопросам повышения работоспособности в эксплуатации и совершенствования конструкции подвижного состава посвящены теоретические и экспериментальные исследования таких ученых, как: Л.А. Тимофеева, Э.Д. Тартаковский, В.И. Мороз, В.М. Остапчук, А.П. Фалендыш, Ю.М. Демин, М.Б. Кельрих, Л.А. Шадур, С.В. Вершинский, В.Н. Котуранов, В.Н. Максимов, А.А. Хохлов, В.И. Лапшин, В.Н. Филиппов, А.А. Долматов и др.

Высокая повреждаемость трещинами и остаточными деформациями свидетельствует о необходимости совершенствования конструкции корпуса автосцепки и методов восстановления его рабочих поверхностей с целью снижения концентрации напряжений в наиболее повреждаемых зонах, перераспределения силовых потоков между наиболее и наименее нагруженными областями.

Цель исследования. На основании анализа данных о повреждениях автосцепного устройства в процессе эксплуатации обосновать основные пути повышения качества восстановления рабочих поверхностей автосцепки.

Основной материал исследования. Значительные продольные и поперечные

нагрузки на автосцепку появляются при входе состава в кривые участки пути или выходе из них, при переломах профиля железнодорожного полотна на сортировочных станциях и горках, при трогании с места и торможениях. Также возникают значительные перегрузки в материале деталей автосцепки от несинхронности колебаний сочлененных вагонов. При этом зачастую этот эффект возрастает, когда неисправны гасители колебаний как гидравлического, так и фрикционного типа. В такой ситуации все основные детали не только перегружаются, но и интенсивно изнашиваются. Возможны даже саморасцепы вагонов, появление деформаций в отдельных деталях устройства, отколов, трещин и других повреждений, включая усталостное разрушение. Часто встречаются хрупкие разрушения элементов, что определяется как неблагоприятным сочетанием действующих сил, климатических и других факторов, так и внутренними отклонениями и пороками кристаллической структуры металла [3].

Сложный профиль многих деталей также является естественным источником концентрации внутренних напряжений, особенно в переходных поверхностях. Основной причиной ремонта и замены деталей при плановых и текущих ремонтах является износ.

В определенных случаях, например при появлении местных и односторонних износов деталей, при существенных изменениях в высотах расположения головок смежных автосцепок по отношению к уровню рельса, а также при резких изменениях силовых эксплуатационных факторов, возможны заклинивание, излом или иное повреждение рабочих элементов.

При этом трущиеся поверхности могут получить задиры в локальных областях, значительно увеличивающих в дальнейшем интенсивность изнашивания сопряжений.

Повреждения механизма автосцепки и поглощающего аппарата увеличиваются при вождении сверхтяжелых поездов, а также на сортировочных горках в случае низкой эффективности работы вагонных замедлителей.

Дефекты и повреждения деталей автосцепного устройства выявляются как визуально, так и с использованием вспомогательных средств контроля, например лупы, дефектоскопа, шаблонов и др.

По характерным внешним признакам, например, таким как развитие местной коррозии, скопление в виде тонкой полоски валика из пыли, грязи, иная, уже до очистки и обмывки деталей можно определить места возможного расположения трещин, которые должны быть впоследствии тщательно осмотрены и всесторонне проверены.

К основным неисправностям корпуса автосцепки относятся:

- трещины в углах, образованных ударной стенкой зева и боковой стенкой большого зуба, а также между этой стенкой и тяговой стороной большого зуба;
- износы упорной поверхности хвостовика от взаимодействия с упорной плитой;
- трещины в месте перехода головы к хвостовику;
- износы и смятия стенки отверстия от взаимодействия с клином хомута;
- трещины в углах проемов для замка и замкодержателя;
- трещины в стенке отверстия для клина тягового хомута;
- износы тяговых и ударных поверхностей большого и малого зубьев;
- износы поверхностей корпуса в месте соприкосновения с поверхностями проема ударной розетки [3,4].

Для восстановления работоспособного состояния автосцепного устройства при всех видах ремонта используют методы наплавки изношенных поверхностей и заварки образовавшихся трещин, которые допускаются к такой операции [5,6].

Вертикальные трещины в зеве со стороны большого зуба в углах разрешается заваривать при условии, что после разделки они не будут выходить на горизонтальные плоскости наружных ребер большого зуба. Трещины в углах проемов для замка и замкодержателя можно заваривать, если разделка трещин в верхних углах проема для замка не выходит на горизонтальную поверхность головы, в верхнем углу проема для замкодержателя не выходит за положение верхнего ребра со стороны большого зуба, а длина разделанной трещины в нижних углах проемов для замка и замкодержателя не превышает 20 мм. Трещины в месте перехода головы к хвостовику можно заваривать, если при глубине их более 5 мм поперечное сечение стенок хвостовика после разделки не уменьшается более чем на 25 %.

Для повышения качества заварки трещин целесообразно перед заваркой корпус автосцепки нагревать до температуры 250-300 °С, что улучшит адгезию наплавленного металла и снизит остаточные термические напряжения [7].

Износы ударных и тяговых поверхностей большого и малого зубьев и ударной поверхности зева восстанавливают наплавкой при условии, что наплавляемый металл не должен доходить ближе 15 мм к закруглениям в углах и иметь твердость не менее НВ 250. Поверхность перемычки хвостовика со стороны прилегания клина тягового хомута и с торца хвостовика можно наплавлять, если толщина изношенной перемычки составляет не менее 40 мм для автосцепок СА-3 и не менее 44 мм для СА-3М.

Для восстановления изношенных поверхностей корпуса автосцепки применяют полуавтоматические и автоматические сварочные установки, а также метод наплавки лежащим пластинчатым электродом. Процесс наплавки этим методом полностью автоматизирован. Вручную выполняют только вспомогательные операции. Производительность наплавки увеличивается примерно на 22 % по сравнению с ручной наплавкой.

Изношенные поверхности необходимо наплавлять металлом с повышенной износостойкостью, с хорошим формированием наплавленного металла и незначительным припуском на механическую обработку, что позволяет заменить операции станочной обработки зачисткой шлифовальным кругом.

Поверхности корпуса автосцепки, наплавленные другими способами, требуют механической обработки. Для этого на заводах и в депо применяют универсальные фрезерные, строгальные, долбежные станки с соответствующей оснасткой [8].

Выводы. Как показывают результаты анализа неисправных корпусов автосцепок, поступающих в депо для ремонта, в настоящее время на железнодорожном транспорте сохраняется тенденция интенсивной повреждаемости деталей автосцепок трещинами и износом рабочих поверхностей. В этой связи необходимо особое внимание уделять повышению прочностных свойств сталей за счет изменения их химического состава, совершенствованию методов термообработки, инновационных подходов при восстановлении следов износов методами заварки и наплавки.

Список использованных источников

1. Шадур, Л.А. Вагоны [Текст] / Л.А. Шадур, И.И. Челноков, Л.Н. Никольский и др. – М.: Транспорт, 1980. – 439 с.
2. Саврухин, А.В. Совершенствование конструкций массивных несущих деталей подвижного состава на основе анализа напряженно-деформированного состояния при эксплуатационных и технологических воздействиях [Текст]: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.07 / А.В. Саврухин; [Московский государственный ун-т путей сообщения]. – М., 2005. – 48 с.
3. Безценный, В.И. Технология вагоностроения и ремонта вагонов [Текст] / В.И. Безценный и др. – М.: Транспорт, 1976. – 432 с.
4. Быков, Б.В. Конструкция и ремонт автосцепного устройства подвижного состава железных дорог России [Текст]: учеб. иллюстрированное пособие / Б.В. Быков. – М.: Маршрут, 2005. – 48 с.
5. Испытания на износостойкость деталей автосцепного устройства с различными методами упрочнения рабочих поверхностей [Текст]: отчет о НИР / ВНИИЖТ; рук. Н.А. Костина. – М., 1992. – 10 с.
6. Принципиально новые конструкции и материалы в узлах трения тележек грузовых вагонов [Текст]: отчет о НИР / ВНИИЖТ; рук. Т.П. Северинова. – М., 1995. – 142 с.
7. Болотин, М.М. Автоматизация производственных процессов при изготовлении и ремонте вагонов [Текст] / М. М. Болотин и др. – М.: Транспорт, 1989. – 206 с.
8. Абраменко, Д.Н. Повышение износостойкости литых деталей грузовых вагонов дуговой наплавкой слоя стали со структурой игольчатого феррита [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Д.Н. Абраменко. – М., 2008. – 159 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Л.А. Тимофеева

Ягодинський Євген Сергійович, аспірант кафедри матеріалів та технологій виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-49. E-mail: fedcirina@yandex.ru.

Yagodinskiy Yevgen, postgraduate department of materials and manufacturing technology products transport purposes Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-49. E-mail: fedcirina@yandex.ru.

УДК 666.3-16

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЕЛЕКТРОКОНСОЛІДОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ У СИСТЕМІ $ZrO_2-Al_2O_3$**

Д-р техн. наук Е.С. Геворкян, канд. техн. наук Г.А. Петасюк, асп. О.М. Мельник

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭЛЕКТРОКОНСОЛИДИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМЕ $ZrO_2-Al_2O_3$**

Д-р техн. наук Э.С. Геворкян, канд. техн. наук Г.А. Петасюк, асп. О.М. Мельник

**MATHEMATICAL MODELLING OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF
ELECTROCONSOLIDATED $ZrO_2-Al_2O_3$ MATERIALS**

Doctor of Eng. Science E. Gevorkyan, cand. of Eng. Science G. Petasyuk, Ph.D. student O. Melnik

У статті розглядається спосіб прогнозування міцнісних показників (твердість, тріщинотійкість) електроконсолідованих матеріалів наносистеми $ZrO_2 - Al_2O_3$ методом математичного моделювання. Виявлено основні закономірності впливу технологічних факторів електроконсолідації і концентрації вихідних компонентів при синтезі матеріалів з використанням у

складі нанопорошків оксидів цирконію та алюмінію на показники міцності отриманих матеріалів, побудовані математичні моделі.

Ключові слова: композиційний матеріал на основі діоксиду цирконію, нанопорошки, електроконсолідація, твердість, тріщиностійкість, математична модель.

В статье рассматривается способ прогнозирования прочностных показателей (твёрдость, трещиностойкость) электроконсолидированных материалов наносистемы $ZrO_2 - Al_2O_3$ методом математического моделирования. Выявлены основные закономерности влияния технологических факторов электроконсолидации и концентрации исходных компонентов при синтезе материалов с использованием в составе нанопорошков оксидов циркония и алюминия на прочностные показатели полученных материалов, построены математические модели.

Ключевые слова: композиционный материал на основе диоксида циркония, нанопорошки, электроконсолидация, твёрдость, трещиностойкость, математическая модель.

In this article the way of forecasting of quality indicators (fracture toughness, hardness) of electroconsolidated materials of $ZrO_2 - Al_2O_3$ nanosystem is considered by a method of mathematical modeling.

The main patterns of influence of technological factors electroconsolidation and concentration of initial components for the synthesis of materials using zirconia and alumina nanopowders on the strength characteristics of the materials were identified. The mathematical models were built. The model is easy to assess the extent and impact of the results of each of the factors (temperature, holding time and Al_2O_3 concentration) on the characteristics of the object, find it optimal regimes operation. The active experiment allows putting the artificial indignation on object under study and measuring the corresponding values output parameters. The size and mix of revolting influences introduced into the facility in accordance with a definite plan, for any optimal criteria.

Keywords: composite material based on zirconia nanopowders, electroconsolidation, hardness, fracture toughness, mathematical model.

Постановка проблеми. Вирішенню задачі синтезу нового матеріалу інструментального призначення сприяє вивчення закономірностей формування його структури і властивостей залежно від складу вихідної шихти і параметрів гарячого пресування, а також встановлення умов формування щільних матеріалів та можливості отримання максимальних значень твердості, міцності і тріщиностійкості.

У зв'язку з тим, що гаряче пресування з прямим пропусканням високоамперного струму (електроконсолідація) характеризується складністю устаткування і відносно низькою (порівняно, наприклад, з вільним спіканням [1, 2]) продуктивністю, то проведення досліджень має передбачати мінімізацію кількості експериментів, спрямованих на вивчення закономірностей структуроутворення і механічних властивостей матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує велика кількість експериментальних даних, що показують позитивний вплив малих добавок Al_2O_3 на механічну стійкість діоксид цирконієвої

кераміки [3, 4]. Це пояснюється тим, що системам з двох не взаємодіючих твердих фаз, рівномірно розподілених в об'ємі, характерні підвищена пластичність і ударна в'язкість. Цей факт відноситься і до системи $Al_2O_3 - ZrO_2$, в якій ступінь взаємодії між компонентами мала, що відповідно забезпечує підвищену стабільність зернограничної структури [5]. Внаслідок цього бінарна система $ZrO_2 - Al_2O_3$ є однією з перспективних композиційних керамік з високими механічними властивостями.

Оскільки одним із важливих питань отримання матеріалів з тонкою структурою є зниження температури компактування, то в цьому питанні також актуальними виявляються добавки Al_2O_3 до ZrO_2 , що дозволяє знизити температуру спікання кераміки тетрагонального YSZ [6].

Аналіз результатів робіт [4, 7, 8], присвячених різним способам отримання субмікронних і нанорозмірних композитів на основі нанопорошків оксидів цирконію та алюмінію, показав різний ступінь взаємного впливу ZrO_2 і Al_2O_3 на мікроструктуру та

характеристики міцності матеріалу залежно від способу їх консолідації.

Постановка задачі. Метою роботи є отримання емпіричних моделей, що характеризують залежності твердості за Віккерсом (HV10) і коефіцієнта тріщиностійкості (K_{1C}), які для кераміки інструментального призначення є найбільш об'єктивними характеристиками потенційної працездатності керамічного інструменту.

Основна частина дослідження. У роботі використовували нанопорошки ZrO_2 , частково стабілізованого 3 мол. % Y_2O_3 з розміром зерен 10 нм, виробництва ЦККіП (Росія), і α - Al_2O_3 з розміром зерен 40 нм, виробництва компанії NANOE (Франція).

За допомогою установки гарячого пресування з прямим пропусканням високоамперного струму [9] проводили спікання нанопорошкових сумішей при тиску 30 МПа і витримці при різних температурах.

Визначення мікротвердості і тріщиностійкості проводили виміром діагоналі відбитка і довжини радіальних тріщин, отриманих при вдавлюванні алмазним індентором (пірамідка Віккерса) за допомогою автоматичного мікротвердоміра AFFRI DM8.

Для вирішення поставлених завдань використовувався метод математичного моделювання. Для отримання математичного опису впливу складу вихідної шихти і основних технологічних параметрів процесу електроконсолідації та забезпечення достовірного математичного опису об'єкта найбільш ефективним є багатофакторний експеримент. Результати кодування і вибору інтервалів їх варіювання подано в табл. 1.

Матриця планування трифакторного експерименту з результатами проведених дослідів матиме вигляд, поданий у табл. 2.

Таблиця 1

Рівні та інтервали варіювання факторів експерименту

Фактори	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Натуральні рівні факторів, що відповідають кодованим		
			-1	0	+1
Концентрація Al_2O_3 у вихідній суміші, % за масою	m	10	10	20	30
Температура ізотермічної витримки, °C	T	100	1100	1200	1300
Час ізотермічної витримки, хв	τ	2	2	4	6

Таблиця 2

Матриця планування та результати експериментів

№ з.п.	Незалежні змінні			Залежні змінні	
	m, % за масою	T, °C	τ , хв	HV10, ГПа	K_{1C} , МПа·м ^{-1/2}
1	30	1300	6	12,4	3,8
2	10	1300	6	9,1	4,5
3	30	1100	6	10,0	5,9
4	10	1100	6	13,3	6,3
5	30	1300	2	13,5	4,8
6	10	1300	2	12,9	5,0
7	30	1100	2	11,8	5,6
8	10	1100	2	14,0	7,0

На основі дослідів, виконаних відповідно до прийнятого плану експерименту, були розраховані коефіцієнти емпіричних рівнянь (за методикою [10]), що мають вигляд залежності цільових функцій від заданих факторів.

З урахуванням впливу вищезрозглянутих показників була отримана модель, що характеризує залежність твердості за Віккерсом, яка матиме вигляд:

$$HV = 10 \sqrt{114,51 - \frac{103,69}{\sqrt{m}} - 38,243 \lg(\tilde{T}) + 0,08901 \tau^2 - \frac{97,291}{\lg(\tilde{T}/\tau)} + 0,31668 \sqrt{\tilde{T}/\tau}}, \quad (1)$$

де HV – твердість за Віккерсом (HV10, ГПа);

m – концентрація оксиду алюмінію у вихідній суміші (% за масою);

T – температура електроконсолідації (°C);

τ – час ізотермічної витримки (хв);

$\tilde{T} = T/100$ – масштабоване значення фактора T (застосовується для підвищення стійкості обчислювального процесу).

Емпірична модель, що характеризує залежність коефіцієнта тріщиностійкості від розглянутих факторів, має вигляд:

$$K_{1c} = 2,3355 - 0,9432 \lg(m) + \frac{471,58}{T^3} + \frac{3,15}{\tau^2}, \quad (2)$$

де K_{1c} – коефіцієнт тріщиностійкості (МПа·м^{1/2}); m – концентрація оксиду алюмінію у вихідній суміші (% за масою); T – температура електроконсолідації (°C); τ – час ізотермічної витримки (хв).

На рис. 1 і 2 подані поверхні відгуку, що дають графічне відображення даних, отриманих у результаті апроксимації результатів проведених досліджень. Поверхні відгуку побудовані при фіксованому значенні третього фактора $\tau=2$ хв.

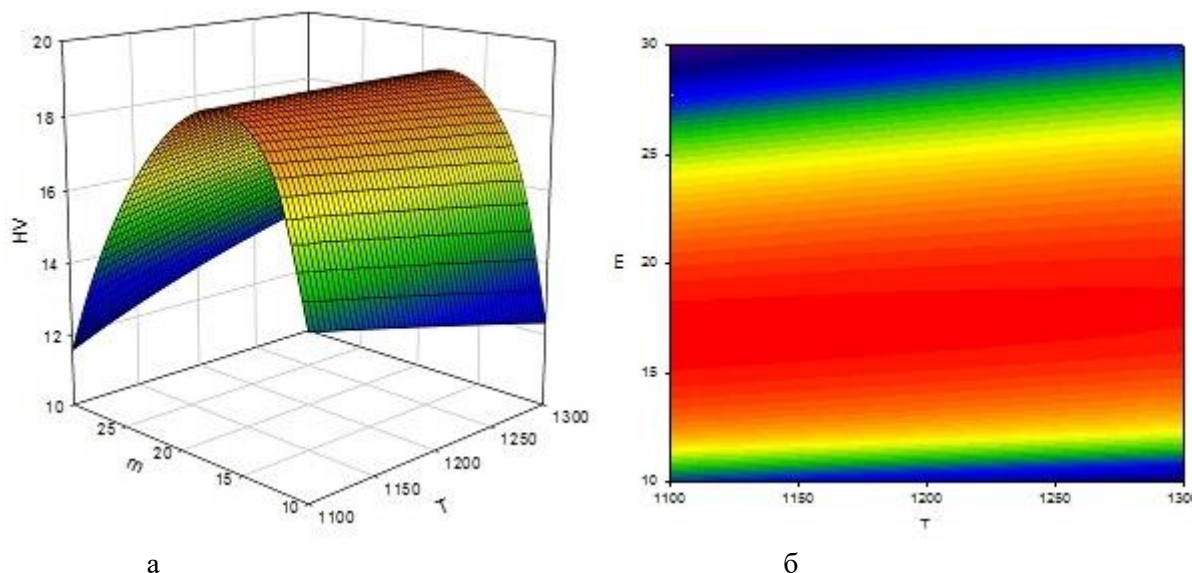


Рис. 1. Залежність HV10 (ГПа) від температури витримки T (°C) та концентрації оксиду алюмінію m (% за масою) у складі вихідної шихти електроконсолідованих матеріалів, отриманих у системі $ZrO_2 - Al_2O_3$: а – поверхня відгуку; б – проекція поверхні відгуку

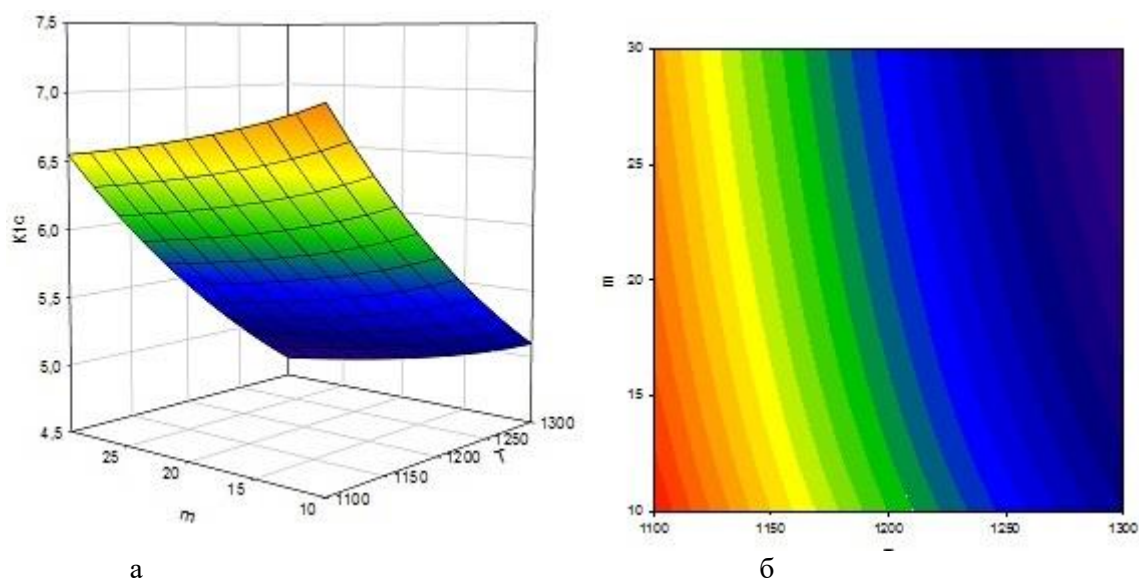


Рис. 2. Залежність K_{1c} ($\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) від температури витримки T ($^{\circ}\text{C}$) та концентрації оксиду алюмінію m (%) за масою) у складі вихідної шихти електроконсолідованих матеріалів, отриманих у системі $\text{ZrO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$: а – поверхня відгуку; б – проекція поверхні відгуку

У рамках зазначених інтервалів значень факторів отримані залежності можна використовувати як інтерполяційні формули для визначення величин твердості за Віккерсом і показників тріщиностійкості. При електроконсолідації матеріалу системи $\text{ZrO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ дані моделі можуть бути застосовані для встановлення раціональних сполучень значень зазначених фізико-механічних показників.

Висновки. У результаті експериментального дослідження процесів за допомогою класичного методу планування експерименту та з використанням оригінальних методичних засобів обробки експериментальних даних отримані емпіричні математичні моделі основних характеристик міцності: твердості і коефіцієнта тріщиностійкості.

Список використаних джерел

1. Штат, В. Порошковая металлургия. Спеченные композиционные материалы [Текст] / В. Штат. – М.: Металлургия, 1983. – 520 с.
2. Скороход, В.В. Порошковые материалы на основе тугоплавких металлов и соединений [Текст] / В.В. Скороход. – К.: Техника, 1982. – 166 с.
3. Colloidal processing and superplastic properties of zirconia and alumina-based nanocomposites [Text] / Y. Sakka, T. Suzuki, K. Morita et al. // Scripta Materials. – 2001. – V. 44. – P. 2075-2078.
4. Preparation and characterization of $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ particulate nanocomposites produced by plasma technique [Text] / J. Grabis, I. Steins, D. Rasmane et al. // Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Engineering. – 2006. – V. 12, № 4. – P. 349-357.
5. Sarkar, D. Preparation and characterization of an $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ nanocomposite. Part I: Powder synthesis and transformation behavior during fracture [Text] / D. Sarkar, S. Adak, N.K. Mitra // Composites, Part A. – 2007. – V. 38, № 1. – P. 124-131.
6. Vasilkiv, O. Low-Temperature Processing and Mechanical Properties of Zirconia and Zirconia-Alumina Nanoceramics [Text] / O. Vasilkiv, Y. Sakka, V. Skorokhod // Journal of the American Ceramic Society. – 2003. – V. 86, №2. – P. 299-304.
7. Effect of Al_2O_3 addition on ZrO_2 phase composition in the $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$ system [Text] / R.P. Pinggen, M. Iwasa, J. Wu et al. // Ceramics International. – 2004. – V. 30. – P. 923-926.

8. Синтез и исследование нанокристаллической керамики в системе $ZrO - CeO_2 - Al_2O_3$ [Текст] / Т.И. Панова, М.Ю. Арсентьев, Л.В. Морозова, И.А. Дроздова // Физика и химия стекла. – 2010. - Т. 36, № 4. – С. 585-595.

9. Пристрій для гарячого пресування порошків шляхом прямого пропускання електричного струму [Текст]: пат.72841 Україна, МПК (2012.01)B22F 3/00 / Азеренков М.О., Геворкян Е.С., Литовченко С.В., Чишкала В.О., Тимофеева Л.А., Мельник О.М., Гуцаленко Ю.Г.; заявник і патентовласник Геворкян Е.С. - № у 2012 03 031; заявл. 15.03.12; опубл. 27.08.12, Бюл. №16.

10. Петасюк, Г.А. Компьютерно-программная система многовариантного построения и анализа эмпирических математических моделей LrAproх для применения в научно-прикладных задачах материаловедения [Текст] / Г.А. Петасюк, О.У. Петасюк // Порошковая металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов. – 2008.– № 31. – С. 58-63.

Геворкян Едвін Спартаківич, д-р техн. наук, професор кафедри матеріалів та технологій виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-49. E-mail: edwin_gevorkyan@mail333.com.

Петасюк Григорій Андрійович, старший науковий співробітник лабораторії досліджень поверхневих явищ і синтезу наноструктурованих матеріалів Інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАНУ. Тел.: (044) 430-35-06. E-mail: petasyuk@ukr.net.

Мельник Ольга Михайлівна, аспірант кафедри матеріалів та технологій виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-49. E-mail: melnik_om@mail.ua.

Gevorkyan Edwin, professor of the department of materials and manufacturing technology products transport purposes Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-49. E-mail: edwin_gevorkyan@mail333.com.

Petasyuk Grigoriy, senior science master of laboratory «*Studies of surface phenomena and synthesis of nanostructured materials*» V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine. Tel.: (044) 430-35-06. E-mail: petasyuk@ukr.net.

Melnik Olga, Ph.D. student of the department of materials and manufacturing technology products transport purposes Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-49. E-mail: melnik_om@mail.ua.

УДК 528.002.5

МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИСХОДНЫХ ДИРЕКЦИОННЫХ УГЛОВ И ПОГРЕШНОСТЕЙ УГЛОВ ПОВОРОТА НА НАДЕЖНОСТЬ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ХОДОВ

Студ. К.П. Лоцман

МАТЕМАТИЧНО-СТАТИСТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОХИБОК ВИХІДНИХ ДИРЕКЦІЙНИХ КУТІВ І ПОХИБОК КУТІВ ПОВОРОТУ НА НАДІЙНІСТЬ ПОЛІГОНОМЕТРИЧНИХ ХОДІВ

Студ. К.П. Лоцман

MATHEMATICAL AND STATISTICAL STUDY INFLUENCE ERROR IN THE INITIAL DIRECTIONAL ANGLES AND ROTATION ANGLES ERRORS ON RELIABILITY POLYGONOMETRIC MOVES

Stud. K. Locman

В статье проведено исследование распределения погрешностей при расчетах дирекционных углов для построения полигонометрических ходов. Предвычисление точности дирекционных углов проведено по специальной программе «Генератор случайных чисел». Установлено, что погрешности исходных дирекционных углов зависят от координат средних точек. Установлено, что изогнутые

полигонометрические ходы имеют большее значение погрешностей по сравнению с прямыми. Определены дальнейшие направления в разработке математико-статистических моделей полигонометрических ходов.

Ключевые слова: дирекционный угол, полигонометрический ход, погрешность.

У статті проведено дослідження розподілу похибок при розрахунках дирекційних кутів для побудови полігонометричних ходів. Передобчислювання точності дирекційних кутів проведено за спеціальною програмою «Генератор випадкових чисел». Встановлено, що похибки вихідних дирекційних кутів залежать від координат середніх точок. Встановлено, що вигнуті полігонометричні ходи мають більше значення похибок у порівнянні з прямими. Визначено подальші напрями у розробленні математично-статистичних моделей полігонометричних ходів.

Ключові слова: дирекційний кут, полігонометричний хід, похибка.

The paper investigated the distribution of errors in the calculation of directional angles to build polygonometric moves. Precompute the accuracy of directional angles is given by the special program "random number generator" found that error in the initial directional angles depends on the coordinates of the midpoints. Established that curved polygonometric strokes are more significant errors compared to direct. Determining the direction of further development in the mathematical and statistical models polygonometric moves.

Keywords: azimuth, traverse, error.

Постановка проблемы. Создание геодезических сетей эффективнее выполнять на базе применения математико-статистических моделей. При этом желательно при расчете использовать прогрессивные методы построения таких сетей: полигонометрические ходы с боковыми пунктами. Это позволяет сократить число исполнителей полевых работ, существенно повысить точность угловых и линейных измерений. Для определения дирекционных углов в геодезических сетях сгущения очень эффективен метод, приведенный в статье, что показано в расчетах.

Актуальной задачей является поиск математико-статистических моделей, упрощающих расчет погрешностей угловых измерений [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. Технология создания геодезических сетей, а также математико-статистическое исследование влияния погрешностей исходных дирекционных углов поворота на точность полигонометрических ходов детально проанализировано в работах В.Д.Большакова, Ю.И. Маркузе, В.М.Лобачева, А.В.Маслова, М.М. Машимова, В.З.Пашенкова, Ю.К. Неумывакина, А.С. Смирнова, А.И. Спиридонова и др.

Главным требованием создания моделей расчета погрешностей является их точность.

На основе теоретических исследований влияния погрешностей исходных

дирекционных углов на точность полигонометрических ходов сделан вывод о том, что при одинаковой точности исходных дирекционных углов и углов поворота в ходах влияние первых на дирекционные углы сторон во всех случаях меньше влияния погрешностей углов поворота. Можно с уверенностью сказать, что определить исходный угол при проложении полигонометрических ходов не составляет труда.

С этой целью в процессе построения геодезических сетей сгущения выполнены экспериментальные определения дирекционных углов. Основной причиной появления погрешностей угловых измерений являются недостаточно качественные математические модели обработки угловых измерений.

Постановка задачи. Целью статьи является исследование существующих способов расчета дирекционных углов и погрешностей, а также поиск новых подходов к решению задачи: аналитический расчет координат полигонометрического хода.

Основной материал исследования. Под математико-статистическим исследованием имеется в виду, во-первых, подтверждение правильности полученных формул для вытянутых ходов, а во-вторых, исследование влияния погрешностей исходных дирекционных углов и углов поворота на точность изогнутых полигонометрических ходов.

Исследование выполнено для одного прямолинейного хода, расположенного по оси абсцисс, и двух изогнутых ходов. Во всех трех случаях длины ходов $L = 12$ км, число сторон $n = 8$, длины сторон $S = 1,5$ км [1].

Ряды случайных чисел получали по специальной программе «Генератор случайных чисел».

В качестве заданной средней квадратической погрешности (стандарта) дирекционных углов исходных сторон и углов поворота принята $m_\alpha = m_\beta = 5''$, а в качестве предельной

$$\Delta_\alpha = \Delta_\beta = 2,5 \quad m_\alpha = 2,5 \quad m_\beta = 2,5'' \quad m_\beta = 12,5''.$$

Эталонными служили значения дирекционных углов и координат пунктов, полученные в результате строгого уравнивания ходов без изменения исходных данных, углов поворота и длин сторон, значения которых приняты за исходные [2].

Изменяя сначала исходные дирекционные углы, а затем углы поворота ходов как случайные величины, подчиняющиеся нормальному распределению, каждый из полигонометрических ходов строго уравнивали, получая новые значения дирекционных углов, сторон и координат пунктов.

Для каждого заданного значения средней квадратической погрешности получено 60 случайных чисел в пределах от нуля до предельного значения этой погрешности, в соответствии с которыми изменялись исходные дирекционные углы и углы поворота. Таким образом, каждый из трех полигонометрических ходов уравнивали 120 раз: 60 вариантов с

изменением исходных дирекционных углов и 60 вариантов с изменением углов поворота.

Оценка влияния погрешностей исходных дирекционных углов на элементы изогнутого полигонометрического хода 1 при заданных средних квадратических $m_\alpha = 5''$ и предельных погрешностях $\Delta_\alpha = 2,5$ $m_\alpha = 12,5''$ приведены в табл. 1, 2.

В табл. 1 приведены случайные погрешности исходных дирекционных углов $\Delta_{\alpha_{зад}}$, по которым вычислены эмпирические средние квадратические погрешности $m_{\alpha_{эм}}$ дирекционных углов исходных сторон BF и EA для суждения о соответствии вырабатываемых случайных чисел нормальному распределению.

В табл. 3 приведены выданные погрешности абсцисс Δ_x и ординат Δ_y , по которым для каждой точки хода вычислены средние квадратические погрешности абсцисс m_x , ординат m_y и положения исходных точек.

Также приведены погрешности Δ_α , по которым вычислены средние квадратические погрешности дирекционных углов m_α каждой из сторон хода.

Во всех случаях расхождения между m_α и $m_{\alpha_{эм}}$ не превышали величины $m_{m_\alpha} = 5/\sqrt{2 \cdot 60} = 0,5''$. Это свидетельствует о близости заданных и полученных эмпирически средних квадратических погрешностей исходных дирекционных углов и углов поворота.

Таблица 1

Исходная сторона	Заданная случайная погрешность исходного дирекционного угла								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$B - F$	- 4,3	- 5,1	+ 7,9	- 2,4	+ 3,0	- 4,8	- 8,8	+ 0,3	+ 1,3
$E - A$	+ 6,1	+ 5,6	- 2,7	- 3,2	- 1,3	- 1,8	+ 0,8	- 9,0	- 1,1

Таблица 2

Исходная сторона	Заданная случайная погрешность исходного дирекционного угла						$\sum \Delta^2_{\alpha_{зад}}$	$m_{\alpha_{з.мт}} = \sqrt{\frac{[\Delta^2_{\alpha_{зад}}]}{n}}$
	10	11	...	...	59	60		
$B - F$	+ 4,7	- 6,7	...	...	- 4,8	+ 1,8	1460	4,9"
$E - A$	- 3,6	+ 9,4	...	...	+ 0,6	+ 5,2	1540	5,1

Таблица 3

Номер испытания	Погрешности абсцисс и ординат точек, см													
	1		2		3		4		5		6		7	
	Δ_x	Δ_y	Δ_x	Δ_y	Δ_x	Δ_y	Δ_x	Δ_y	Δ_x	Δ_y	Δ_x	Δ_y	Δ_x	Δ_y
1	1,3	2,3	1,6	3,6	1,4	4,2	0,8	4,7	0,1	4,0	0,5	3,2	0,6	2,0
2	1,1	2,2	1,2	3,6	0,9	4,3	0,2	4,8	0,5	4,2	0,9	3,5	0,9	2,0
3	0,1	0,3	0,0	0,5	0,0	0,5	0,1	0,6	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,3
4	1,3	1,8	1,8	2,7	0,2	3,0	1,5	3,1	0,9	2,5	0,4	2,0	0,0	1,1
$\sum \Delta^2$	137	160	288	412	312	494	343	727	269	603	203	447	94	275
$m_x; m_y$	1,5	1,6	2,2	2,6	2,3	2,9	2,4	3,5	2,1	3,2	1,8	2,7	1,2	2,1
M	2,2		3,4		3,7		4,2		3,8		3,2		2,4	

Выводы:

1) погрешности исходных дирекционных углов в наибольшей степени влияют на дирекционные углы крайних сторон, а в наименьшей степени — на дирекционные углы средних сторон, как в прямолинейных, так и в изогнутых ходах. Это подтверждают результаты теоретического исследования для прямолинейных ходов;

2) погрешности исходных дирекционных углов в наибольшей степени влияют на уравненные координаты средних точек, а в наименьшей степени — на уравненные координаты крайних точек ходов, как в прямолинейных, так и в изогнутых ходах;

3) при одинаковой точности исходных дирекционных углов и углов поворота влияние погрешностей исходных дирекционных углов на дирекционные углы сторон полигонометрических ходов в общем меньше влияния погрешностей углов поворота, как в прямолинейных, так и в изогнутых ходах.

Это влияние в особенности четко прослеживается для средних сторон ходов. На соответствующих графиках видно, что влияние погрешностей исходных дирекционных углов в 3-5 раз меньше влияния погрешностей углов поворота. Это подтверждают результаты

теоретического исследования о том, что при $m_\alpha = m_\beta$ влиянием погрешностей исходных дирекционных углов на дирекционные углы средних сторон можно пренебречь;

4) в прямолинейных ходах погрешности углов поворота в наибольшей степени влияют на дирекционные углы сторон, отстоящих от концов примерно на одну треть — одну четвертую часть длин ходов, а в наименьшей степени — на дирекционные углы сторон, расположенных в средней части ходов, что подтверждает выводы, сделанные на основе теоретических исследований. Влияние погрешностей углов поворота на дирекционные углы сторон в изогнутых ходах носит неопределенный характер; 5) как в прямолинейных, так и в изогнутых ходах погрешности углов поворота в наибольшей степени влияют на положение точек, расположенных в серединах ходов, а в наименьшей — на положение крайних точек ходов. Исключение составляет ход, состоящий из двух прямолинейных ветвей, расположенных под углом 90° друг к другу. В этом ходе указанное влияние, наоборот, практически равно нулю в точке излома, являющейся серединой хода.

Список использованных источников

1. Лоцман, П.І. Геодезичний контроль геометрії залізничної колії [Текст] / П.І. Лоцман, О.С. Саяпін, Ю.В. Щербина // Інженерна геодезія: зб. наук. праць. – К., 2006. – Вип. 52. – С. 172-176.
2. Лоцман, П.І. Опыт применения траверсной полигонометрии на железнодорожной магистрали [Текст] / П.І. Лоцман, В.Ф. Сушков, А.А. Матвиенко, В.Г. Мануйленко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ. 2006. – Вип. 10. – С. 45-48.
3. Лоцман, П.І. Розробка математичної моделі розподілу ваг напрямків у реперних мережах залізниць [Текст] / П.І. Лоцман, М.О. Пятигорець // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 135. – С. 121-131.
4. Маслов, А.В. Геодезия [Текст] / А.В. Маслов, А.В. Гордеев, Б.Г. Батраков. – М.: Недра, 1980. – 616 с.
5. Машимов, М.М. Уравнение геодезических сетей [Текст] / М.М. Машимов. – М.: Недра, 1979. – 368 с.
6. Неумывакин, Ю.К. Практикум по геодезии [Текст] / Ю.К. Неумывакин, А.С. Смирнов. – М.: Недра, 1985.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Э.С. Геворкян

Лоцман Клеоніка Павлівна, студентка п'ятого курсу будівельного факультету Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-67. E-mail: pavellcman @ rambler.ru.

K.P. Locman. fifth-year student of the Faculty of Construction Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-67. E-mail: pavellcman@rambler.ru.

УДК 624.074.7

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЦЕССУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАДЕЖНЫХ И ЭКОНОМИЧНЫХ СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОЖНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ

Кандидаты техн. наук О.М. Пустовойтова, С.Н. Камчатная, асп. С.Ю. Набока, студ. К.П. Лоцман

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ НАДІЙНИХ І ЕКОНОМІЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ ЕЛЕМЕНТІВ СКЛАДНИХ СТЕРЖНЕВИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО КРИТЕРІЮ

Кандидати техн. наук О.М. Пустовойтова, С.М. Камчатна, асп. С.Ю. Набока, студ. К.П. Лоцман

INNOVATIVE APPROACHES TO THE DESIGN PROCESS RELIABLY AND ECONOMICALLY-SECTION OF COMPLEX BAR SYSTEMS USING ENERGETICALLY CRITERIA

Cand. of Eng. Science O. Pustovoytova, S. Kamchatnaya, Ph.D. stud. S. Naboka, stud. K. Locman

Рассмотрены методы определения напряжённно-деформированного состояния сложных систем и инновационные подходы к процессу проектирования сооружений. Выявлена и обоснована необходимость использования энергетического критерия и теории напряжённно-деформированного состояния при подборе надежных и экономичных сечений элементов купольных конструкций.

Ключевые слова: метод адаптивной эволюции, напряжённно-деформированное состояние, энергетическая составляющая.

Розглянуті методи визначення напружено-деформованого стану складних систем та інноваційні підходи до процесу проектування споруд. Виявлена і обґрунтована необхідність використання енергетичного критерію та теорії напружено-деформованого стану при підборі надійних і економічних перерізів елементів купольних конструкцій.

Ключові слова: метод адаптивної еволюції, напружено-деформований стан, енергетична складова.

The methods of determination of the tensely-deformed state of the difficult systems and innovative going are considered near the process of the civil engineering. The necessity of sharing of power criterion and theory of the tensely-deformed state is educed and reasonable at the selection of reliable and economical sections of elements of dome constructions.

Keywords: method of adaptive evolution, the stress-strain state, the energy component.

Постановка проблеми. Купольные стержневые сооружения – сложные технические системы взаимодействующих строительных элементов, позволяющие не ограничивать творческий потенциал архитектора в создании различных архитектурных форм. Переход от возможности осуществления замыслов архитектора к практическому проектированию неизбежно приводит к необходимости использования инновационных методов расчета, способствующих созданию порогов необходимых надежности и экономичности.

Развитие конструктивных форм стимулируется совершенствованием вычислительной и экспериментальной техники, а также прогрессом механики и математики в разработке новых математических методов анализа, оптимизации и синтеза конструкций на современных и перспективных ЭВМ.

Анализ последних исследований и публикаций. Работы многих ученых были направлены на создание методов расчета купольных стержневых конструкций: В.С. Шмуклер, А.Г. Юрьев, Г.В. Васильков, Ю.А. Климов. Однако эти методы не предусматривают решения такой задачи проектирования, как учет ресурсов материалов путем варьирования их композиции и формы самой конструкции, а также энергетической составляющей.

Постановка задачи. Целью статьи является решение такой задачи проектирования, как учет ресурсов материалов путем варьирования их композиции и формы самой конструкции, а также энергетической составляющей.

Основной материал исследования. Конструирование должно быть направлено на минимизацию внутренней потенциальной

энергии деформации, накапливаемой в сооружении от его собственного веса, усилий регулирования напряженного состояния и внутренних остаточных напряжений, возникших при изготовлении конструкций, всеми несущими элементами всех его конструктивных форм в сумме при всех возможных сочетаниях постоянных и временных нагрузок и воздействий. Энергетический критерий рационального проектирования был описан в работах Ю.А. Климова и В.С. Шмуклера [1]. Предлагаемый метод построения рациональных систем, в том числе и каркасных, предполагает формирование итерационных процедур, с помощью которых пошагово производится улучшение соответствующих геометрических и физико-механических параметров конструктива.

Потенциальная энергия системы в положении устойчивого равновесия достигает абсолютного минимума по перемещениям в функциональном пространстве, расширенном за счет полей функций конфигурации и (или) модулей упругости материала. В [3] предлагается выбирать из всего множества возможных значений искомых параметров такие, при которых потенциальная энергия деформаций (ПЭД) достигает нижней границы, то есть

$$U = \inf U^k, k = 1, 2, \dots,$$

где U – потенциальная энергия деформации системы, k – номер варианта.

Это происходит при приобретении конструкцией максимальных жесткостных показателей, так что в точке стационарности функционал имеет минимакс – минимум по

функциям перемещений максимумов по функциям конфигурации и (или) модулей упругости материала.

Как пример использования данного метода была рассмотрена сложная пространственно стержневая система – купольное покрытие пролётом 19,5 метров и высотой 8,75 метра (см. рис. 1).

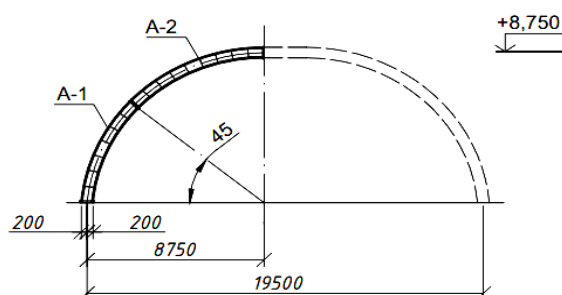


Рис. 1. Схема купола, разбивка полуарки на сегменты

Несущая конструкция ребристого купола представляет собой систему радиальных полуарок – ребер (состоящих из сегментов A-1, A-2), которые соединяются между собой сверху верхним кольцом. Полуарки составного сечения из двух швеллеров №12, а также из соединительных пластин 120х6 (см. рис. 2). В

нижней части ребра опираются на нижнее опорное кольцо, которое воспринимает распорные усилия полуарок. На фундамент купола передаются только вертикальные нагрузки.

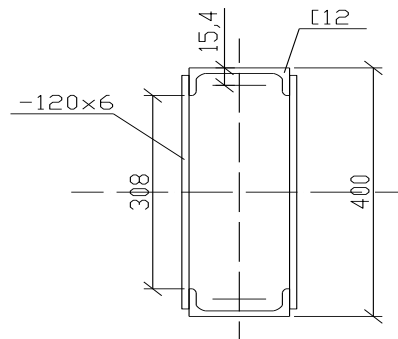


Рис. 2. Конструкция сквозной полуарки

Для сравнения была рассмотрена купольная конструкция с изменённым параметром – сокрушенностью, однако все нагрузки остались прежними, кроме собственного веса, он изменится в зависимости от изменения геометрии конструкции, которые выполнены из одного и того же материала и тех же прокатных профилей (см. рис. 3).

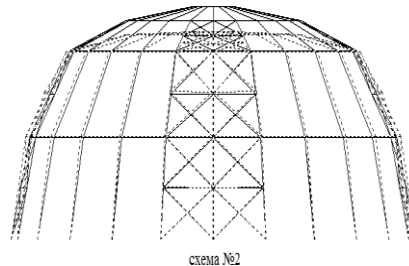
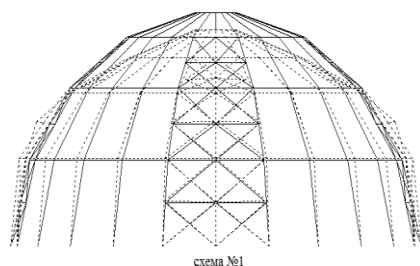


Рис. 3. Схемы купольных покрытий

Основой расчёта был расчёт энергии куполов и прогибы стержней, учитывая, что рассматривалась рациональная система, был также проведён расчёт расхода материала, использовались следующие формулы:

$$U = \sum \frac{N_i^2 \cdot L}{2EA} ; F = \frac{N_i \bar{N}_l}{EA_i} l_i ,$$

где U – потенциальная энергия при внешних параметрах, F – прогибы.

Также при расчёте определялось, как изменится площадь стержней от внутренних параметров (e_u – предельная плотность энергии деформаций)

$$A_{i+1} = A_i \left(\frac{e_i}{e_u} \right) ; e_i = \frac{\sigma^2}{2E} ;$$

$$e_u = 0,5\chi_\varepsilon^2[(\chi_\varepsilon + 1)e_{bcu} - (\chi_\varepsilon - 1)e_{btu}] - (1 - \chi_\varepsilon^2)e_{bshu}.$$

Учитывая тот факт, что ППЭД не является постоянной величиной, а зависит от вида напряженного состояния, считается целесообразным для ее определения приближенный подход. Вид напряженного или деформированного состояния учитывается с помощью параметров χ_σ и χ_ε Надаи-Лоде. В описанном расчёте использовался параметр Надаи-Лоде вида деформированного состояния

$$\chi_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1} = 1;$$

$$e_{bcu} = e_{btu} = 0,5 \cdot R_y^2 \cdot E^{-1};$$

$$e_{bshu} = 0,625 \cdot R_y^2 \cdot E^{-1}.$$

Значения усилий в стержнях рассматриваемых куполов получены при помощи программы SCAD (таблица).

Таблица

Усилия и напряжения (от суммарной нагрузки)

Минимакс усилий и напряжений										
Наименование	Номер сечения	Номер загрузки	Максимальные значения				Минимальные значения			
			Значение				Значение			
			Номер эл-та	№ 1	Номер эл-та	№ 2	Номер эл-та	№ 1	Номер эл-та	№ 2
N	1	3	122	7.54236	168	11.5986	202	-29.348	363	-44.223
M_k	1	1	258	.003568	350	.007783	31	-.0039	372	-.00753
M_y	1	3	1	4.08258	24	5.14242	6	-2.8456	282	-5.6333
Q_z	1	3	63	3.85395	282	5.36375	68	-2.1544	24	-2.266
M_z	1	3	212	2.21202	289	1.27996	2	-0.5151	351	-4.179
Q_y	1	1	2	0.23175	389	0.53215	7	-0.1623	382	-0.5132

Выводы. Анализ численных результатов исследований показал, что более нагружена схема № 2, следовательно она более подвержена деформациям (см. рис. 4).

При рассмотрении двух систем купольного покрытия, отличающихся между собой геометрической формой и имеющих одинаковое нагружение, стало ясно, что с точки зрения max и min значений усилий более рациональной является схема № 1:

($N_{\max \text{ № 1}} = 7,54236 \text{ кН} < N_{\max \text{ № 2}} = 11,5986 \text{ кН}$; $N_{\min \text{ № 1}} = -29,348 \text{ кН} < N_{\min \text{ № 2}} = -44,223 \text{ кН}$).

При рассмотрении энергетической составляющей различия энергетического баланса не столь велики, окончательное решение о принятии рациональной системы всё же будет на основе деформаций и усилий, учитывая, что в схеме № 1 они меньше, принимаем как наиболее рациональную именно эту схему.

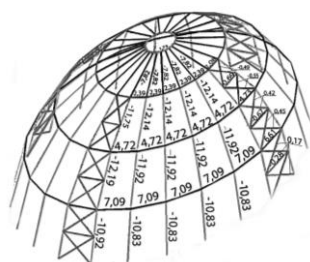


Схема № 1

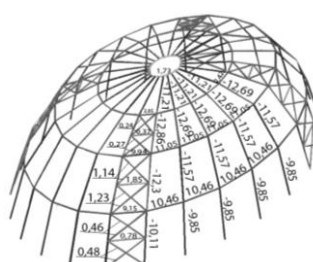


Схема № 2

Рис. 4. Распределения усилий от постоянной нагрузки, на примере основных стержней

При исследовании куполов каждый анализируемый вариант имел свои «плюсы» и «минусы», при этом для получения оптимального проекта купола при заданной геометрии разработана методика решения задачи об оптимальном выборе купола из

условий прочности и местной устойчивости с использованием итерационного метода. Анализ проведенных расчетов по данной методике показывает, что применение итерационного метода с дискретными переменными позволяет эффективно решать проектные задачи.

Список использованных источников

1. Шмуклер, В.С. Каркасные системы облегченного типа [Текст] / В.С. Шмуклер, Ю.А.Климов, Н.П. Бурак. – Харьков: Золотые страницы, 2008. – 336 с.
2. Юрьев, А.Г. Генетические алгоритмы оптимизации строительных конструкций [Текст] / А.Г. Юрьев, С.В. Клюев // Образование, наука, производство и управление в XXI веке: сб. докл. Междунар. науч. конф. – Старый Оскол, 2004. – Т. 4. – С. 238-240.
3. Васильков, Г.В. Эволюционные задачи строительной механики. Синергетическая парадигма [Текст] / Г.В. Васильков. – Ростов-на-Дону: Инфосервис, 2003.
4. Городецкий, А.С. Информационные технологии расчёта и проектирования строительных конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, В.С. Шмуклер, А.В. Бондарёв. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 889 с.
5. Шмуклер, В.С. Рационализация параметров неодносвязной балки-стенки [Текст] / В.С. Шмуклер, Ф. Какшар, И. Вассим // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХО АСУ, 2004. – С. 202-213.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Э.С. Геворкян

Пустовойтова Оксана Михайлівна, доцент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М.Бекетова. Тел.: (057)-730-10-67.

Набока Сергій Юрійович, аспірант кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М.Бекетова. Тел.: (057)-730-10-67.

Камчатна Світлана Миколаївна, доцент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)-730-10-67.

Лоцман Клеоніка Павлівна, студентка 4 курсу будівельного факультету Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)-730-10-67.

Pustovoytova Oksana Myhaylovna , associate professor of the department stroitel designs Kharkiv National University horodskoho economy A.N.Beketova. Tel. (057) -730-10-67.

Sergey Nabokov Yurevich , aspyrant the department stroitel designs Kharkiv National University horodskoho economy A.N.Beketova. Tel. (057) -730-10-67.

Svetlana Nikolaevna Kamchatnyy , associate professor of the department and path putevoho economy Ukrainskaia Academy railroad transport. Tel. (057) -730-10-67.

Pilot Kleonikos Pavlovna , 4th year student of the faculty stroytelnoho Ukrainskaia Academy railroad transport. Tel. (057) -730-10-67.

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ УКРАЇНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ
АКАДЕМІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ZBIRNIK NAUKOVIH PRAC' UKRAINS'KOI DERZAVNOI
AKADEMII ZALIZNICNOGO TRANSPORTU**

Випуск 145

Збірник включено до переліку № 1 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Постанова президії ВАК України № 1-05/4 від 26 травня 2010 р.)

Статті друкуються мовою оригіналу.

Відповідальний за випуск Петрушов В.В.
Редактори Буранова Н.В., Еткало О.О.,
Ібрагімова Н.В., Решетилова В.В.

КВ № 8617 від 06.04.2004 р. Підписано до друку 27.05.2014 р.
Формат паперу 60x84 1/8. Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 13,0. Тираж 105. Замовлення № .

Видавець Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідectво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

Виготовлювач ТОВ «Енергозберігаючі технології»
61050, Харків, Харківська набережна, 8.
Свідectво суб'єкта видавничої справи ДК № 1360 від 19.05.2003р.