



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

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

Випуск 165

Харків 2016

УДК 656.2(062)

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

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

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

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

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

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

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

Реферативна база

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

ISSN (p) 1994-7852

ISSN (online) 2413-3795

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Друкується за рішенням вченої ради університету, протокол № 7 від 27 жовтня 2016 р.

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

Редакційна колегія

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

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

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

ISSN 1994-7852

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

© Український державний університет
залізничного транспорту, 2016

ЗМІСТ

<i>Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є., Скуб'як А.В.</i> Визначення ефективності використання швидкісних перевезень на мережі залізниць	5
<i>Крячко К.В., Дев'ятко А.В., Маруєва Я.В., Сотников В.В., Манафов Р.Б.</i> Удосконалення взаємодії в роботі станцій залізничного вузла	11
<i>Прохоров В.М., Рябушка Ю.А.</i> Передумови розробки автоматизованої системи управління вагонопотоками на залізницях України	18
<i>Прохорченко Г.О., Семенов Р.І.</i> Розробка процедури автоматизованої побудови графіка руху поїздів на залізничному напрямку	26
<i>Прохорченко А.В., Журба О.О., Кобаренко Я.Є.</i> Аналіз організації роботи залізничних вокзалів в умовах здійснення трансферних пасажирських перевезень	34
<i>Меркулов В.С., Бізюк І.Г.</i> Системно-аналітичний опис автоматизованої системи планування вантаження-вивантаження (частина 1)	44
<i>Куш Є.І., Скрипін В.С.</i> Формування цільової функції оптимізації витрат логістичного процесу	49
<i>Доля В.К., Понкратов Д.П.</i> Цільова функція вибору пасажиромісткості транспортних засобів на міських маршрутах	59
<i>Емельянова И.А., Андренко П.Н., Чайка Д.О.</i> Степень неравномерности подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом как функция параметров рабочего процесса	69
<i>Супрун О.Д., Семенов Ю.О.</i> Дослідження аварійних режимів роботи агрегатів безперебійного живлення блочно-модульних тягових підстанцій	77
<i>Крашенінін О.С., Костенко В.С.</i> До питання експлуатації та технічного обслуговування струмоприймачів швидкісного рухомого складу	84
<i>Воронін С.В., Сафонюк І.Ю., Онопрейчук Д.В., Стефанов В.О., Суранов О.О.</i> Аналіз властивостей робочих рідин гідроприводів колійної техніки залізниць України	90
<i>Мозговий А.О.</i> Імовірнісна оцінка надійності шлюзів на нескельовій основі за критеріями міцності і стійкості проти зсуву камер шлюзів на прикладі гідровузлів Дніпровського каскаду	99
<i>Куценко М.Ю., Повод А.О., Денисенко А.М., Певнева І.О., Михалевич З.М.</i> Аналіз відомих досліджень щодо доцільності застосування односторонніх і двосторонніх сортувальних станцій	109
<i>Зіньківський А.М., Муха А.А.</i> Аналіз розвитку технічного оснащення парку дизель-поїздів для залізничних ліній	117
<i>Фомин С.Л., Кравченко А.М.</i> Верификация результатов экспериментов фрагментов коксовых батарей численным моделированием в нелинейной постановке	129
<i>Задирака М.О., Коваленко О.В., Табацький В.Е.</i> Електричний моторвагонний рухомий склад підвищеної ефективності	145
<i>Чигирик Н.Д., Тимченко О.Є., Вихопень І.Р.</i> Індукційний нагрів як спосіб управління процесом зчеплення колеса з рейкою	150

<i>Лаврухін О.В., Мкртчян Д.І., Кульова Д.О.</i> Аналітичні передумови формування автоматизованої інтелектуальної технології активного супроводження перевезення небезпечних вантажів	159
<i>Шпачук В.П., Чупринін О.О., Гарбуз А.О., Супрун Т.О.</i> Особливості динамічної взаємодії на четвертій фазі проходження вагоном стикової нерівності	167
<i>Антонович А.О.</i> Синтез критерію якості роботи ергатичної системи «машиніст-локомотив»	173
<i>Нестеренко С.Г., Вяткін К.І.</i> Аналіз створення і ведення міського будівельного кадастру населених пунктів України	178
<i>Саяпін О.С., Камчатна С.М., Литвиненко М.О., Хлистуна А.А.</i> Умова скидання ґрунту з основного відвала автогрейдера	183
<i>Савйовский В.В., Савйовский А.В.</i> Парадигма безопасности эксплуатации зданий и сооружений	188
<i>Броневицкий А.П.</i> Технологические особенности ревитализации промышленных зданий	196
<i>Довженко О.О., Погрібний В.В., Мальована О.О.</i> Оцінювання міцності при зрізі бетонних елементів на основі теорії пластичності бетону	205
<i>Прохоров В.М., Рябушка Ю.А.</i> Розрахунок плану формування поїздів на основі стохастичної комбінаторної оптимізації	214
<i>Супрун Т.О.</i> Технічні засоби дослідження впливу висоти рейкових стиків залізничної і трамвайної колії на рівні коливань вагона	223
<i>Шумик Д.В., Пелешко С.І., Стронська Н.І.</i> Удосконалення взаємодії сортувальної станції та під'їзних колій великих публічних акціонерних товариств	231
<i>Колчунов В.И., Яковенко И.А., Дмитренко Е.А.</i> Конечно-элементные плоские модели нелинейной задачи сцепления арматуры с бетоном, их сравнение и анализ	240
<i>Жалкін Д.С., Рогатюк С.В.</i> Підвищення тягових властивостей дизель-поїзда при розгоні	259

УДК 656.072-05

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШВИДКІСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА МЕРЕЖІ ЗАЛІЗНИЦЬ

Канд. техн. наук Г. С. Бауліна, асист. Г. Є. Богомазова, А. В. Скуб'як

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОК НА СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Канд. техн. наук А. С. Баулина, ассист. А. Е. Богомазова, А. В. Скуб'як

DEFINITION OF EFFICIENCY FOR USE SPEED TRANSPORTATION ON RAILWAY NETWORK

Phd. tehn. G. Baulina, assist. G. Bogomazova, A. Skubiak

У роботі проведено аналіз перевезення пасажирів швидкісними поїздами на мережі залізниць. Дослідження показали, що ефективність використання швидкісних перевезень залежить від попиту на швидкісні поїзди. У статті пропонується впровадження цих перевезень на тих напрямках, де є велика транспортна рухливість населення у поєднанні з їх платоспроможністю з урахуванням мінімальних експлуатаційних витрат залізниці.

Ключові слова: пасажирські перевезення, попит, швидкісні поїзди, витрати залізниці.

В работе проведен анализ перевозки пассажиров скоростными поездами на сети железных дорог. Исследования показали, что эффективность использования скоростных перевозок зависит от спроса на скоростные поезда. В статье предлагается внедрение этих перевозок на тех направлениях, где большая транспортная подвижность населения в сочетании с их платежеспособностью с учетом минимальных эксплуатационных расходов железной дороги.

Ключевые слова: пассажирские перевозки, спрос, скоростные поезда, затраты железных дорог.

The paper analyzed the high-speed passenger trains on the railway network, which showed that due to high speed and comfort of high-speed trains have gained wide acceptance among the population in Ukraine and worldwide. Operation of such railways lines brings significant revenue, provides a high level of profitability and rapid return on investment. But studies have shown that these results are not high in all areas of transportation. Therefore, the operation speed train feasibility depends on the demand for such transportation. Especially significant role assessment plays in implementing demand management measures profitability based on price optimization. The volume of passenger traffic is directly dependent on the size and nature of their passenger traffic fluctuations. In the article offered the high-speed traffic on those areas where high transport mobility people with their solvency in combination with minimal operating costs railroad industry bring great returns. To determine the direction of running the trains category «Intercity +» proposed objective function to minimize operating costs.

Key words: passenger transportation, demand, high-speed train, costs of railways.

Вступ. З часу виникнення залізниць вже минула не одна сотня років. Залізничний транспорт подолав довгий

еволюційний шлях розвитку від ручної тяги масивних вагонеток до сучасних високошвидкісних експресів, що діють за

принципом магнітної левітації, які вже стали звичним явищем для багатьох країн світу.

Все більш широку популярність у світі отримує новий напрям у розвитку традиційних залізниць – високошвидкісний залізничний транспорт. Завдяки створенню високошвидкісних сполучень залізниця багатьох країн отримують друге «дихання», і після деякого спаду залізничний транспорт знову переживає бурхливе піднесення. Завдяки високій швидкості і комфорту високошвидкісні поїзди завоювали широке визнання у населення.

Проектування і будівництво високошвидкісних магістралей набувають в усьому світі все більших масштабів. Їх експлуатація приносить залізницям значні доходи, забезпечує високий рівень рентабельності і швидко окупність капіталовкладень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Концепцією [1] передбачається створення в Україні мережі швидкісних залізничних магістралей для сполучення столиці України з великими обласними та промисловими центрами, а також з країнами Західної Європи та СНД. Перспективи розвитку та підвищення ефективності функціонування залізничної галузі за рахунок впровадження швидкісного залізничного руху, визначивши результативність їх функціонування для економіки країни, розглядаються в роботі [2]. У статті [3] подано кілька наукових підходів щодо визначення економічної доцільності впровадження в Україні високошвидкісного руху та запропоновано результати їх досліджень. Три сценарії реформування залізничної інфраструктури багатьох країн світу наведені в роботі [4], які можуть бути застосовані на залізничній мережі України. При цьому підкреслюється, що найбільш перспективний шлях для України – розвивати так званий прискорений рух (до 160 км/год) на базі наявних шляхів. Ефективність перевезення пасажирів під час свят доведено авторами в

роботі [5] у вигляді моделі прогнозування нечіткого попиту на пасажирські перевезення, яка може бути застосовна для прогнозування попиту на перевезення пасажирів високошвидкісними магістралями. Для залучення більшої кількості пасажиропотоку на високошвидкісних лініях у дослідженні [6] пропонується підвищувати рівень сервісного обслуговування користувачів за допомогою мультимедійних послуг.

Визначення мети та задачі дослідження. Для сучасної України значення транспорту дуже велике, тому що саме транспорт з'єднує різні регіони в єдину країну. Прагнення до якнайшвидшого подолання відстаней – одна з природних потреб людини, тому і ведеться боротьба за швидкість на всіх видах транспорту.

Основні завдання, які ставляться в даній роботі, – дослідження попиту на пасажирські швидкісні перевезення в Україні за окремими напрямками, підвищення покриття території, що обслуговується поїздами «Інтерсіті» та «Інтерсіті+», задоволення потреби населення у швидкісних перевезеннях з найменшими витратами галузі.

Основна частина дослідження. Пасажирське сполучення між окремими населеними пунктами постійно розвивається. Історія розвитку швидкісного залізничного транспорту України починається з 2012 року, коли виникає кардинально інший погляд на рівень якості перевезення пасажирів та надання сервісних послуг.

Зараз вже складно уявити собі пасажирські залізничні перевезення без поїздів «Інтерсіті+». Українці гідно оцінили і їх комфорт, і швидкість, з якою вони пересуваються. А чотири роки тому, коли такі поїзди тільки вийшли на лінію, багато хто поставився до цієї події з великою часткою скепсису: максимальна швидкість, з якою рухалися поїзди в Україні, становила 120 км/год, тепер вони пересуваються зі швидкістю 160 км/год.

Практично всі маршрути мають популярність у пасажирів. Наразі населеність швидкісних поїздів у середньому доходить майже до 80 %, тобто перевезення рентабельні. Так, за перші 5 місяців 2016 р. філії «Українська залізнична швидкісна компанія» («УЗШК») ПАТ «Укрзалізниця» вдалося отримати 10 млн 66 тис. грн чистого прибутку, а в цілому фінансовий результат від перевезень за цей час склав 28 млн 408 тис. грн. Послугами «УЗШК» за цей період скористалося понад 1 млн 352 тис. пасажирів.

З початку курсування швидкісних поїздів (травень 2012 р.) перевезено 7,6 млн пасажирів, із них 84 % пасажирів перевезено в чотирьох основних напрямках:

- у харківському – 2,6 млн пас.;
- у дніпропетровському (до Дніпропетровська, Красноармійська та Запоріжжя) – 1,7 млн пас.;
- у донецькому (до Донецька, Костянтинівки) – 1,1 млн пас.;
- у львівському (до Львова та Трускавця) – 1 млн пас.;
- в інших (кримський, одеський, криворізький, тернопільський напрямки) – 0,7 млн пас.

Пошук найбільш економічно обґрунтованих рішень у визначенні напрямку високошвидкісних пасажирських перевезень – одне з ключових завдань, актуальних для всіх залізниць Європи, де тривають реформи. Оптимальне рішення цієї проблеми дозволить покращити ситуацію у сфері пасажирських залізничних перевезень. Тому необхідно провести дослідження пасажиропотоків для виявлення попиту на перевезення пасажирів швидкісними поїздами.

Важливу роль при організації руху пасажирського транспорту відіграє нерівномірність розподілу пасажиропотоків за годинами та окремими ділянками діючих маршрутів. Для формування оптимальної або раціональної маршрутної сітки, так само як і для ефективного використання рухомого складу та забезпечення високого

рівня обслуговування пасажирів, необхідно знати напрямки, розміри та ступінь нерівномірності пасажиропотоків.

З 2013 року по 2015 рік середнє завантаження поїздів класу «Інтерсіті +» в Україні збільшилось з 49 до 64 % відповідно. При цьому заселеність вечірнього рейсу Київ – Харків у другому кварталі 2015 р. досягла неймовірного показника в 91 %. Середнє завантаження поїздів «Інтерсіті +» за I та II півріччя 2015 р. у відсотках подано в таблиці.

Порівнюючи залізничне пасажирське швидкісне сполучення з європейськими країнами, бачимо, що середнє завантаження наших поїздів класу «Інтерсіті+» задовільне. Наприклад, у Польщі середня завантаженість поїздів «Pendolino» дуже неоднорідна. Так, на найпопулярнішому напрямку Варшава – Краків – Варшава завантаження є на рівні 79-85 %, на всіх інших – менше 37 %. Варшава – Катовіце – взагалі 25 %. Завантаження поїздів «České dráhy» (державний пасажирський залізничний оператор Чехії) у 2014 році склало 26 % [7].

Планування перспективного розвитку залізничної транспортної системи для результативного освоєння заданих (прогнозних) обсягів перевезень може бути досягнуто за рахунок збалансованого розвитку транспортної мережі і побудови оптимальної схеми потоків при умові обмеженості капіталовкладень. У дослідженні складних виробничих систем частіше стали застосовуватися методи моделювання, які відкидають можливість у численних допущеннях, що вводяться при аналітичних методах вирішення задач масового обслуговування. Методи моделювання дають можливість отримати оцінку показників якості організації обслуговування для будь-яких періодів часу, разом з тим аналітичний метод слухний лише для моментів, коли процес обслуговування постійно визначений у часі [8].

Середнє завантаження поїздів «Інтерсіті +» за I та II півріччя 2015 р.

Номер поїзда	Напрямок перевезення	I півріччя 2015 р., %	II півріччя 2015 р., %
726	Київ – Харків	85	91
725	Харків – Київ	76	86
724	Київ – Харків	77	83
723	Харків – Київ	71	79
721	Харків – Київ	62	71
722	Київ – Харків	53	67
732	Запоріжжя – Київ	81	88
736	Київ – Запоріжжя	70	78
734	Київ – Красноармійськ	74	84
733	Красноармійськ – Київ	76	82
711	Костянтинівка – Київ	60	65
712	Київ – Костянтинівка	48	58
763	Київ – Одеса	37	74
761	Київ – Одеса	-	65
764	Одеса – Київ	32	62
762	Одеса – Київ	-	56
742	Трускавець – Київ	64	71
741	Київ – Трускавець	45	60
743	Київ – Львів	57	69
744	Львів – Київ	39	47
748	Тернопіль – Київ	55	67
747	Київ – Тернопіль	45	60
740	Київ – Кривий Ріг	26	35
739	Кривий Ріг – Київ	24	29

Динаміка пасажирського попиту є найважливішим фактором, що визначає способи та інструменти управління рентабельністю швидкісних перевезень. Прогноз доходу на близьку і далеку перспективу, вибір заходів щодо підвищення лояльності потенційних пасажирів, визначення оптимального набору внутрішньовагонного сервісу, аналіз впливу конкурентної сфери – ці та інші питання вимагають оцінки характеристик пасажирського попиту.

Особливо істотну роль оцінка попиту відіграє в реалізації заходів управління прибутковістю на базі цінової оптимізації. Однак для дієвості відповідних заходів управління суттєвою є наявність необхідного пасажирського контингенту, тобто необхідного рівня попиту.

Обсяг пасажирських перевезень перебуває у прямій залежності від величини пасажиропотоків та характеру їх коливання. Попит на переміщення, який характеризується ознакою типу пасажирів, місцями зародження та призначення поїздок, а також маршрутом, може бути виражений залежно від деякої множини соціально-економічних характеристик. Чималий вплив на попит перевезення швидкісними поїздами має платоспроможність населення, або, іншими словами, кількість потенційних пасажирів, що спроможні купити перевізні білети у відповідний клас поїзда за запропонованою ціною. Для визначення величини попиту на перевезення, що залежить від низки факторів, введемо поняття функції попиту

$$Q_d = f(Z, Z_{36}, W, G, R, N, V, T, O, B, S, K), \quad (1)$$

де Q_d – об'єм попиту пасажирів на перевезення у швидкісних поїздах у певному регіоні;

Z – ціна перевізного квитка на швидкісний поїзд;

Z_{36} – ціна перевізного квитка на поїзд звичайного курсування;

W – поточний дохід споживачів транспортних послуг;

G – платоспроможність населення даного регіону;

R – наявність альтернативних перевезень;

N – період часу, в тому числі сезонність перевезень;

V – швидкість руху;

T – час, що витрачається на перевезення;

O – доступність (інформація про послуги, що надаються, – реклама);

B – безпека перевезення;

S – зручність у перевезенні;

K – транспортна рухливість населення.

Для плідного (продуктивного) функціонування швидкісних пасажирських перевезень залізничній адміністрації треба враховувати не тільки попит пасажирів на перевезення, а ще прагнути до мінімізації загальної вартості експлуатації швидкісних поїздів у певному регіоні країни. Тому цільова функція ефективності експлуатації швидкісних поїздів між окремими регіонами i та j набуває вигляду:

$$C(x_{ij}) = \sum \sum (F(t_{ij}) + M(l_{ij})) \cdot \frac{E_d \cdot I}{x_{ij}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де C – експлуатаційні витрати залізниці на переміщення швидкісного поїзда у певному регіоні, грн;

x_{ij} – місткість швидкісного поїзда, що курсує між станціями i та j , пас.;

$F(t_{ij})$ – фіксовані витрати на переміщення поїзда між станціями i та j , що

залежать від часу перебування t поїзда у русі;

$M(l_{ij})$ – змінні експлуатаційні витрати на один поїзд, що залежать від відстані l переміщення поїзда;

E_d – коефіцієнт еластичності попиту;

I – індекс сезонності, який враховує мінливість у потребі у перевезеннях залежно від пори року, дня тижня, часу доби.

Коефіцієнт еластичності попиту – числовий показник, що характеризує, в якій мірі змінюються витрати на перевезення при збільшенні пасажиропотоку,

$$E_d = \frac{\Delta Q}{\Delta P}, \quad (3)$$

де ΔQ – зміна попиту;

ΔP – зміна грошових витрат.

Отримавши результати розрахунків за цільовою функцією ефективності експлуатації швидкісних поїздів, дійшли висновку, що загальні експлуатаційні витрати залізниці прямо пропорційні кількості перевезених пасажирів. Тому для одержання оптимального значення кількості пасажирів у поїзді треба враховувати обмеження за попитом на перевезення.

Результати розрахунку залежності експлуатаційних витрат залізниці на переміщення швидкісного поїзда у певному регіоні від кількості пасажирів у поїзді та від попиту на перевезення подано на рисунку у вигляді двох кривих, що перетинаються.

З рисунка бачимо, що чим більше пасажирів купили квитки на поїзд, тим меншими є витрати залізниці. Але якщо існує ймовірність перевезення малої кількості пасажирів, то залізниця ризикує зазнати більших витрат. Експлуатаційні витрати залізниці будуть прийнятними у точці перетину двох кривих. Таким чином, пасажиромісткість швидкісного поїзда для розрахункового регіону буде складати приблизно 470 пасажирів.

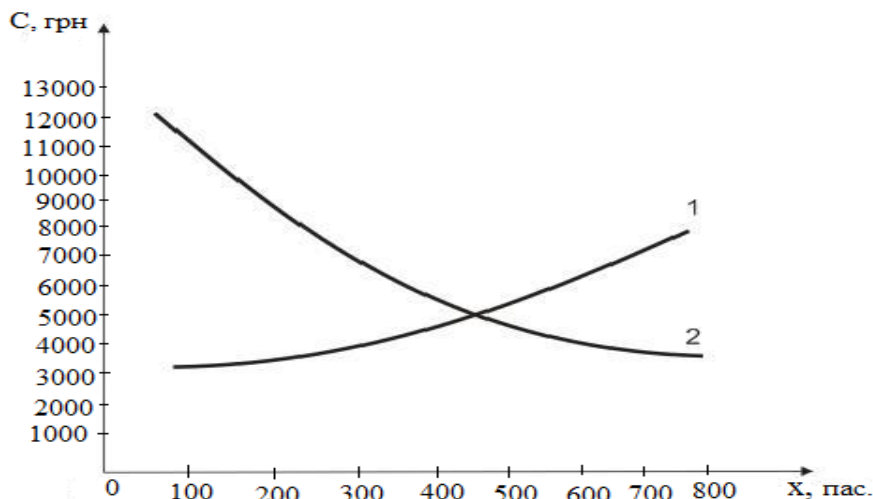


Рис. Залежність експлуатаційних витрат від місткості пасажирського поїзда:

- 1 – залежність від кількості пасажирів у швидкісному поїзді;
- 2 – залежність від попиту на перевезення

Сфера послуг на швидкісні перевезення має функціонувати таким чином, щоб повністю задовольняти потреби населення з якнайменшими витратами для залізничної галузі.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Як підсумок проведеного дослідження можна зробити висновок, що

швидкісні перевезення набирають обертів, але не всі напрямки перевезення є рентабельними. Для того щоб отримати максимальний прибуток від швидкісних пасажирських перевезень, залізничній галузі треба дослідити попит на ці перевезення на певних напрямках з урахуванням мінімізації експлуатаційних витрат залізниці.

Список використаних джерел

1. Про схвалення Концепції Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки [Текст]: затв. розпорядженням Кабінету Міністрів України від 31 груд. 2004 р. № 979-р // Офіційний вісник України. – 2005. – 21 січ. – С. 84.
2. Чупир, О. М. Проблеми та нові принципи функціонування будівельної сфери залізничного транспорту України [Електронний ресурс] / О.М. Чупир // Ефективна економіка / Дніпропетр. держ. аграр.-екон. ун-т. – Дніпропетровськ, 2012. – № 7. – Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=1264>.
3. Бараш, Ю. С. Аналіз наукових підходів щодо обґрунтування економічної доцільності будівництва в Україні високошвидкісних магістралей [Текст] / Ю.С. Бараш, А.В. Момот // Вісник економіки транспорту і промисловості: зб. наук.-практ. статей / Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – № 40. – С. 83 – 86.
4. Коли полетять поїзди. Світовий досвід залізничних перевезень, який варто використати Україні [Електронний ресурс] / Корреспондент.biz // Корреспондент.net. – 2014. – 15 лип. – Режим доступу: <http://ua.korrespondent.net/business/economics/3392395-korrespondent-koly-poletiat-poizdy-svitovyi-dosvid-zaliznychnykh-perevezen-yakui-var-to-vykorystaty-ukraini>.

5. Dou, F. A train dispatching model based on fuzzy passenger demand forecasting during holidays [Text] / F. Dou, J. Xu, L. Wang, L. Jia // Journal of Industrial Engineering and Management. – 2013. – № 6(1). – P. 320 – 335.

6. Xu, S. Analysis and Optimization of Resource Control in High-Speed Railway Wireless Networks [Text] / S. Xu, G. Zhu, C. Shen, Y. Lei, Z. Zhong // Mathematical Problems in Engineering. Hindawi Publishing Corporation. – Vol. 2014. – Art. ID 781654. – 13 P.

7. Выехать на классе: какие направления поездов Интерсити+ самые популярные [Электронный ресурс] / Центр транспортных стратегий // Режим доступа: http://cfts.org.ua/articles/vyekhat_na_klasse_kakie_napravleniya_poezdov_intersiti_samy_e_populyarnye_866.

8. Богомазова, Г. Є. Проблема вибору раціонального варіанта організації вагонопотоків [Текст] / Г.Є. Богомазова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2011. – Вып. 1/3 (49) – С. 33 – 35.

Бауліна Ганна Сергіївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85, 21-97.

Богомазова Ганна Євгенівна, асистент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)-730-10-85.

Скуб'як Артур Володимирович, магістр групи МЗ-TEMPUS-ОПУТ-515, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057)-730-10-85.

Baulina Ganna, phd. techn. sciences, associate professor department of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-85, 21-97.

Bogomazova Ganna, assistant department of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-85, 21-97.

Skubiak Artur, master of the group MZ-TEMPUS-OPUT-515, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-85.

Стаття прийнята 27.09.2016 р.

УДК 656.212.5

УДОСКОНАЛЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ В РОБОТІ СТАНЦІЙ ЗАЛІЗНИЧНОГО ВУЗЛА

**Канд. техн. наук К. В. Крячко, А. В. Дев'ятко, Я. В. Маруєва,
В. В. Сотников, Р. Б. Манафов**

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РАБОТЕ СТАНЦИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЗЛА

**Канд. техн. наук Е. В. Крячко, А. В. Девятко, Я. В. Маруева,
В. В. Сотников, Р. Б. Манафов**

IMPROVEMENT OF INTERACTION IN THE WORK STATIONS OF THE RAILWAY JUNCTION

Phd. tehn. K.V. Kryachko, A.V. Devyatko, Y.V. Marueva, V.V. Sotnikov, R.B. Manafov

У даній роботі пропонуються варіанти раціонального перерозподілу сортувальної та маневрової роботи між сортувальними і вантажними станціями при формуванні передаточних поїздів з урахуванням можливого детального підбору окремих груп вагонів на конкретні вантажні фронти. Це дає змогу оптимального використання сортувального пристрою і маневрових локомотивів як на сортувальній, так і на вантажних станціях, а

також скорочення тривалості перебування місцевих вагонів під час виконання основних технологічних операцій у залізничному вузлі.

Ключові слова: місцеві вагони, сортувальна станція, вантажні станції, взаємодія, залізничний вузол.

В данной работе предлагаются варианты рациональной технологии перераспределения сортировочной и маневровой работы между сортировочными и грузовыми станциями при формировании передаточных поездов с учетом возможного детального подбора отдельных групп вагонов на конкретные грузовые фронты. Это дает возможность оптимального использования сортировочного устройства и маневровых локомотивов как на сортировочной, так и на грузовых станциях, а также сокращения продолжительности нахождения местных вагонов во время выполнения основных технологических операций в железнодорожном узле.

Ключевые слова: местные вагоны, сортировочная станция, грузовые станции, взаимодействие, железнодорожный узел.

In this work the variants of rational technology for the redistribution of the sorting and shunting work between sorting and freight stations in the formation of the gear trains, taking into account possible detailed the selection of individual groups of cars for specific cargo fronts. This gives the possibility of optimal use of screening devices and shunting locomotives as sorting and freight stations, as well as the reduction of the length of time of local cars during the execution of the basic technological operations in the railway node. The studies of the structure of volumes with the processing of coming to the sorting stations, it was found that of the total local traffic volume ranges from 7% to 12% and the accumulation time of trains gear trains – up to 8 hours or more.

Given that the time for the completion of the formation of these compounds through an slide in the rail yard for much less than freight (depending on the number of groups of wagons) and that the cost of recycling of one car on the yard and station at 5 – 6 times less than the cargo, was asked to undertake the completion of the formation to the exactions of railway freight fronts in the rail yard, especially at this time when the reduction in the total amount of work sorting slides have sufficient reserve processing capacity.

The dependences for determining the number of groups of wagons with defined assignment freight station in trains transfer trains, as well as finding the average number of uncoupling , which determines the amount of shunting work on the exhaust paths.

Key words: local cars, marshalling yard, freight station, interaction, railway junction.

Вступ. Незважаючи на систематичне скорочення обсягів вантажних перевезень, що за останні три роки щорічно в середньому складало не менше 10 %, попит на транспортні послуги не зменшується, але цілий ряд причин викликають суттєві збитки (необґрунтованість тарифів, невідповідність робочого парку вагонів потрібним обсягам роботи, невиконання технологічних норм перебування вагонів на технічних і вантажних станціях, використання в експлуатації застарілого рухомого складу, вантажно-розвантажу-

вальних машин і ін.). Так, 91,3 % маневрових локомотивів використовується з перевищенням нормативним терміном експлуатації; із 111200 вантажних вагонів 31 % перебуває в неробочому парку, а 56,5 % експлуатується з простроченим нормативним терміном; середній знос вагонів складає понад 90 %; тривалість виконання операцій з поточного утримання таких вагонів на 40-60 % перевищує заплановані норми [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемою взаємодії

основних станцій залізничного вузла з метою зменшення тривалості перебування вагонів при виконанні технологічних операцій займалися видатні вчені як в Україні, так і за кордоном. У першу чергу ці питання досліджувались у наукових працях Смахова А.О. [2], Данька М.І. [3], Бутько Т.В. [4], Ломотька Д.В. [5], Альошинського Є.С. [6].

Визначення мети і задачі дослідження. З метою удосконалення організації роботи суміжних залізничних підрозділів виникає необхідність дослідження застосування раціональної технології, яка б дозволила прийняття оперативних рішень, направлених на скорочення обороту вантажних вагонів, які від навантаження до наступного навантаження перебувають на початково-кінцевих пунктах, тобто на вантажних станціях, більше половини часу, та понад 40 % – на технічних станціях, які їх обслуговують.

Основна частина дослідження. На сьогодні 55 % вантажних станцій розташовуються у залізничних вузлах, але основний обсяг робіт з навантаження-вивантаження виконується на станціях десяти найбільших міст України з населенням понад 500 тисяч жителів та 30 великих міст – від 100 до 500 тисяч жителів [7]. Це, як правило, позакласні станції та першого класу, що мають по два маневрових локомотиви і виконують усі види робіт, основна частка яких припадає на сортування та подавання вагонів на окремі вантажні фронти.

Із загальної тривалості перебування вагонів на вантажних станціях близько 70 % припадає на простої в очікуванні накопичення подач, подавання, розставляння і на міжопераційні простої під час їх виконання і проведення вантажних робіт.

Значно більшою є тривалість перебування вагонів на вантажних станціях, що мають один маневровий

локомотив або зовсім його не мають. Такі станції, як правило, мають незначний колійний розвиток і робота з підбору груп вагонів на вантажні фронти викликає значні простої.

За основним призначенням вантажні станції мають займатися організацією вивантаження і навантаження, а невласливу їм сортувальну роботу слід було б здійснювати на технічних станціях.

Згідно з результатами досліджень технології переробки місцевих вагонопотоків, які включаються до передаточних поїздів на вузлових сортувальних станціях [8], у більшості випадків операції по закінченню формування таких поїздів не виконуються і вони направляються після накопичення вагонів безпосередньо з колій сортувального парку або після перестановки до парку відправлення; тобто вся робота із детальним сортуванням передається на вантажні станції.

Аналіз структури вагонопотоку з переробкою, який надходить до сортувальних станцій, показав, що із загального обсягу місцевий вагонопотік складає від 7 до 12 %, а простий состав передаточних поїздів під накопиченням – до восьми і більше годин.

Витрати часу на закінчення формування цих составів через гірку на сортувальній станції на порядок менші, ніж на вантажній станції залежно від числа груп вагонів у составі. Враховуючи, що собівартість переробки одного вагона на сортувальній станції у 5-6 разів менша, ніж на вантажній, економічно доцільним є закінчення формування з підбором груп вагонів по вантажних фронтах здійснювати на сортувальних станціях, особливо нині, коли із зменшенням загального обсягу роботи їхні гірки мають достатній резерв переробної спроможності.

Дані обсягів роботи залізниць України (2010-2015 рр.) подано в таблиці.

Обсяги роботи залізниць України за 2010 – 2015 рр.

Основні показники	Одиниці виміру	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Перевезення вантажів	млн т	432,5	468,4	457,5	441,8	387,0	350,0
Вантажообіг	млрд ткм	218,1	243,6	237,3	224,0	209,6	195,1
Перевезення пасажирів	млн пас.	3104,6	3352,8	3348,9	3263,8	2977,1	2590,1
Пасажиροобіг	млрд пас. км	50,2	51,5	50,3	49,0	42,6	34,5

Але при цьому виникає і ряд проблем, які слід вирішувати впровадженням додаткових організаційно-технічних заходів. Так, при підборі груп вагонів виникає необхідність виділення додаткових колій у сортувальному парку або вільних дільниць колій за парковими гальмовими позиціями. Якщо таке сортування організувати чітко, між розпусками основного вагонопотоку, то вільні дільниці колій можуть використовуватися між стрілочною зоною і парковими гальмовими позиціями.

Крім цього, якщо станція обладнана автоматизованою системою управління, то слід коригувати інформаційне забезпечення програми сортувального процесу, оскільки відчепи виділяються в цілому для певної вантажної станції, а не вантажного фронту, тому при розформуванні немає інформації про певного вантажовласника.

У зв'язку з цим для підбору вагонів на сортувальних станціях по конкретних пунктах вивантаження необхідно створити додаткову інформаційну базу на сервері вузлового диспетчера і відкоригувати систему управління базою даних.

Це дасть змогу у сортувальних листках надавати відповідну інформацію для можливості підбору груп місцевих вагонів для вантажних станцій вузла у процесі розпуску основного вагонопотоку або після накопичення составів передаточних поїздів.

Одночасно слід розглянути необхідність введення при вузловому диспетчері додаткової штатної одиниці оператора (а при обслуговуванні тільки однієї вантажної станції – при маневровому диспетчері сортувальної станції) для постійного зв'язку з вантажними станціями і надання оперативної інформації про становище на вантажних фронтах, що практично не змінить собівартості переробки вагонів на сортувальній станції, але зменшить її на вантажній станції. Таку комплексну взаємодію технології роботи особливо важливо застосовувати при однозмінній або двозмінній роботі вантажних фронтів (на сьогодні понад 90 % вантажних фронтів працює в одну зміну). Це надасть можливість значно стабілізувати режим роботи вантажної станції у ранкові періоди від моменту прибуття передаточного поїзда до подачі вагонів на вантажні fronti.

Для вирішення задачі перерозподілу маневрової роботи в першу чергу слід визначити середнє число груп вагонів (n_{cp}) з певними призначеннями вантажної станції у складах передаточних поїздів. Згідно з дослідженнями [2] встановлено, що максимальне число груп вагонів (n), що надходять одночасно на усі вантажні fronti, складає від 13 до 19 %. Це дозволило виявити залежність n_{cp} від n та середньодобового обсягу місцевих вагонів (n_m), що передаються на вантажну станцію,

$$n_{zp} = n - \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_M - n_i}{n_M} \right)^n, \quad (1)$$

де n_i – середньодобове число вагонів i -го призначення.

Крім того, встановлено, що середнє число відчепів (g_{ϵ}) у складі передаточного поїзда, яке визначає обсяг маневрової роботи на витяжних коліях, практично завжди менше максимального (g_{max}) і визначається як

$$g_{\epsilon} = g_{max} \left[1 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i}{n_M} \right)^2 \right], \quad (2)$$

$$\frac{n_{zp}}{m_{c\epsilon}} \left[t_{p\phi}^{M\epsilon} + \sum_{i=1}^{m_{c\epsilon}} (t_{zi} + t_{\epsilon i}) \right] > n_{zp} \left[t_{p\phi}^2 + \sum_{i=1}^{m_{cc}} (t'_{zi} + t'_{\epsilon i}) \right], \quad (3)$$

де $m_{c\epsilon}$, m_{cc} – число колій сортувального парку вантажної та сортувальної станції, на які підбираються відчепи для подач на вантажні фронти;

$t_{p\phi}^{M\epsilon}$, $t_{p\phi}^2$ – тривалість розформування состава передаточного поїзда через маневрову витяжку та через сортувальну гірку, хв.;

t_{zi} , t'_{zi} – тривалість заїзду локомотива на i -ту колію сортувального парку вантажної та сортувальної станції, при складанні відчепів, хв.;

$t_{\epsilon i}$, $t'_{\epsilon i}$ – тривалість виїзду локомотива з i -ї колії сортувального парку вантажної та сортувальної станції при складанні відчепів, хв.

Слід зазначити, що при складанні відчепів тривалість заїзду (виїзду) на i -ту

Варіант детального підбору груп вагонів на сортувальній станції можливий при обслуговуванні вантажних фронтів локомотивом від передаточного поїзда. Тривалість розформування у 5-6 разів менша, ніж на витяжних коліях вантажної станції, але тривалість складання груп у 3-4 рази більша за рахунок більшої довжини гіркової горловини, проте за відсутності окремого сортувального парку на вантажній станції цей варіант має бути основним. При наявності маневрового локомотива на вантажній станції даний варіант слід застосовувати за умови:

колію змінюється з послідовним збільшенням величини состава.

За другим варіантом, після накопичення состава передаточного поїзда, на сортувальній станції здійснюється скорочене повторне сортування з підбором груп вагонів по окремих районах вантажної станції.

При наявності резерву колій сортувального парку накопичення слід виконувати на окремих коліях, тоді для закінчення формування передаточного поїзда необхідно буде тільки з'єднати вагони з цих колій. Якщо такого резерву немає, то необхідно здійснювати техніко-економічне обґрунтування даного варіанта за умови укладання і утримання додаткового числа колій (m_d) з урахуванням повторного сортування на цих коліях:

$$365n_{zp} \left[t_{p\phi}^2 + \sum_{i=1}^{m_{cc}} (t_{zi} + t_{\epsilon i}) \right] (m_{c\epsilon} e_{\epsilon z} + e_{\epsilon z}) > m_d (K \cdot E_n + \Delta E) + n_{zp} \sum_{i=1}^{m_d} (t_{zi} + t_{\epsilon i}) 365, \quad (4)$$

де K – вартість укладання додаткової колії у сортувальному парку, грн;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

ΔE – щорічні експлуатаційні витрати на поточне утримання та ремонт додаткової колії, грн;

$e_{\text{вз}}$ – вартість однієї вагоно-години простою, грн;

$e_{\text{лв}}$ – вартість однієї локомотиво-години маневрової роботи, грн.

Крім цього, на вантажній станції необхідно здійснювати удосконалення конструкції сортувального парку для можливості незалежного обслуговування окремих районів станції при двох маневрових локомотивах.

Третій варіант може застосовуватися при проектуванні вантажної станції модульного типу і виконанні маневрової роботи двома локомотивами. Підбір груп вагонів за окремими модулями здійснюється на сортувальній станції одночасно з розформуванням і накопиченням состава передаточного поїзда.

За результатами проведених досліджень визначено, що при загальному обсязі місцевого вагонопотоку, який накопичується на сортувальній станції, від 50 до 70 вагонів на добу, число призначень складає від 58 до 75 % максимального числа груп вагонів у передаточних поїздах, а при обсязі понад 120 вагонів на добу збільшується не тільки число груп, але і число відчепів у составі.

Це пояснюється тим, що при незначних обсягах роботи на вантажній станції число вагонів у відчепіх буде меншим і при накопиченні на склад поїзда у ньому буде більше призначень, а при більших обсягах збільшується число вагонів, які надходять у відчепіх при розформуванні поїздів на сортувальній станції, а також число груп таких вагонів одного призначення, що надходять з різних розформованих поїздів. При цьому число призначень у цілому дещо зменшується у передаточному поїзді, але збільшується число поїздів.

Це дає можливість визначення варіанта сумісної технології переробки місцевого вагонопотоку, але оптимальне

рішення можливе тільки після техніко-економічного обґрунтування.

Аналогічна технологія сумісної роботи сортувальної станції і контейнерного терміналу може бути застосована при підборі вагонів з контейнерами різної вантажопідйомності для скорочення тривалості їх розстановки по окремих секціях контейнерних площадок.

Ритмічність організації сумісної роботи технічної і вантажної станції вузла залежить також від своєчасного підвезення робітників цих станцій з приміських районів. З цією метою графік руху приміських поїздів має бути чітко пов'язаний з роботою змін станцій і вантажних фронтів, тому керівництво пасажирської станції в першу чергу має організувати раціональний графік прокладання приміських поїздів залежно від кількості робітників, що надходять з різних приміських зон.

Встановлено, що довжина першої приміської зони перебуває в межах до 30 км, другої – до 50 км і третьої – до 70 і більше кілометрів. Найбільш інтенсивний пасажиропотік першої зони вимагає не менше 6-8 пар приміських поїздів, другої – не менше чотирьох і третьої – не менше двох. При цьому для зменшення часу перебування пасажирів на шляху прямування від і до головної пасажирської станції слід застосовувати ступінчастий графік, коли пасажирська третя зона не мають зупинок приміського поїзда в межах першої і другої зони, а пасажирська друга зона не зупиняються на зупинкових пунктах першої зони. Зменшення кількості зупинок дає змогу скоротити енергетичні витрати і своєчасно підвозити робітників до головної станції.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Впровадження сумісної технології роботи вантажної і сортувальної станції, яка її забезпечує підбором груп вагонів для обслуговування вантажних фронтів, надасть можливість скоротити простої рухомого складу і витрати палива.

Крім того, чіткий взаємозв'язок у роботі усіх станцій залізничного вузла дає можливість стабілізації руху поїздів на прилеглих підходах.

Список використаних джерел

1. План модернізації України: від кризи до економічного зростання [Текст] / Федерація роботодавців України. – К., 2015. – 225 с.
2. Смехов, А. А. Оптимизация процессов грузовой работы [Текст] / А.А. Смехов. – М.: Транспорт, 1973. – 264 с.
3. Данько, М. І. Теоретичні основи оптимального функціонування системи вантажної станції [Текст] / М.І. Данько, К.В. Крячко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – Вип. 56. – С. 5-13.
4. Бутько, Т. В. Удосконалення сумісної роботи портів та залізничних вузлів в умовах зростання вантажопотоків [Текст] / Т.В. Бутько, Т.В. Головка // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2006. – Вип. 8. – С. 5-13.
5. Ломотько, Д. В. Використання логістичних підходів та системної оптимізації при функціонуванні транспортних вузлів [Текст] / Д.В. Ломотько, Я.В. Запара, Є.В. Запара // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С. 17-23.
6. Альошинський, Є. С. Аналіз впливу простою міжнародного вагонопотоку на оборот вагонів [Текст] / Є.С. Альошинський, О.С. Пестременко-Скрипка // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 137. – С. 24-29.
7. Статистичний щорічник України за 2015 рік [Текст] / за ред. І.М. Жук. – К.: Державна служба статистики України, 2015. – 586 с.
8. Крячко, К. В. Статистичні дослідження функціонування системи обслуговування залізничних вантажних фронтів [Текст] / К.В. Крячко // Зб. наук. праць. – Харків: ХНЕУ, 2004. – Вип. 2. – С. 93-94.
9. Varabino V., Massimo F. Characterizing, measuring, and managing transit service quality // Advanced Transportation – 29.03.2016 - atr.1377 – p. 818–840.
10. Dewei Li, Daamen W., Rob M. P. Goverde. Estimation of train dwell time at short stops based on track occupation event data // Advanced Transportation – 14.04.2016 - atr.1380 – p. 877-896.

Крячко Катерина Віталіївна, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (095)7376969. E-mail: katrinaaa@i.ua.

Девятко Артем Віталійович, студент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (099)1671576. E-mail: dav@i.ua.

Маруєва Яна Віталіївна, студентка кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (050)5102760. E-mail: myav@i.ua.

Сотников Володимир Володимирович студент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (095)6009755. E-mail: svv@i.ua.

Манафов Рустам Бахрам, студент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (099)1671576. E-mail: mrb@i.ua.

Kryachko Ekaterina, Phd. Sc. Associate Professor, Department of railway stations and junctions of the Ukrainian state University of railway transport. Tel: (095)7376969. E-mail: katrinaaa@i.ua.

Devyatko Artem, student, Department of railway stations and junctions of the Ukrainian state University of railway transport. Tel: (099)1671576. E-mail: dav@i.ua.

Marueva Yana, student, Department of railway stations and junctions of the Ukrainian state University of railway transport. Tel: (050)5102760. E-mail: myav@i.ua.

Sotnikov Vladimir, student, Department of railway stations and junctions of the Ukrainian state University of railway transport. Tel: (095)6009755. E-mail: svv@i.ua.

Manafov Rustam, student, Department of railway stations and junctions of the Ukrainian state University of railway transport. Tel: (099)2783901. E-mail: mrb@i.ua.

Стаття прийнята 27.09.2016 р.

УДК 656.2

ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВАГОНОПОТОКАМИ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Інженери В. М. Прохоров, Ю. А. Рябушка

ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВАГОНОПОТОКАМИ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ

Инженеры В. Н. Прохоров, Ю. А. Рябушка

BACKGROUND OF DEVELOPMENT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF FREIGHT RAILCAR TRAFFIC ON THE RAILWAYS OF UKRAINE

Engineer V. M. Prokhorov, Yu. A. Riabushka

У статті аналізуються передумови створення автоматизованої системи управління (АСУ) вагонопотоками на залізницях України. Зазначається необхідність застосування комплексного підходу при створенні АСУ. Запропонована трирівнева архітектура АСУ. Пропонується у рамках єдиної інтегрованої системи вирішувати задачу побудови оптимального плану формування поїздів (ПФП) і задачу оперативного планування роботи технічних станцій. Запропонована архітектура обчислювального кластера.

Ключові слова: *план формування поїздів, автоматизована система керування, управління вагонопотоками, обчислювальний кластер, стратегічний контроль.*

В статье анализируются предпосылки создания автоматизированной системы управления (АСУ) вагонопотоками на железных дорогах Украины. Отмечается необходимость применения комплексного подхода к созданию АСУ. Предложена трехуровневая архитектура АСУ. Предлагается в рамках единой интегрированной системы решать задачу построения оптимального плана формирования поездов (ПФП) и задачу оперативного планирования работы технических станций. Предложена архитектура вычислительного кластера.

Ключевые слова: *план формирования поездов, автоматизированная система управления, управление вагонопотоками, вычислительный кластер, стратегический контроль.*

This article analyzes the prerequisites of automated control system (ACS) for control of railcar traffic on the railways of Ukraine. The article notes that such a system should cover all levels of the hierarchical system of freight transportation, and so when its construction required an integrated approach. As proposed three-tier architecture of ACS that consists of a network (strategic) level, regional (tactical) level and linear (operational) level. It is proposed within a single integrated system to solve the problem of constructing an optimal trains formation plan (TFP) and the task of operational work planning of technical stations of Ukrainian railway network that would ensure the most accurate execution of the plan. The use of the concept of strategic control, which will not only ensure comprehensive monitoring and analysis of the TFP and day and night shifts technical plans of the stations, but also help in deciding on the need for correction or recalculation of TFP of regional and network level. The architecture of computing cluster for the implementation of day and night shifts work plans for technical stations simultaneously to all stations of regional branches had been proposed.

Keywords: *trains formation plan, automated control system, railcar traffic control, computer cluster, strategic control.*

Вступ. Однією з основних задач організації вантажних залізничних перевезень є розробка економічної, ефективної і гнучкої системи організації вагонопотоків. Для вирішення цієї задачі на сучасному рівні створюються математичні моделі залізничних систем і процесів, сучасний рівень розвитку обчислювальної техніки дозволяє на їх базі успішно здійснювати постановку і вирішення складних оптимізаційних задач. Одночасно з тим стрімко розвиваються інформаційні технології. Для досягнення синергетичного ефекту необхідно створити концепцію автоматизованої системи керування, яка б об'єднала всі ключові задачі управління вантажними перевезеннями на базі сучасних інформаційних технологій у єдиному інформаційно-керуючому просторі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових публікаціях останніх років тема створення автоматизованих систем управління роботою вантажного парку вагонів та вагонопотоками звучить все частіше, що свідчить про актуальність теми.

У статті [1] запропонований алгоритм розподілу під навантаження іновагонів, який використовує модель на базі нечіткої логіки, запропонована модель автоматизованої інформаційно-керуючої системи з функціями моніторингу дислокації, прогнозування строків доставки вантажів, але основну увагу приділено іновагонам.

У статті [2] запропоновані математичні моделі на базі використання нейро-нечітких мереж для визначення доцільності формування і маршруту слідування групових поїздів, хоча слід зазначити, що в останні роки кількість формування групових поїздів на залізницях України дуже скоротилася. Також у статті запропонована оригінальна методика оперативного корегування плану формування поїздів на основі використання еволюційного відбору.

У статті [3] запропонована система управління рухом поїздів, яка здійснює прогнозування і перебудову розкладів руху вантажних поїздів у режимі реального часу, система побудована на базі концепції управляючих прогнозуючих моделей (англ. Model predictive control, MPC), яка використовує системи диференціальних рівнянь.

У статті [4] запропонована модель оперативного управління сортувальною станцією, яка подає взаємодію між рівнями станційних операцій у вигляді потоків багатопарової мережі, для оптимізації моделі використовуються методи цілочисельного і змішаного програмування.

Визначення мети та задачі дослідження. Практична реалізація розроблених математичних моделей розрахунку ПФП і виконання його основних параметрів на опорних станціях мережі потребує реалізації інтегрованого процесу планування перевезеннями в масштабах всієї залізничної мережі України з підтримкою оперативного контролю його виконання. За таких умов набуває важливого значення створення автоматизованої системи управління вагонопотоками, яка дозволить інтегрувати всі етапи організації вагонопотоків у поїзди на мікро- і макрорівнях управління в межах єдиного інформаційного середовища.

Для ефективного вирішення задачі формування поїздів з максимальною економією витрат при формуванні і просуванні вантажних поїздів необхідно створити і впровадити інформаційно-керуючу систему, яка б забезпечила ефективний збір даних для моделей розрахунку плану формування поїздів і плану роботи опорних станцій мережі, а також забезпечила б своєчасне доведення планів до виконавців, всебічний контроль виконання планів і своєчасне їх корегування, забезпечила максимальний рівень автоматизації прийняття рішень при

керуванні процесом формування, відправлення і просування поїздів, максимальну інформаційну і програмну підтримку оперативно-керуючому персоналу, ефективне використання сучасних досягнень у галузях інформаційних технологій, комп'ютерних мереж і зв'язку.

Виходячи з цього необхідно сформулювати вимоги до побудови нової єдиної інформаційно-керуючої системи, яка буде охоплювати всі рівні процесів формування і просування вантажопотоків: збір вихідних даних, планування, впровадження і виконання планів, контроль виконання. Також необхідно окреслити основні принципи інтеграції і функціонування цієї системи у ролі підсистеми АСК ВП УЗ-Є.

Основна частина дослідження.

Корегування ПФП на основі автоматизованої процедури пошуку раціональних варіантів організації вагонопотоків надасть можливість станціям працювати як єдиний

технологічний комплекс. Ефективне використання цієї можливості дозволить забезпечити високий рівень їх оперативної співпраці з метою безперешкодного просування вагонопотоків, зменшуючи обіг вагона. Запропонований підхід до вирішення поставленої задачі дозволить раціонально розподілити сортувальну роботу між технічними станціями мережі залізниць та забезпечити своєчасну доставку вантажів у погоджених з замовником термінах [5].

Для комплексного вирішення задачі побудови плану формування поїздів, а також інших ключових задач системи вантажних залізничних перевезень, таких як, наприклад, задача розрахунку графіка руху, задача точного розрахунку наявної пропускної спроможності [6], необхідно раціонально розподілити обчислювальні ресурси. Запропонована модель АСК має трирівневу архітектуру, яка наведена на рис. 1.

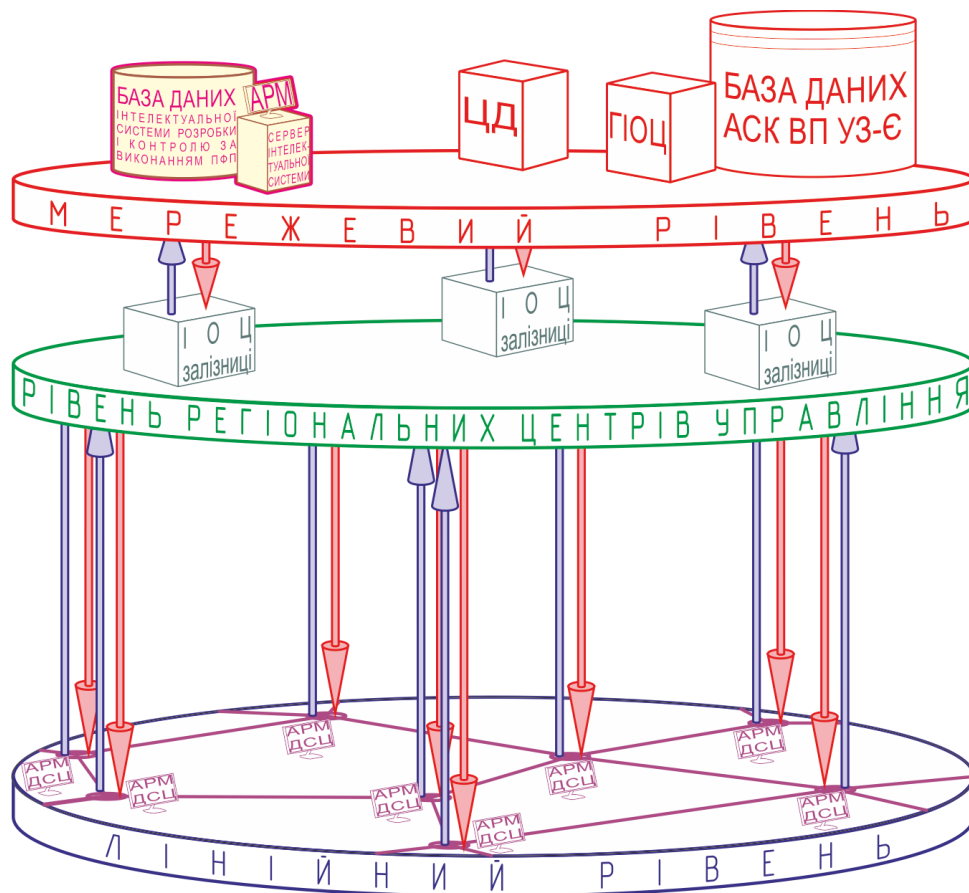


Рис. 1. Архітектура автоматизованої системи управління вагонопотоками

Мережевий рівень є стратегічним. Основна задача, яка вирішується на цьому рівні – побудова плану формування вантажних однокорпусних поїздів для всієї мережі залізниць. Як було зазначено раніше, за традиційною технологією, яка на даний час використовується на Укрзалізниці, мережевий план розраховується з періодичністю один раз на рік. Такий термін періодичності обумовлений в першу чергу складністю розрахунків і відсутністю технології розрахунку плану формування поїздів для всієї мережі одночасно. Запропонована автоматизована система, маючи у своєму

складі інструментарій, який включає математичну модель стохастичної комбінаторної оптимізації, а також засоби моніторингу, дозволить корегувати як увесь план цілком, так і його частини, кожен раз, коли в цьому буде виникати потреба. Така система є адаптивною.

Не менш важливою функцією, яка також виконується на стратегічному рівні і забезпечує гнучкість і адаптивність автоматизованої системи керування процесом формування поїздів, є функція стратегічного контролю. Сучасні підходи до здійснення стратегічного контролю базуються на інтерактивній моделі (рис. 2).

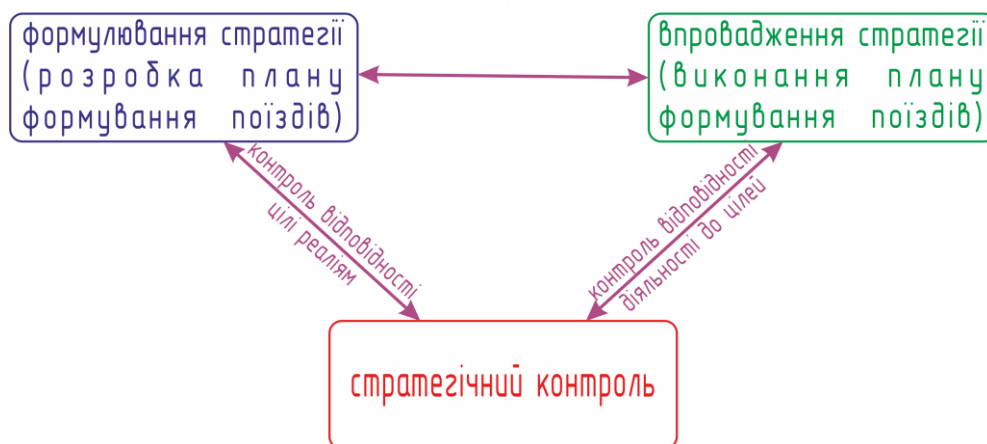


Рис. 2. Сучасний метод стратегічного контролю, який пропонується застосувати в АСК

Таким чином, на стратегічному рівні повинні здійснюватись два види стратегічного контролю. По-перше, це контроль відповідності поставленої цілі реаліям. Тобто якщо, наприклад, розміри вантажопотоків змінилися і виконання існуючого плану формування поїздів неможливо скорегувати будь-якими додатковими заходами, на стратегічному рівні повинно бути прийняте рішення про здійснення перерахунку або часткового перерахунку плану.

Інший вид стратегічного контролю потрібен для виявлення причин невиконання плану, які пов'язані не з

невідповідністю плану і поточних розмірів вантажопотоків, а з якістю рішень, які приймаються на нижніх рівнях системи, а також з якістю виконання цих рішень на лінійному рівні.

На лінійному рівні інтелектуальної системи управління формуванням поїздів також повинен здійснюватись і оперативний контроль. До оперативного контролю можна віднести, наприклад, контроль за відповідністю порядку постановки вагонів у поїзди плану формування поїздів і вимогам правил технічної експлуатації залізниць України. Тобто оперативні види контролю не

потребують стратегічного аналізу, а потрібні лише для оперативного виявлення відхилень для своєчасного їх усунення.

Таким чином, мережевий рівень автоматизованої системи управління вагонопотоками, який є стратегічним рівнем системи, відповідальний за побудову плану формування поїздів для всієї мережі, здійснення стратегічного контролю, результатом якого може бути ініціація повного або часткового перегляду плану формування поїздів, вироблення управлінських рішень, які направлені на зміну стратегії виконання діючого плану формування поїздів і адресовані на рівень регіональних центрів управління.

Для виконання цих задач на мережевому рівні необхідне облаштування

автоматизованого робочого місця інженера з плану формування поїздів. Програмна частина повинна складатися з програмного забезпечення для побудови плану формування поїздів для всієї залізничної мережі, яке використовує математичну модель стохастичної комбінаторної оптимізації. Апаратну частину запропоновано виконати у вигляді апаратного комплексу, який включає персональний комп'ютер інженера, обчислювальний кластер малої потужності і локальну базу даних, яка розміщена на двох серверах, весь цей апаратний комплекс об'єднаний за допомогою швидкої локальної комп'ютерної мережі, як наведено на рис. 3.

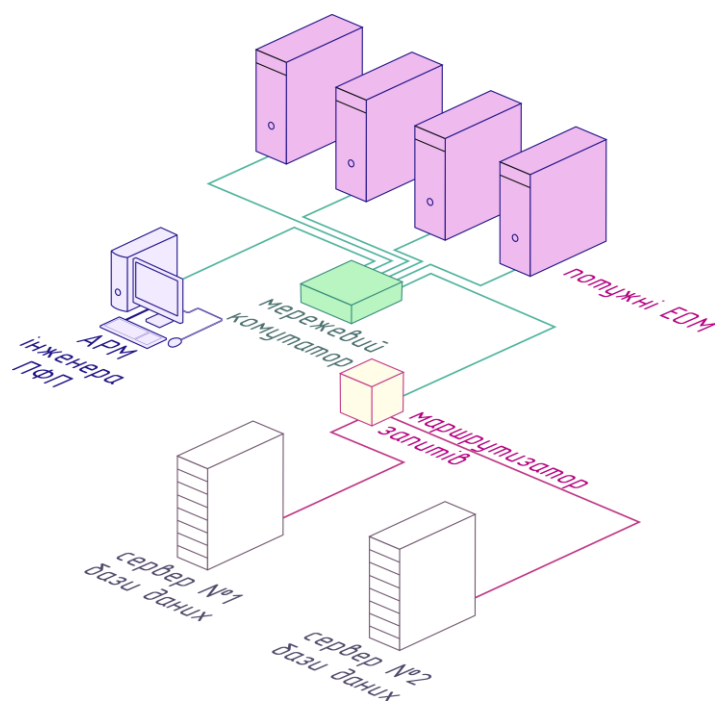


Рис. 3. Архітектура обчислювального кластера автоматизованої системи керування вагонопотоками, який обслуговує АРМ інженера з плану формування поїздів

База даних розміщується на двох дублюючих серверах, які під'єднані до локальної мережі через маршрутизатор запитів. Маршрутизатор запитів – спеціальний пристрій, який відноситься до

класу пристроїв, які мають назву розподілювачі навантаження (англ. load balancers). Задача цього пристрою – направляти запити до серверів баз даних за спеціальним алгоритмом, для того щоб не

допустити їх перевантаження. Маршрутизатор запитів під'єднаний до локальної комп'ютерної мережі через швидкісний мережевий комунікатор типу switch або router, до якого також під'єднані декілька потужних ЕОМ, що є основними обчислювальними потужностями кластера. До цієї локальної мережі також під'єднаний комп'ютер, який входить до складу АРМ інженера з плану формування поїздів, що є основним оператором автоматизованої системи управління формуванням поїздів на стратегічному рівні. Окрім програмного забезпечення для побудови плану формування поїздів на ЕОМ, що входять у склад обчислювального кластера, встановлене також програмне забезпечення для здійснення стратегічного контролю за процесом формування поїздів і виконанням плану формування поїздів по всій мережі в масштабі реального часу.

База даних інтелектуальної системи управління формуванням поїздів отримує дані з єдиної централізованої автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями на залізничному транспорті України АСК ВП УЗ-Є. База даних інтелектуальної системи під'єднана до оперативної частини бази даних АСК ВП УЗ-Є через систему ведення відображених моделей (СВВМ). Оперативна частина бази даних є першим рівнем ієрархічної бази даних АСК ВП УЗ-Є, дані в оперативну базу даних надходять безпосередньо зі станційних АРМ. На даному рівні забезпечується найвищий ступінь інтегрованості та оперативності даних. СВВМ являє собою сервер застосувань, який у своїй оперативній пам'яті містить та підтримує в актуальному стані оперативну частину даних типових оперативних моделей. База даних інтелектуальної системи також під'єднана до розрахункових компонентів типових моделей (РКТМ), що розташовані на другому рівні бази даних АСК ВП УЗ-Є, який розташований в її архівній частині. На рівні РКТМ здійснюється об'єднання логічно пов'язаних даних

різних моделей, розрахунок ряду показників, подання інформації в зручному для подальшої обробки вигляді. Ступінь повноти та інтегрованості на даному рівні нижчий, ніж в оперативних моделях, але структура збереження простіша і ефективніша для обробки.

База даних інтелектуальної моделі під'єднана також і до третього рівня бази даних АСК ВП УЗ-Є через компонент доступу до даних DAS (Data Access Service). Третій рівень являє собою аналітичну базу даних і містить розраховані та узагальнені показники роботи УЗ та відповідні планові показники. Регламент розрахунків – після закриття звітної доби виконується добовий розрахунок. Крім того, після закінчення звітного періоду (місяць, квартал, 6, 9 місяців, рік) розраховуються підсумкові дані за відповідний період.

Таким чином, система управління вантажопотоками має доступ до всіх необхідних оперативних даних, що дозволить їй застосувати інструменти аналізу і прогнозу для підготовки вихідних даних для моделей, які розташовані на рівні регіональних центрів управління.

Рівень регіональних центрів управління представлений відділами плану формування поїздів, які входять до складу інформаційно-обчислювальних центрів залізниць (ІОЦ). На цьому рівні в ІОЦ залізниць в автоматизованому режимі одночасно необхідно розробляти оперативні плани роботи для всіх опорних станцій підконтрольних полігонів. Для вирішення цієї задачі також необхідні обчислювальні потужності, які можна облаштувати також у форматі обчислювального кластера, або використовувати вільні потужності ІОЦ, якщо це можливо. Для обчислень необхідно використовувати програмне забезпечення, яке базується на математичній моделі комбінаторної оптимізації.

На рис. 4. подано контур управління автоматизованої системи управління вагонопотоками.



Рис. 4. Контур управління автоматизованої системи управління вагонопотоками на залізницях України

Основне завдання управління, яке здійснюється на стратегічному рівні – стратегічний контроль за показниками виконання плану формування на мережевому рівні. І якщо відхилення показників від нормативних значень носять системний характер, здійснюється перерахунок мережевого плану формування поїздів, збір вихідних даних для розрахунку також ведеться постійно.

Одним із показників, який відслідковується і аналізується на стратегічному рівні, є параметр накопичення. Аналіз параметра накопичення здійснюється по кожному призначенню по кожній сортувальній станції. Оцінюються середні значення параметра накопичення за добу,

тиждень, місяць і за весь період дії поточного мережевого плану формування. Проводяться оцінка і аналіз відхилень фактичних значень вагонопотоків від тих, що використовувались у розрахунках поточного плану формування поїздів. Також аналізуються такі показники фактичного виконання плану, як питома вага маршрутного навантаження, економія приведених вагоно-годин від організації відправницьких маршрутів. Також аналізуються показники виконання плану, які оцінюють якість роботи сортувальних станцій і відхилення фактичного рівня їх завантаження від розрахункового. Такий всебічний аналіз показників виконання плану формування по окремих станціях, полігонах і

мережі в цілому здійснюється постійно з метою прийняття рішення про продовження дії поточного плану або про його корегування на рівні окремих полігонів, або перерахунок мережевого плану в цілому.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Вирішити задачу побудови системи управління вагонопотоками на сучасному рівні неможливо без створення інформаційно-керуючої системи, яка інтегрує у єдиному інформаційно-обчислювальному просторі найбільш важливі оптимізаційні задачі, що охоплюють всі рівні управління процесом вантажних перевезень, такі як розрахунок

плану формування поїздів і побудова оперативних планів роботи опорних технічних станцій. Особливу увагу при створенні такої системи необхідно приділити підсистемі контролю, яка забезпечить багаторівневий стратегічний контроль, що у свою чергу забезпечить високу якість управлінських рішень, що генеруються системою, правильне їх виконання, якісний аналіз і своєчасне корегування. Застосування обчислювальних кластерів дасть змогу вирішувати задачу побудови оперативного плану роботи опорних технічних станцій на рівні регіональних філій одночасно для всіх станцій полігону.

Список використаних джерел

1. Білецький, Ю. В. Удосконалення технології управління вагонопотоками з використанням автоматизованих систем управління [Текст] / Ю.В. Білецький, А.А. Сергієнко, Н.М. Найш // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – №1(218). – С. 236-239.
2. Прохорченко, А. В. Удосконалення технології корегування плану формування поїздів на основі погодженої організації групових поїздів оперативного призначення [Текст] / А.В. Прохорченко, Л. В. Корженівський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2008. – № 6/6(36). – С.37-40
3. Corman, F. Closing the loop in real-time railway control: Framework design and impacts on operations / F. Corman, E. Quaglietta // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2015. – 54 (0). – P. 15 – 39.
4. Shi Tie. A mixed integer programming model for optimizing multi-level operations process in railroad yards / Shi Tie, Xuesong Zhou. // Transportation Research Part B. – 2015. – 80. – P. 19-30.
5. Butko, T. V. Formalization of the technology of arranging tactical group trains / T. V. Butko, A. V. Prokhorchenko, A. Kyman // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – 3 (76). – P. 38-43.
6. Panchenko, S. V. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises / S. V. Panchenko, T.V. Butko, A. V. Prokhorchenko, L.O. Parkhomenko // Natsional'nyi Hirnychyi Universytet. Naukovyi Visnyk. – 2016. – Vol.2. – P. 93-99.

Прохоров Віктор Миколайович, інженер кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту.

Рябушка Юлія Анатоліївна, інженер кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-88.

Prokhorov Viktor Mykolaiovych, engineer of cathedra of management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport.

Riabushka Yulia Anatoliivna, engineer of cathedra of management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 7301088.

Стаття прийнята 27.09.2016 р.

УДК 656.222.4

РОЗРОБКА ПРОЦЕДУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ ГРАФІКА РУХУ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ НАПРЯМКУ

Асп. Г. О. Прохорченко, Р. І. Семененко

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ Поездов НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ НАПРАВЛЕНИИ

Асп. Г. О. Прохорченко, Р. И. Семененко

PROCEDURES FOR AUTOMATED CONSTUCTION TRAIN SCHEDULE AT RAILWAY CORRIDOR

H. Prokhorchenko, R. Semenenko

Робота присвячена розробці процедури автоматизованого складання графіка руху поїздів на залізничному напрямку. Проаналізовано досвід автоматизованого складання графіка руху поїздів та обґрунтовано необхідність використання процедури для автоматизації розробки графіка руху поїздів, яка заснована на евристичних методах для підвищення точності та якості складання графіка, що є актуальним завданням в період реформування залізничного транспорту України.

Ключові слова: графік руху поїздів, залізнична інфраструктура, залізничний напрямок.

Работа посвящена разработке процедуры автоматизированного составления графика движения поездов на железнодорожном направлении. Проанализирован опыт автоматизированного составления графика движения поездов и обоснована необходимость использования процедуры для автоматизации разработки графика движения поездов, которая основана на эвристических методах для повышения точности и качества составления графика, что является актуальной задачей в период реформирования железнодорожного транспорта Украины.

Ключевые слова: график движения поездов, железнодорожная инфраструктура, железнодорожное направление.

The work is devoted to developing procedures for automated scheduling of trains on the railway area. In terms of railway reform Ukraine creation of technology based transportation planning of operational work on clearly defined timetable of trains is an urgent task. The current technology scheduling of trains based on the district method performed manually and does not provide a rational assembly of graphics on trains linking stations. The experience of foreign and domestic scientists developed countries on automated scheduling of trains. Detected shortcomings of existing approaches to automated scheduling of trains. Given this procedure was designed to automate the development timetable of trains on the railway area. Formed procedure for linking stations through-thread schedule of trains on the railway area based schemes designed docking stations with different modes laying strands schedule of trains. The procedure automates the complex process of charting the movement of trains on the railway direction that will improve the accuracy and efficiency of technology forming penetrating crossing transit traffic of trains on the railway network in Ukraine.

Keywords: schedule of trains, railway infrastructure, railway line.

Вступ. В умовах реформування залізничного транспорту України необхідним є вирішення завдань підвищення ефективності функціонування залізничної мережі України. На ринку перевезень для клієнта залізниці важливим стає фактор точності часу переміщення. Саме тому створення технології перевезень на основі планування експлуатаційної роботи за чітко визначеним розкладом руху всіх поїздів дозволить підвищити прибутковість від операційної діяльності компанії, що управляє інфраструктурою. Механізмом реалізації запропонованої технології є автоматизація розробки нормативного графіка руху поїздів (ГРП) в межах залізничного напрямку.

Діюча технологія розробки ГРП на залізницях України заснована на дільничному методі, що виконується в ручному режимі та супроводжується значними витратами часу [1]. Такий підхід не дозволяє знайти раціональний розклад руху поїздів з ув'язкою за дільницями залізничного напрямку. Для вибору раціонального варіанта наскрізного графіка руху поїздів на напрямку необхідно автоматизувати процедуру побудови ГРП на залізничному напрямку. Запропонована процедура автоматизації може гарантувати високу достовірність та якість ГРП при заданих максимальних розмірах руху для кожної дільниці в залежності від категорії поїздів, їх поїзних характеристик, технічних та технологічних обмежень інфраструктури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням у галузі проблем розробки графіка руху поїздів (англ., train scheduling) приділялося багато уваги вченими різних країн світу. У багатьох дослідженнях [3-7] задача визначення часу прибуття та відправлення поїздів різних категорій в кожній точці залізничної мережі вирішується на рівні тактичного планування для маршрутизації перевезень та розробки нормативного графіка руху поїздів. Крім того, дослідження щодо

розрахунку графіка руху поїздів широко застосовуються і на рівні оперативного управління в межах розв'язання завдань диспетчеризації перевезень для контролю виконання, а в деяких випадках і корегування нормативного графіка руху поїздів.

Перші дослідження щодо оптимізації графіка руху поїздів були виконані ще у 1973 р. В. Szpigel [3], де задача розрахунку ГРП була сформульована як задача теорії розкладу. Дослідженнями в даній галузі із застосуванням різних методів займалися такі вчені: R. Sauder, D. Jovanovic, P. T. Harker, M. Pena-Alcaraz, A. Caprara, X. Zhou та ін. [2,4-7].

В межах пострадянської школи з 1960-х років наукові дослідження вчених у галузі удосконалення графіка руху поїздів були спрямовані на застосування електронно-обчислювальних машин для його побудови та оптимізації [8]. Так, перший алгоритм складання нормативного непаралельного графіка руху поїздів на однокільній ділянці був розроблений під керівництвом Б. Дел Ріо в 1962 р., однак коригування раніше прийнятих рішень не допускалося, що було суттєвим недоліком. Д.Ю. Джаліловим був запропонований метод складання непаралельного графіка, який не відрізнявся принциповою новизною і не дозволяв усунути недоліки раніше виконаних розробок, однак створював математичне забезпечення для автоматичного накреслювання графіка на графопобудовнику «Атлас». Серед найбільш видатних робіт цього періоду можна відзначити праці А.П. Петрова, В.М. Акулінічева, В.В. Повороженко, Б. Дел Ріо, А.Г. Барткус, А.Д. Каретникова, Н.А. Самаріної, Є.М. Тішкіна та ін. [9-13]. До сучасних досліджень у галузі автоматизації побудови ГРП на дільниці можна віднести роботи [14]. В даній роботі розроблено евристичний алгоритм прокладання побудови графіка руху, який хоч і є простим, однак вимагає значних витрат часу та не дозволяє автоматизувати процес побудови ГРП в цілому на дільниці.

Завдання побудови ГРП на залізничному напрямку в даній роботі не ставилось.

Вищезазначені алгоритми та математичні моделі з причин відсутності фінансування не набули практичного застосування на залізницях України. На даний час на залізницях України використовується застарілий програмний комплекс АРМ інженера-графіста, який дозволяє лише частково автоматизувати процес побудови графіка руху поїздів на дільниці, що фактично обмежується функціями зберігання даних про задалегідь розроблені вручну ГРП та друк нормативних ГРП згідно зі встановленими формами. Недоліком даної програми є відсутність функцій автоматичної побудови ГРП на дільниці, так само неможливим є автоматично прокласти наскрізні нитки графіка для залізничного напрямку. Враховуючи вищезазначені недоліки та все більше поширення на залізницях України практики організації руху наскрізних поїздопотоків за розкладом, актуальним стає формування автоматизованої процедури побудови графіка руху поїздів на залізничних напрямках.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даного дослідження є розробка процедури автоматизованої побудови графіка руху поїздів на залізничному напрямку, що дозволить прискорити процес ув'язки наскрізних ниток графіка поїздів у межах полігонів значної протяжності та зменшить завантаження інженерів-графістів при побудові ГРП на рівні залізничної мережі.

Основна частина дослідження. Для підвищення оперативності та точності розробки графіка руху поїздів на рівні залізничної мережі була розроблена процедура для автоматизації розробки ГРП на залізничному напрямку. В основі процедури було покладено сформовану математичну модель [15] для автоматизованого розрахунку графіка руху поїздів, яка була використана для проведення розрахунків для залізничних

дільниць разом з евристичним методом, що виявлений при аналізі процесу побудови ГРП інженерами-графістами [16].

Враховуючи відсутність в практичних умовах задачі побудови максимального графіка руху поїздів, алгоритм автоматизованої розробки графіка реалізує задачу побудови ГРП відповідно до заданих обсягів перевезень на розрахунковій дільниці. Це обумовлено тим, що існує дуже багато маршрутів поїздів, для яких розрахункова дільниця є транзитною, крім того, на сітьовому рівні система перевезень має високий ступінь взаємозалежності, прокладання ниток поїздів на декількох дільницях обмежується складністю здійснення схрещень або обгонів, що призводить до неможливості довільного прокладання ниток. За таких умов одна дільниця не може розглядатися як повністю незалежна частина від всієї залізничної мережі. Як наслідок, час відправлення або прибуття поїздів на розрахунковій дільниці не може бути визначений без урахування розкладу слідування транзитних поїздів на інтерферуючих дільницях [17]. Приймаючи до уваги вищенаведене, запропоновано здійснювати прокладання ниток графіка відповідно до задалегідь встановлених точок відправлення або прибуття поїздів різних категорій на станціях дільниці (рис. 1).

Запропонована процедура автоматизованої побудови графіка руху поїздів враховує обмеження інфраструктури дільниці в частині кількості колій на кожному перегоні та роздільному пункті. Підтримується режим побудови графіка руху поїздів для одноколійних, двоколійних, одно-двоколійних дільниць.

Враховуючи складність автоматизованого розрахунку ГРП для всього залізничного напрямку, реалізовано процедуру декомпозиції розрахунків по дільницям з ув'язкою даних дільниць за напрямком прокладання ниток графіка. Схема стикування двох дільниць наведена на рис. 2.

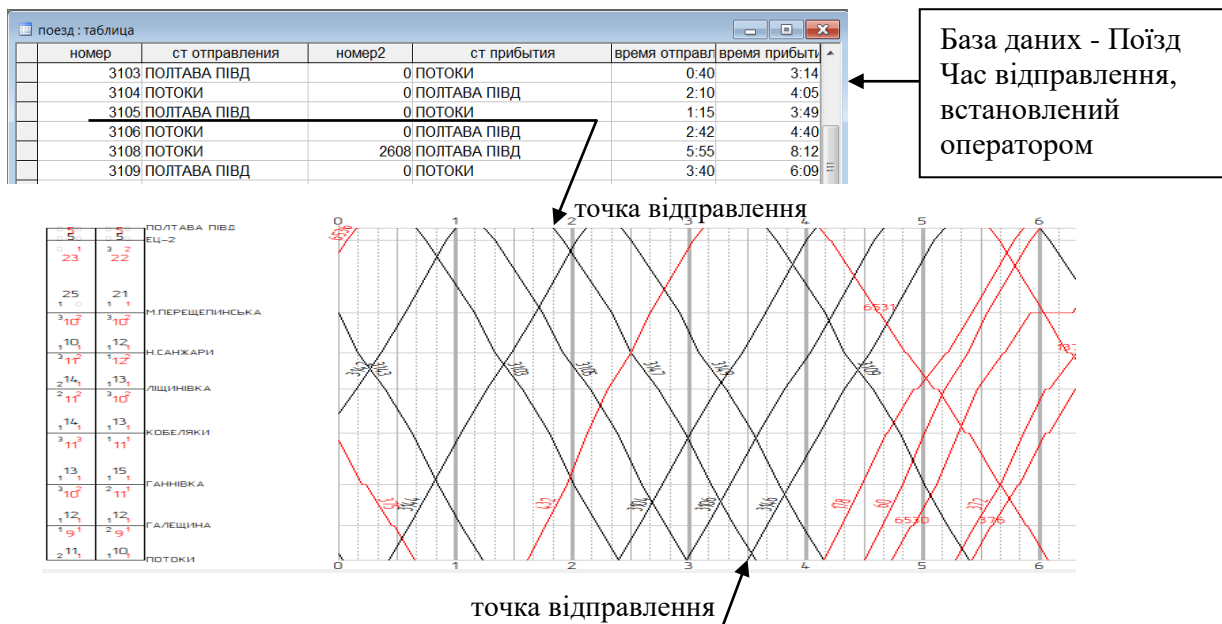


Рис. 1. Схема прокладання ниток графіка відповідно до встановленого оператором часу відправлення поїздів на розрахунковій дільниці

Для надання гнучкості в процесі побудови ГРП реалізовано різні режими прокладання ниток графіка:

- режим прокладання – “В непарному напрямку”. Поїзди непарного напрямку руху (напрямок слідування зверху вниз) прокладаються від точки відправлення. Поїзди парного напрямку прокладаються від точки прибуття у протилежному напрямку свого руху по дільниці;

- режим прокладання – “В парному напрямку”. Поїзди непарного напрямку руху (напрямок слідування зверху вниз) прокладаються від точки прибуття у протилежному напрямку свого руху по дільниці. Поїзди парного напрямку прокладаються від точки відправлення у напрямку свого звичайного руху;

- режим прокладання – “З обох напрямків”. Поїзди непарного та парного напрямку руху прокладаються від точки відправлення у напрямку свого звичайного руху.

Реалізація режимів прокладання дозволяє здійснити ув'язку розрахунків ГРП на суміжних дільницях відповідно до їх географічного розташування. Перша дільниця може бути розрахована відповідно

до мети побудови ГРП за різними режимами прокладання. Для подальшої ув'язки наскрізних ниток графіка наступна дільниця автоматично стикується з першою в режимі “В непарному напрямку” (рис. 2).

За таким варіантом номери поїздів по станції стикування першої дільниці зіставляються з номерами поїздів бази наступної за напрямком стикування дільниці. Однакові номери поїздів вважають наскрізними, відповідно до чого точкою їх подальшого прокладання по наступній дільниці стає їх час прибуття або відправлення по станції стикування першої дільниці. Розрахунок ГРП на другій дільниці здійснюється в режимі прокладання “В непарному напрямку”. Стикування наступних дільниць проводиться в тому ж режимі. Аналогічно є реалізація схеми стикування двох дільниць в режимі – “В парному напрямку”. За таким же принципом стикування дільниць для формування ув'язаного за дільницями ГРП на напрямку можливим є використання відповідно до потреби різних варіантів режимів. Схематично принцип стикування дільниць на залізничному напрямку наведено на рис. 3.

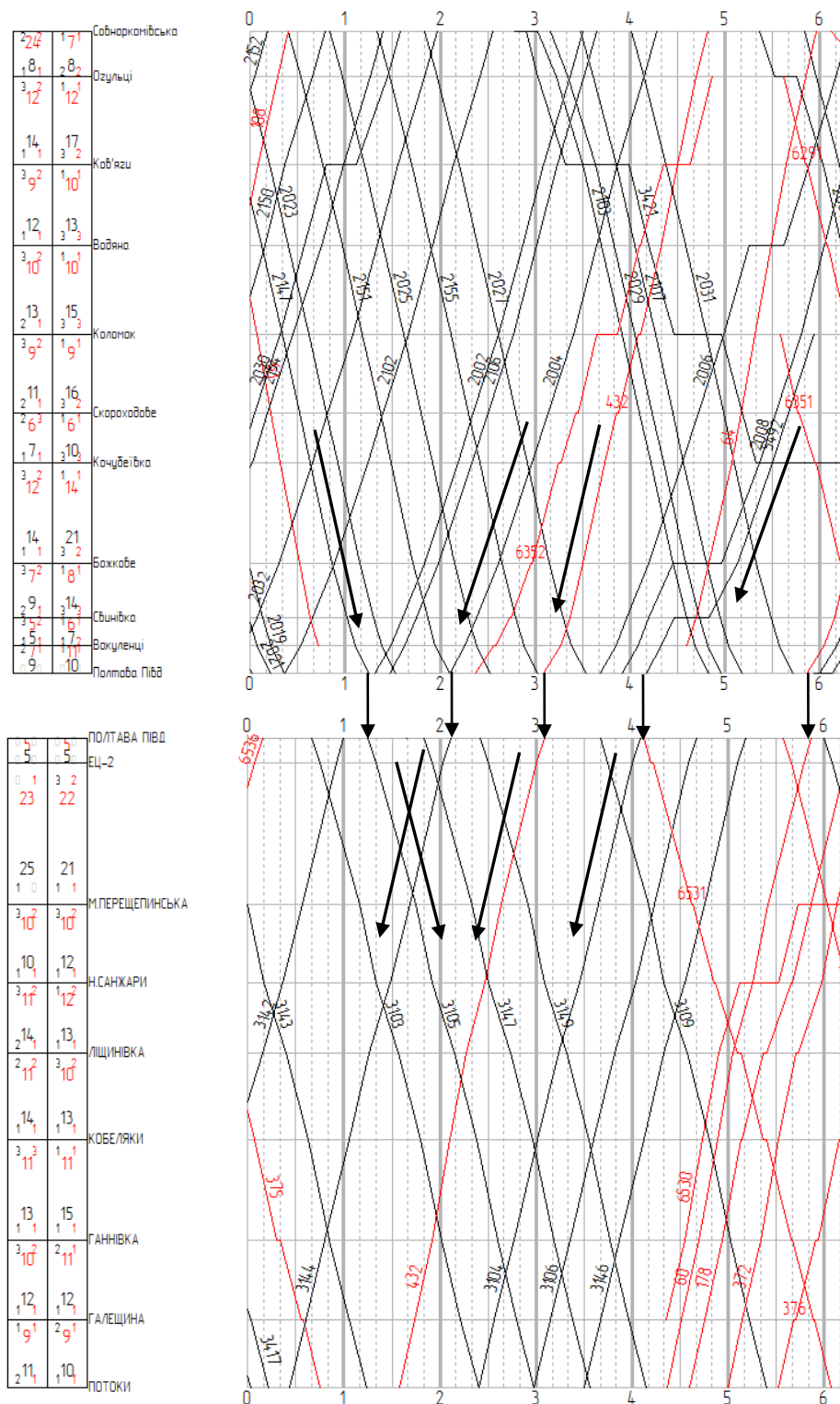


Рис. 2. Схема стикування двох дільниць в режимі – “ В непарному напрямку ”

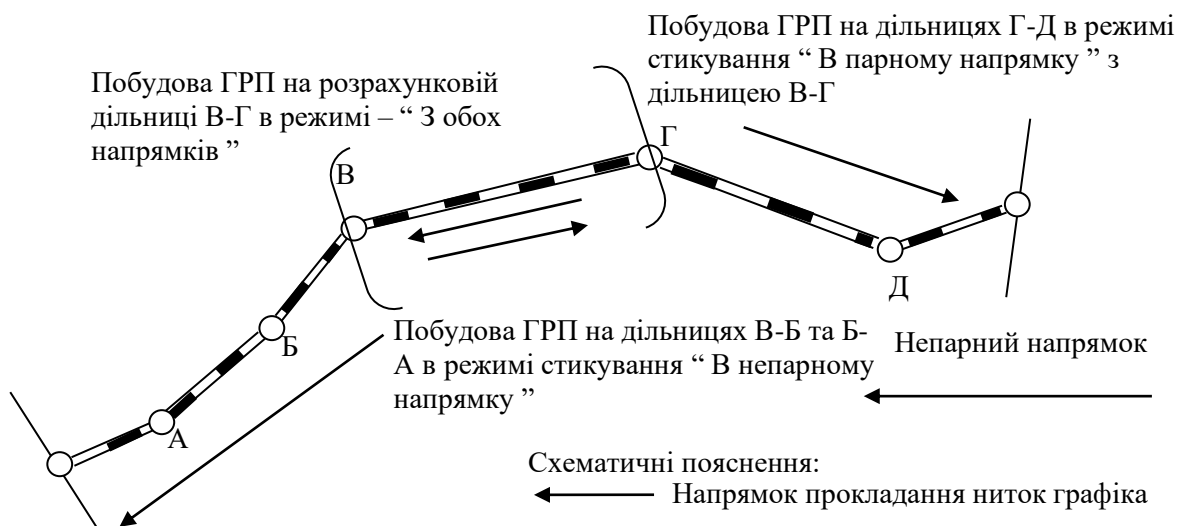


Рис. 3. Схема стикування дільниць на залізничному напрямку з використанням різних режимів прокладання ниток графіка

Застосування схеми стикування дільниць, що наведена на рис. 3, можливе у випадку, якщо дільниця В-Г є найбільш завантаженою та вимагає першочергової розробки ГРП, після чого можливим є формування графіка на прилеглих до неї дільницях.

У випадку аналізу роботи напрямку при виявленні переважного вантажного

направку руху поїздів необхідною є розробка ГРП для пріоритетних поїздопотоків. Реалізація розрахунків у випадку існування переважного непарного напрямку вантажного руху поїздів наведена на рис. 4.

У випадку необхідності надання пріоритету парному напрямку руху схема прокладання пояснюється на рис. 5.

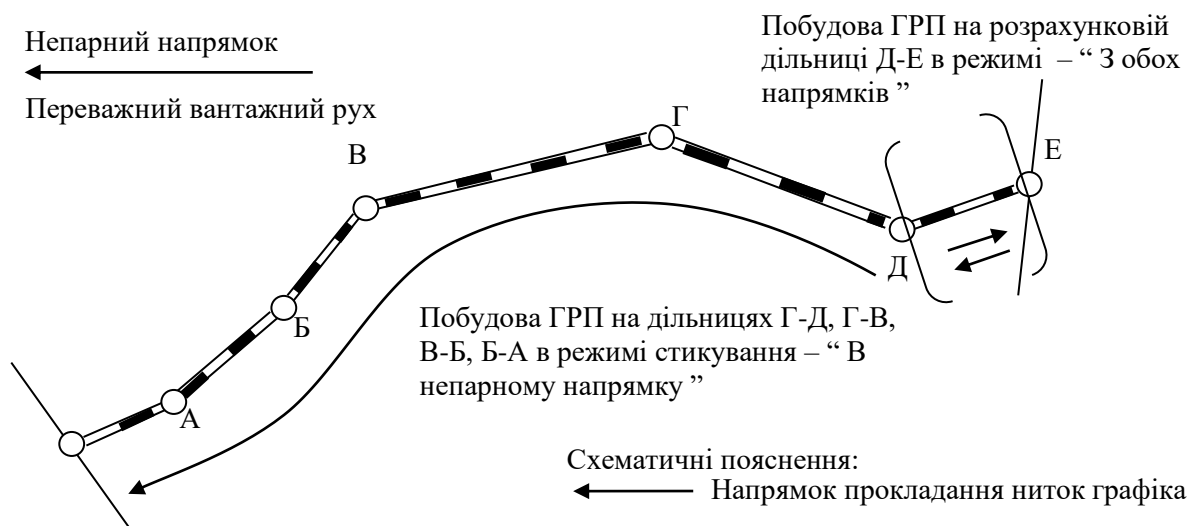


Рис.4. Схема стикування дільниць на залізничному напрямку у випадку існування переважного непарного напрямку вантажного руху поїздів

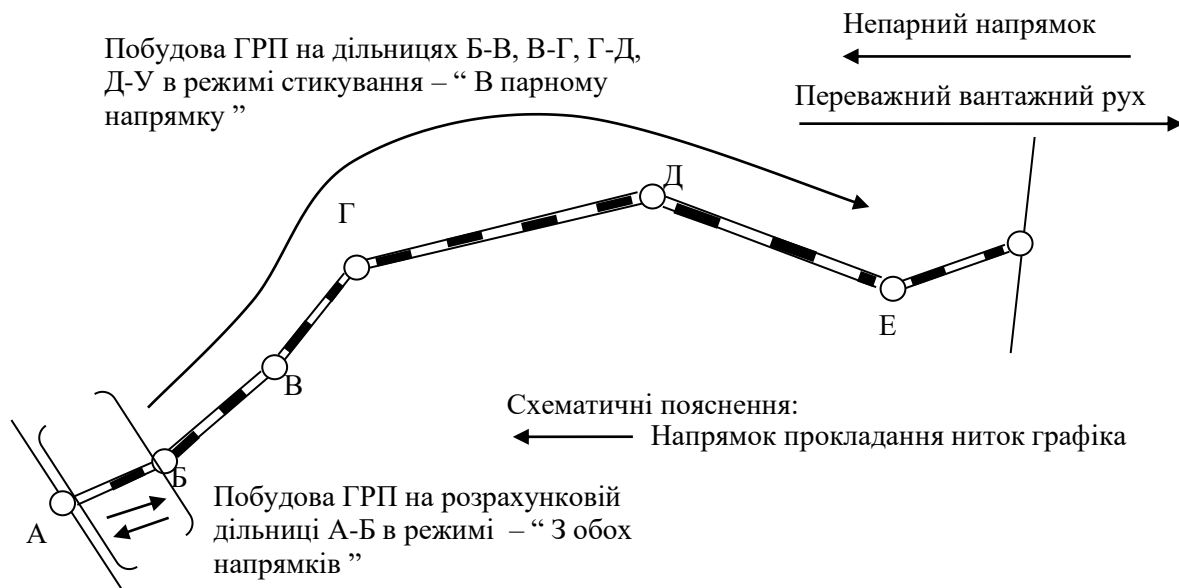


Рис. 5. Схема стикування ділянок на залізничному напрямку у випадку існування переважного парного напрямку вантажного руху поїздів

Вищезазначені схеми стикування ділянок на залізничному напрямку можуть бути застосовані за необхідності пошуку

кращого варіанта пропуску поїздопотоків, рис. 6.

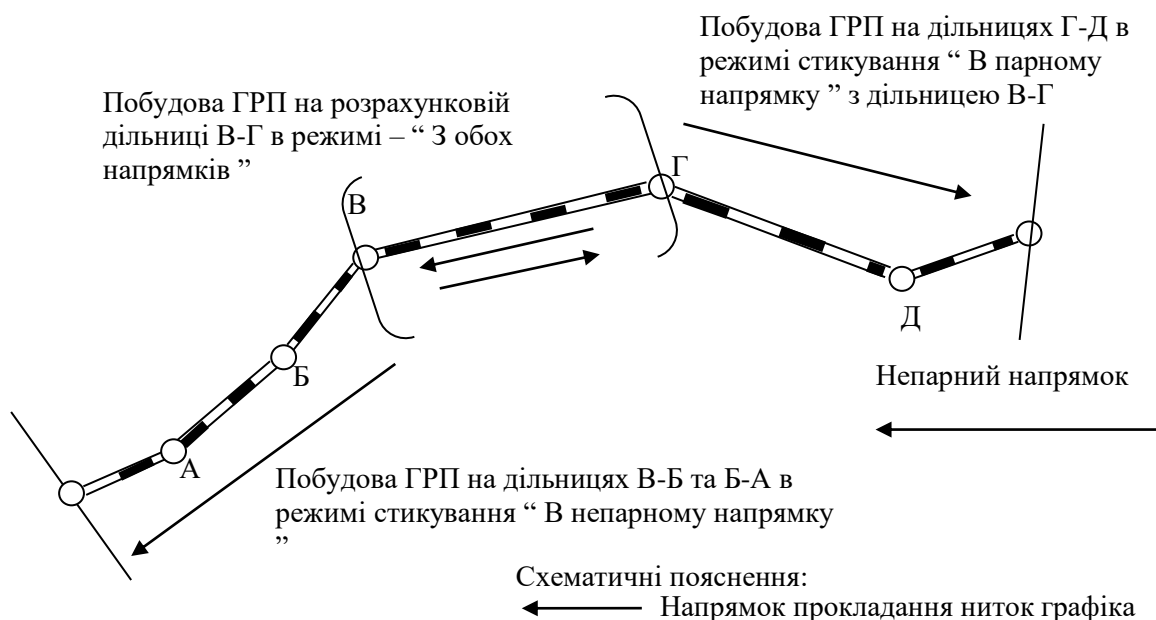


Рис. 6. Схема стикування ділянок на залізничному напрямку з використанням різних режимів прокладання ниток графіка

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Для підвищення оперативності та точності побудови графіка руху поїздів була розроблена процедура для автоматизації побудови ГРП, яка заснована на евристичних методах, що виявлені при аналізі процесу побудови ГРП інженером-графістом. В межах даної

процедури запропоновано здійснювати прокладання ниток графіка відповідно до заздалегідь встановлених точок відправлення або прибуття поїздів різних категорій на станціях дільниці. Запропонована процедура є основою для вдосконалення функцій автоматизованого прокладання графіка руху поїздів на полігонах великої протяжності.

Список використаних джерел

1. Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України [Текст]: ЦД-0040.– Затв. Укрзалізниця 05.04.2002. – Вид.офіц. – К.: Транспорт України, 2002. – 164 с. затверджена наказом Укрзалізниці від № 170-Ц.
2. Pena-Alcaraz, M. Train Timetabling Problem for Complex Railway Systems [Text] / M. Pena-Alcaraz, A. Ramos, P. Fernandez, A. Cucala // XXIII European Chapter on Combinatorial Optimization – Combinatorial Optimization Conference ECCO-CO. – 2010. – P. 25.
3. Szpigel, B. Optimal train scheduling on a single track railway [Text] / B. Szpigel // In Proceedings of IFORS Conference on Operational Research'72. – 1973. – 72(6). – P. 343-352.
4. Zhou, X. Single-track train timetabling with guaranteed optimality: Branch-and-bound algorithms with enhanced lower bounds[Text] / X. Zhou, M. Zhong //Transportation Research Part B 41. – 2007. – №41. – P. 320–341.
5. Zhou, X. Bi-criteria train scheduling for high-speed passenger railroad planning applications [Text] / X. Zhou, M. Zhong // European Journal of Operational Research. – 2005. – № 167 (3). – P. 752-771.
6. Caprara, A. Modelling and solving the train timetabling problem [Text] / A. Caprara, M. Fischetti, P. Toth, // Operations Research. – 2002. – № 50(5) . – P. 851-861.
7. Hansen, I. A. Railway Timetabling & Operations. Analysis - Modelling - Optimisation - Simulation - Performance Evaluation [Text] / I. A.Hansen; J. Pachl. – Hamburg.: Eurailpress, 2014. – 332 p.
8. Петров, А.П. Составление графика движения поездов на ЭЦВМ [Текст] / А.П. Петров. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 122 с.
9. Каретников, А. Д. Исследование проблем совершенствования графика движения поездов [Текст] : автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.22.08 / А. Д. Каретников; [Москов. ин-т инж. ж.-д. трансп.]. – М., 1961. – 23 с.
10. Самарина, Н. А. Составление двухпутного графика движения поездов на ЭВМ [Текст] / Н.А. Самарина. – М.: Транспорт, 1971. – 124 с.
11. Тишкин, Е. М. Автоматизация разработки графика движения поездов [Текст]/ Е.М.Тишкин. – М.: Транспорт, 1974. – 136 с.
12. Каретников, А. Д. График движения поездов [Текст] / А.Д. Каретников, Н.А. Воробьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1979. – 301 с.
13. Осьминин, А. Т. Об автоматизации графика движения поездов [Текст] / А.Т. Осьминин, В.А. Анисимов, Н.А. Ключев [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2012. – №.4. – С. 3-9.
14. Притула, М. М. Алгоритм побудови графіка руху поїздів [Текст] / М.М. Притула, М.М. Гончаров, Р.А. Шпакович // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". – 2008. – № 629. – С. 146-152.

15. Бутько, Т. В. Формування процедури автоматизації розробки графіка руху поїздів на основі алгоритму штучних бджолиних колоній [Текст] / Т.В. Бутько, Г.О. Прохорченко // Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – 2015. – № 9. – С. 10-15.

16. Проведення дослідного автоматизованого розрахунку нормативного графіка руху поїздів на залізничному напрямку [Текст]: звіт з НДР [Українська державна академія залізничного транспорту]; керівник Т.В. Бутько; відповідальний виконав. А.В. Прохорченко [та ін.]. – Харків, 2014. – 108 с. – ДО № 0214U005803.

17. Landex, A. Network effects in railway systems [Text] / A. Landex // Association for European Transport and contributors. – 2007. – P. 16.

Прохорченко Галина Олегівна, асистент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-88. E-mail: galaproh@meta.ua.
Семененко Роксоляна Іванівна, магістр групи 23-VI-ОПУТм, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Prokhorchenko Halyna, assistant, Department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-88. E-mail: galaproh@meta.ua.

Semenenko Roksolyana master student Department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Стаття прийнята 27.09.2016 р.

УДК 656.2.072.2

АНАЛІЗ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВОКЗАЛІВ В УМОВАХ ЗДІЙСНЕННЯ ТРАНСФЕРНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Кандидати техн. наук А. В. Прохорченко, О. О. Журба, магістрант Я. Є. Кобаренко

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОКЗАЛОВ В УСЛОВИЯХ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ТРАНСФЕРНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Кандидаты техн. наук А. В. Прохорченко, О. А. Журба, Я. Е. Кобаренко

ANALYSIS OF THE WORK STATION UNDER THE CONDITIONS OF THE TRANSFER OF THE PASSENGER TRAFFIC

Ph.D. A. Prokhorchenko, O. Zhurba, master student Y. Kobarenko

У роботі проведено аналіз передового досвіду організації роботи залізничних вокзалів в умовах здійснення трансферних пасажирських перевезень, що дало змогу сформулювати основні напрямки розвитку трансферних пасажирських перевезень на залізничному транспорті України. Досліджено технології роботи найбільших залізничних вокзалів світу. Доведено ефективність застосування технології трансферних перевезень на залізницях світу. Встановлено необхідність формалізації процесу перевезень пасажирів з урахуванням пересадок між швидкісними і звичайними поїздами на залізничних вокзалах України.

Ключові слова: трансферні пасажирські перевезення, залізничний вокзал, пересадочний комплекс, швидкісний поїзд, залізнична мережа.

В работе проведен анализ передового опыта организации работы железнодорожных вокзалов в условиях осуществления трансферных пассажирских перевозок, что позволило сформулировать основные направления развития трансферных пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте Украины. Исследованы технологии работы наиболее крупных железнодорожных вокзалов мира. Доказана эффективность применения технологии трансферных перевозок на железных дорогах мира. Установлена необходимость формализации процесса перевозок пассажиров с учетом пересадок между скоростными и обычными поездами на железнодорожных вокзалах Украины.

Ключевые слова: трансферные пассажирские перевозки, железнодорожный вокзал, пересадочный комплекс, скоростной поезд, железнодорожная сеть.

The article analyzes the best practices of the organization of the railway stations under the conditions of transfer passengers, which made it possible to formulate the basic directions of the transfer of passenger traffic on the railways of Ukraine. Studied the technology of most railway stations in the world. Analysis of trends in passenger traffic showed that current approaches to improving technology Railway stations require submission to the interchange as an integrated complex. This approach requires technology research stations working from the perspective of system analysis, namely considering its interaction with other complex interchange that will realize the trip passengers "single ticket" within technology transfer traffic. Analysis of transfer passenger traffic on the railways proved that in Ukraine this technology practically not developed. Greater development of these freight railways to become the Netherlands, Japan, Germany, France, thus improving the quality of rail passenger services and attract more passengers from other modes of transport. Established the need to formalize the process of passenger connections between the light-speed and conventional trains on the railway stations of Ukraine.

Keywords: transfer passenger transport, railway station, interchange complex, high-speed train, the railway network.

Вступ. В умовах інвестиційно-інноваційного розвитку економіки України, який має забезпечити перехід до постіндустріального суспільства з характерною зміною структури транспортного ринку, необхідним є вдосконалення залізничної транспортної системи на концептуальному рівні, що дасть змогу залізницям надавати послуги нової якості, а отже, виграти конкурентну боротьбу між видами транспорту за неосвоєний сегмент ринку [1, 2].

Впровадження Програми швидкісного руху пасажирських поїздів між основними мегаполісами вимагає перегляду зони покриття і системи організації маршрутів прямування пасажирських поїздів з необхідністю створення на базі існуючих

залізничних вокзалів системи інтегрованих пересадочних комплексів [3]. Оскільки обмежена дальність прямування швидкісних поїздів передбачає організацію швидкісних сполучень між вузлами, так званими хабами (англ. hub), важливим є впровадження наскрізних технологій перевезень пасажирів з урахуванням зон тяжіння хабів. Така система організації перевезень призведе до збільшення навантаження на інфраструктуру залізничних вокзалів та потребує ефективного вирішення задачі трансферних перевезень пасажирів з реалізацією подорожі пасажирів з пересадками “за єдиним квитком” з урахуванням мінімізації загального часу прямування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші теоретичні та практичні дослідження щодо формування, близьких до сучасних, підходів організації залізничних пасажирських перевезень і технології роботи залізничних вокзалів почалися вже на початку 60-х років минулого сторіччя, зокрема в роботах Ф.П. Кочнева, В.А. Федорова, Г.Н. Плахова, Б.Є. Марчука [4, 5, 6].

Відповідно до них доведено необхідність науково обґрунтованого вирішення технологічних задач моделювання і прогнозування пасажиро- і поїздопотоків за напрямками залізничної мережі, складання плану формування і схем обігу пасажирських поїздів, проведення аналізу завантаження пристроїв залізничних вокзалів та ув'язки розкладу поїздів у вузлах між собою і з іншими видами транспорту. Вперше були закладені основи функціонування єдиної системи управління продажем квитків на мережі залізниць, що дало змогу в подальшому створити ідеологічну основу сучасної автоматизованої системи управління (АСУ) пасажирськими перевезеннями.

У перших дослідженнях професора Ф. П. Кочнева [4] запропоновано спосіб розрахунку плану формування пасажирських поїздів (ПФПП) для полігону мережі із семи станцій на основі техніко-економічних розрахунків. Подальший розвиток поставлена задача отримала у роботах [7,8], в яких запропоновано здійснювати розрахунки за допомогою електронно-обчислювальних машин, що дало можливість підвищити складність постановки задачі і, як наслідок, проводити розрахунки в цілому для великих полігонів залізничної мережі. Однак вищенаведені розрахунки не передбачали можливості обліку подорожі пасажирів з урахуванням пересадки.

Про доцільність проведення розрахунків ПФПП на рівні залізничної мережі з урахуванням пересадки пасажиропотоків вказано у роботі [9]. Вперше професор

Ю. О. Пазойський запропонував рішення задачі побудови плану формування поїздів з одночасним розподілом пасажиропотоків по поїздах та обліком оцінок різних варіантів пересадок пасажирів. Постановка даної задачі зводиться до задачі синтезу мережі для заданого багатопродуктового потоку. Однак застосування методу оптимізації для задач такого класу є достатньо складним при вирішенні задачі великої розмірності.

Питанням планування перевезень з урахуванням пересадки пасажиропотоків приділяється велика увага в ряді закордонних країн [10-13]. Так, у роботі вчених Сеульського національного університету [10] для аналізу варіантів стикування в залізничній мережі високошвидкісних поїздів (англ. High Speed Railroad, HSR) із звичайними поїздами розроблено модель цілочисельного нелінійного програмування. Результати досліджень свідчать про підвищення ефективності функціонування залізничної мережі в цілому за рахунок планування типових варіантів пересадки пасажиропотоків. У роботі китайських вчених [14] запропоновано комплексний підхід щодо вирішення задачі планування роботи взаємопов'язаних пасажирських терміналів на залізничній мережі з урахуванням функціонування пасажирських станцій у взаємодії з прилеглими дільницями.

Враховуючи необхідність взаємодії залізниць з іншими видами транспорту, в дослідженні [15] запропоновано не обмежуватись межами планування пересадок лише на залізничному транспорті. Як наслідок, розроблено математичну модель координації пересадок пасажиропотоків у мережі інтермодальних транзитних перевезень за схемою пасажирський поїзд – автобус. Постановка задачі дає змогу врахувати інтереси пасажирів та операторів залізничних і автобусних компаній. Задача вирішується за допомогою чисельного методу Пауелла,

що заснований на послідовному застосуванні процедури оцінювання з використанням квадратичної апроксимації, що не дозволяє надати моделі адаптивного характеру та базується на циклічному графіку руху, який не застосовується в Україні.

Проведені наукові дослідження підтверджують складність вирішення задач комплексного розвитку залізничних вокзалів в єдиній мережі пасажирських сполучень високошвидкісного, швидкісного і звичайного руху поїздів. Існуючий рівень теоретичних розробок для практичної реалізації зазначеної задачі вимагає системного підходу до організації роботи залізничних вокзалів на основі застосування нових методів, які дозволять моделювати різні варіанти проїзду пасажирів у поїздах різних категорій з урахуванням пересадок, що дасть можливість реалізувати концепцію трансферних перевезень пасажирів, встановити завантаження інфраструктури залізничних вокзалів і, як наслідок, підвищити точність планування перевезень на залізницях України.

Визначення мети та задачі дослідження. Дана робота має на меті проаналізувати передовий досвід організації роботи залізничних вокзалів в умовах здійснення трансферних пасажирських перевезень, що дозволить сформулювати основні напрямки розвитку трансферних пасажирських перевезень на залізничному транспорті України.

Основна частина дослідження. Досвід збільшення швидкості і темпів руху пасажирських поїздів у таких країнах, як Великобританія, Нідерланди, Німеччина, США, Франція, Японія і багатьох інших, свідчить, що залізничні вокзали стали елементами інтегрованих пересадочних комплексів [16, 17, 18], а пасажирів при плануванні подорожі, як правило, використовують декілька поїздів або різні види транспорту, що обумовлює організацію перевезень з пересадками (від

однієї і більше) за єдиним проїзним документом – трансферні перевезення пасажирів.

Одним із прикладів концептуальної зміни організації залізничних перевезень є введення в Нідерландах у 2006 році нового розкладу руху поїздів. Здійснені найбільш істотні зміни за останні 35 років у графіку руху дали змогу скоротити кількість поїздів далекого прямування, а замість цього запропоновані трансферні перевезення пасажирів, тобто організовані швидкі стикування поїздів у межах однієї платформи. Такий підхід дозволив за основними напрямками встановити курсування поїздів однієї категорії з поїзним інтервалом 15 хвилин, а по всіх інших лініях – в 30 хвилин [19]. У тому числі було зменшено навантаження на інфраструктуру центрального вокзалу Амстердама за рахунок організації пересадок пасажирів, що їдуть прямими поїздами на схід і захід країни у приміській зоні столиці.

Залізничні системи в різних європейських країнах використовують регулярний розклад (циклічний), в якому поїзди прибувають і відправляються через чітко визначені інтервали. Такий розклад обумовлений високим попитом на перевезення та простотою виконання регулювання диспетчерськими службами. За таких умов залізничні вокзали більшості країн Європейського союзу обслуговують 80-90 % загального пасажиропотоку, що припадає на локальні поїздки з тривалістю подорожі декілька годин, і лише 10-20 % – це прямі перевезення з тривалістю подорожі 10-15 годин [20]. Інтенсивність руху поїздів головним чином залежить від густоти населеності і ступеня економічного розвитку країни.

Розклад руху поїздів з інтервалом півгодини або 10-15 хвилин характерний для залізничних вокзалів Німеччини, Швейцарії, Австрії, Бельгії, Нідерландів, Данії, Італії, Великобританії, Чехії, Угорщини, Польщі. Поступово на схожий

ритм переходить Франція. В інших країнах – Швеції, Фінляндії, Норвегії, Іспанії, Португалії, Словаччині, – такий інтенсивний рух існує тільки в щільно населених районах біля міст-мільйонників.

В умовах застосування циклічного розкладу руху пасажирських поїздів у Німеччині набула поширення організація трансферних перевезень. Графік руху поїздів далекого сполучення (Deutsche Bahn, DB) і приміських поїздів (S-Bahn) об'єднані в єдину систему, що дозволяє звести час поїздки до мінімуму за рахунок організації типових пересадок. Допустимим часом для здійснення пересадки вважається строк у три-чотири хвилини. Однією із важливих умов організації таких перевезень є високий рівень інформування пасажирів. При плануванні поїздки завжди існує варіант отримання маршруту, з докладним зазначенням часу і місця пересадок, і навіть номера колії. Таку інформацію можна отримати у вигляді роздруківки в касира на залізничному вокзалі або через веб-сайт залізниць Німеччини [21]. В останньому існує можливість встановлювати запит на час пересадки (трансфера) – “стандартний” або 15, 30 і 45 хвилин, а також можливим є отримання інформації про маршрут і час пересадки від одного вокзалу до іншого при переміщенні пішки або громадським транспортом. Окремо на веб-сайті кожного вокзалу міститься інформація для пасажирів щодо запізнь поїздів та змін у розкладі.

В умовах організації такої системи перевезень усі залізничні вокзали Німеччини залежно від рівня обслуговування пасажирів поділяються на шість категорій. Основні обсяги роботи виконуються на вокзалах першої та другої категорій. До першої категорії належать 20 вокзалів, що розташовані в мегаполісах і виконують функції транспортних вузлів (Берлін-Центральний, Франкфуртський вокзал, Майнц, Штутгарт-Центральний). Найбільш близькі за функціями, але з

меншими обсягами роботи функціонують 63 вокзали другої категорії. На таких вокзалах здійснюються пересадки між поїздами далеких сполучень [22].

Для перерозподілу навантаження на вокзали у великих містах у розкладі руху пасажирських поїздів далекого сполучення по прибутті закладають одну зупинку на станціях приміської зони, де можна здійснити пересадку на міський, приміський або регіональний транспорт (Берлінський вузол) [23]. Одним із сучасних залізничних вокзалів Німеччини є Берлін-Центральний. Технологічний процес роботи цього вокзалу передбачає нормативний час на пересадку пасажирів з одного поїзда на інший не більше восьми хвилин. На вокзалі чітко організована система орієнтування для пасажирів [24]. При цьому особливу увагу приділено організації руху маломобільних груп пасажирів. Так, на виходах до приймально-відправних колій у підлогу вмонтовані ребристі орієнтири для сліпих пасажирів, на поручнях ескалаторів, що рухаються, передбачені спеціальні таблички з позначенням цифри або шрифтом для сліпих, за якими пасажир на дотик може визначити номер колії.

Одним із прикладів інтеграції залізничних вокзалів у систему високошвидкісних залізниць є Франція. Топологія мережі залізниць TGV розбита на чотири сектори та об'єднує 230 залізничних вокзалів, які сполучені між собою курсуванням близько 400 поїздів, що виконують щоденно 650 рейсів при середній швидкості пересування 300 км/год [25]. Усі залізничні вокзали, які обслуговують поїзди TGV, розташовані в центрі міста, що надає перевагу залізницям перед авіаційним транспортом. Для стимулювання пасажирів до подорожі залізничним транспортом з пересадкою на Французьких залізницях (SNCF) застосовується система знижок на проїзні документи. Цікавою є організація системи орієнтування на Ліонському вокзалі (англ.

Gare de Lyon), два зали якого оформлені в синій та жовтий кольори, кожний з окремим виходом до своїх приймально-відправних колій. Для простоти орієнтування на вокзалі в розкладі прибуття та відправлення поїздів останньою колонкою позначений колір залу, через який можна вийти до необхідної платформи.

На даний час на залізницях Європи в практиці пасажирських перевезень введено поняття комбінованої мобільності. Під ним розуміється взаємодія різних видів транспорту із залізничним для оптимізації подорожі пасажира “від дверей до дверей”. Складовою мобільності є організована за цільовим принципом інфраструктура вокзалів, що забезпечує здійснення типової пересадки пасажирів, система інформування пасажирів по всьому транспортному ланцюгу, інтегрована плата за проїзд із справедливим розподілом доходів тощо. Так, на Швейцарських федеральних залізницях узгоджений розклад руху пасажирських поїздів та міського транспорту, введені єдині смарт-картки для оплати проїзду, створена загальна система інформування пасажирів. За такою системою, що дає можливість пасажирам подорожувати за єдиним квитком, задіяні більш 200 транспортних компаній. Майже 250 тис. пасажирів щорічно користуються майже всією мережею різних видів транспорту, купуючи так званий наскрізний сезонний квиток. На залізницях Фінляндії сумісно з іншими видами транспорту також реалізується програма створення на базі залізничних вокзалів мережі центрів комплексного обслуговування пасажирів з можливістю продажу “єдиного квитка”.

Аналіз функціонального призначення залізничних вокзалів у Сеулі (Південна Корея), Кембриджі (США), Пекіні (Китай), Берліні (Німеччина), Нагоя (Японія), Ватерлоо (Великобританія) [26, 27] та в інших країнах світу довів, що простежується тенденція спеціалізації

вокзалів для обслуговування транзитних потоків пасажирів, що користуються залізничним транспортом або здійснюють подорож декількома видами транспорту. Окрім існуючого переходу універсальних залізничних вокзалів до багатофункціональних комплексів, простежується тенденція створення на їх базі інтегрованих залізничних пересадочних комплексів, так званих терміналів (англ. terminal). Такий пересадочний комплекс виконує функції об'єднання різних видів транспорту: залізничного, авіаційного, міського, приміського та забезпечує найбільш швидко та компактно пересадку для пасажирів за умови надання різних видів товарів та послуг, що не пов'язані з основною діяльністю – організацією перевезення пасажирів.

У закордонній практиці при удосконаленні технології роботи залізничних вокзалів приділяється багато уваги правильній організації простору приміщень вокзалу на основі принципів зонування. За розташуванням функціональних зон вокзали інтегрованого типу поділяються на системи з вертикальним або горизонтальним розташуванням функціональних зон. Вертикальне розташування є необхідним при створенні терміналів у межах міста, що дає змогу значно скоротити відстань, яку вимушені перетинати пасажири при здійсненні пересадки (вокзал Dhoby Ghaut, Сінгапур; Кіото, Японія). Вокзали з горизонтальним розташуванням зон потребують більшої площі і найчастіше розташовуються за межами міста (вокзал в Авіньоні, другий Шанхайський вокзал). Одним із таких прикладів є також суміщений вокзал-аеропорт Шарль де Голль, що розташований у пригороді Парижа і має дві залізничні станції “Aéroport Charles-de Gaulle 1” і “Aéroport Charles-de Gaulle 2-TGV”, де здійснюється пересадка пасажирів з поїзда на літак або навпаки. Для підвищення рівня організованості пасажиропотоків в аеропорту пасажирам надається можливість

роздрукувати п'ятьма мовами план аеропорту з позначеним маршрутом пересадки з одного терміналу до іншого.

Площі пасажирських терміналів розподіляються за призначенням послуг, що надаються. Касові зони розташовуються поблизу руху основних потоків пасажирів (входів до вокзалів) та передбачають виділення зони накопичення пасажирів. Цікавим підходом щодо зменшення зони накопичення пасажирів перед касами є впровадження так званої електронної системи управління чергою. Аналіз зонування вокзалів Західної Європи та Японії свідчить, що вкрай мало виділяється площі вокзалу для зони очікування пасажирів. Так, на вокзалі Берлін-Центральний зал очікування є тільки на четвертому ярусі та займає всього близько 1% від загальної площі. Причому зал очікування являє собою приміщення з робочими місцями, за якими можна працювати з документами, використовуючи персональний комп'ютер.

Функції класичних залів очікування на сучасних вокзалах виконують виділені зони багатоформатних площ сервіс-центрів, в яких розміщено велику кількість магазинів, офісів і підприємств харчування (кафе, ресторани). Так, вокзальний комплекс Нагоя в Японії включає офіси, 53-поверховий готель, торговельні центри, музей, ресторани, спортивний клуб та інші приміщення, що виконують суспільно-ділові функції. У приміщеннях головного вокзалу Рима – Терміні (італ. Stazione Termini) проводяться концерти, виставки та інші культурні заходи, підземний рівень займає великий торговельний центр Forum Termini.

У міжнародних залізничних вокзалах виділяються зони для проведення митних операцій [28]. Окремо існують зони безпеки в місцях накопичення пасажирів та встановлюються технічні засоби, що обмежують доступ на платформи. На залізницях Західної Європи для організації руху потоків пасажирів на платформах та

прискорення пересадки пасажирів здійснюється розділення площі платформ на сектори – від двох до шести залежно від країни. Найбільш поширений варіант – шість секторів – А, В, С, D, E, F. Кожний поїзд далекого сполучення зупиняється так, щоб певні категорії вагонів потрапляли у розмічений сектор. Наприклад, вагони першого класу – в сектори А і В, вагони другого класу – в сектори С, D і E. Порядок розташування вагонів у секторах для кожного поїзда вказаний на спеціальній діаграмі, що вивішується у приміщеннях вокзалу для ознайомлення пасажирів.

Найбільш поширеною є організація пасажирських перевезень з пересадками на авіаційному транспорті, де існує поняття трансферні перевезення – перевезення пасажирів із аеропорту відправлення до аеропорту призначення з проміжною пересадкою в аеропорту-шлюзі (англ. gateway). Трансферний маршрут через аеропорт відрізняється від звичайної пересадки тим, що обслуговування трансферних пасажирів здійснюється через спеціальні зали без отримання на руки багажу і повторного проходження всіх передпольотних формальностей (необхідність проходження митного контролю), що значно економить час для пасажирів при здійсненні пересадки. Вартість перельоту при трансферному перевезенні за спеціальними наскрізними тарифами з пересадкою може бути нижчою за вартість прямого безпересадочного перельоту.

Для реалізації трансферних перевезень усі аеровокзали світу визначають та оприлюднюють нормативний час на пересадку, так званий мінімальний час стикування (англ. Minimum Connection Time, МСТ) – це мінімальний час, за який аеропорт гарантує обслуговування трансферного пасажирів і обробку багажу при здійсненні трансферних перевезень. МСТ визначається для внутрішніх та міжнародних рейсів, а для великих аеропортів також окремо за різними терміналами.

Чинна технологія організації перевезень пасажирів на залізницях України передбачає організацію подорожі з пересадкою лише частково. Згідно з правилами [29] можливим є оформлення проїзних документів з пункту пересадки першопочаткового відправлення, але варіант подорожі з пересадкою неможливо оформити єдиним проїзним документом. Оформлення поїздки з пересадкою здійснюється окремими проїзними документами на проїзд від станції початкового відправлення до станції пересадки і від станції пересадки до станції призначення. Під час продажу таких проїзних документів квитковий касир зобов'язаний узгодити з пасажиром інтервал між часом прибуття поїзда до пункту пересадки за розкладом та часом відправлення з пункту пересадки. Порядку визначення для залізничного вокзалу нормативного часу на пересадку не існує, і тому квитковому касиру при оформленні такого варіанта поїздки дуже складно визначити мінімальний час, за який пасажир встигне здійснити пересадку. У разі запізнення пасажира залізниця має відправити пасажира без стягнення плати наступним поїздом, щоб пасажир прибув на станцію призначення з найменшим запізненням. Пасажир, що здійснює поїздки з пересадками, називається транзитним, а поїзди, на які оформлено проїзні документи до пункту пересадки і від пункту пересадки, називаються погодженими.

У процесі розроблення графіка руху пасажирських поїздів майже не враховуються варіанти проїзду пасажира з пересадкою. Ув'язка розкладів прибуття і відправлення поїздів для здійснення пересадки виконується тільки для незначної кількості поїздів. При запізненні пасажирського поїзда інформації у диспетчерського персоналу, що такий поїзд для пасажира є погодженим, немає, а отже, якщо пасажир не заявить про себе

провіднику вагона (машиністу) і у свою чергу той – поїзному диспетчеру, ув'язки часу прибуття та затримки відправлення погодженого поїзда не відбудеться. За таких умов організації перевезень попит на подорож з пересадкою дуже низький і пасажир надають перевагу проїзду у безпересадочному сполученні.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Тенденції розвитку пасажирських перевезень довели, що сучасні підходи до удосконалення технології функціонування залізничних вокзалів потребують реалізації їх як інтегрованих пересадочних комплексів. Даний підхід вимагає дослідження технології роботи вокзалів з позиції системного аналізу, а саме з урахуванням їх взаємодії з іншими пересадочними комплексами, що дасть змогу реалізувати подорож пасажирів за “єдиним квитком” у межах технології трансферних перевезень. Аналіз організації трансферних перевезень пасажирів на залізничному транспорті довів, що на теренах України ці технології практично не були розвинуті. Більшого розвитку ці перевезення набули на залізницях Нідерландів, Японії, Німеччини, Франції, що дозволило підвищити якість залізничних пасажирських перевезень та залучити додаткових пасажирів з інших видів транспорту. Практична ефективність розвитку трансферних перевезень на залізницях світу обумовлює розвиток даної моделі перевезень і на залізницях України. Виходячи з наведених вище висновків у подальших дослідженнях необхідним є розробити математичну модель, яка дасть змогу визначити варіанти проїзду пасажирів з урахуванням пересадок між швидкісними і звичайними поїздами на залізничних вокзалах України, що дозволить підвищити рівень планування трансферних перевезень.

Список використаних джерел

1. Малахова, О. А. Удосконалення перевезення пасажирів із застосуванням логістичних підходів [Текст] / Т.О. Лінецька, О.А. Малахова // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 140. – С. 66-71.
2. Константінов, Д. В. Формування актуальних напрямків розвитку пасажирських приміських перевезень залізниць України [Текст] / Д.В. Константінов, С.М. Ватраль // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 140. – С. 14-22.
3. Бутько, Т. В. Формування моделі організації пасажиропотоків при здійсненні пересадок на залізничному вокзалі з використанням колективного інтелекту [Текст] / Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко, О.О. Журба // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – №2. – С. 57-61.
4. Кочнев, Ф. П. Пассажи́рские перевозки на железных дорогах [Текст] / Ф.П. Кочнев. – М.: Трансжелдориздат, 1959. – 351 с.
5. Плахов, Г. Н. Прогнозирование и планирование пассажирских перевозок [Текст] / Г.Н. Плахов // Железнодорожный транспорт. – 1972. – № 7. – С. 23-25.
6. Марчук, Б. Е. Типовая АСУ “Экспресс-2” [Текст] / Б.Е.Марчук // Железнодорожный транспорт. – 1976. – № 11. – С. 59-62.
7. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок [Текст] / под ред. П.С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994. – 544 с.
8. Шубко, В. Г. Разработка оптимальной схемы обращения пассажирских поездов на заданном полигоне сети железных дорог [Текст] / В.Г. Шубко, Ф.С. Гоманков // Тр.МИИТ. – 1973. – Вып. 420. – С. 117-129.
9. Пазойский, Ю. О. Организация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте (в примерах и задачах) [Текст] / Ю.О. Пазойский, Л.С. Рябуха, В.Г. Шубко. – М.: Транспорт, 1991. – 240 с.
10. Beligiannis, G., Moschopoulos, C.N., Kaperonis, G.P., Likothanassis, S.D., 2008, iApplying evolutionary computation to the school timetabling problem: The Greek casei, Computers & Operations Research, Vol. 35, pp.1265-1280.
11. Muller-Hannemann M. Timetable Information: Models and Algorithms / Matthias Muller-Hannemann, Frank Schulz, Dorothea Wagner, Christos Zaroliagis //F. Geraets et al. (Eds.): Railway Optimization 2004, LNCS 4359, pp. 67–90, 2007.
12. Yu Li Model and Algorithm for Passenger Station Task Allocation Problem in Railway Terminal / Yu Li, Jun Zhao, Jie Cheng // Conference Proceeding Paper. ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems–Green - Intelligent – Reliable. Public Transportation Technology and Systems , pp. 2590-2596
13. Goverde, R.M.P. (1998a), “Optimal Transfer Times in Railway Timetables”, paper presented at the 6th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, September 1998, Gothenborg, to appear in Transportation Research B.
14. Transfer Stations and Synchronization / Rob M.P. Goverde // TopTech Study “Rail Systems Engineering, Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geo Sciences, Transportation Planning and Traffic Engineering Section. – 1998. – 10 p.
15. Древаль, И.В. Градоформирующая роль железнодорожных вокзальных комплексов / И.В. Древаль // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. – Вип. 47. – С. 115-119.
16. Heike Link PEP-A Yield-Management Scheme for Rail Passenger Fares in Germany / Heike Link // Japan Railway & Transport Review 38, March. – 2004. – P. 50-55.

17. Koichi Goto Passenger Service Technologies / Koichi Goto // Railway Technology Today 11 (Edited by Kanji Wako) Japan Railway & Transport Review 24 • July 2000. – P. 50-55.
18. В Нидерландах стало меньше прямых поездов и больше пересадок / Масс-медиа и новости / Новости туризма / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.travel.ru/news/2007/01/30/105821.html>.
19. График движения поездов [Электронный ресурс]: сайт travel.ru. – Режим доступа: http://rw.travel.ru/rw_europe/train_schedule.html.
20. Офіційний сайт DBAG [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.bahn.de.
21. "Die Sechs Bahnhofskategorien". DB Station&Service AG. Проверено 2007-03-12.
22. Boutatigkeit der Deutschen Bahn in Berlin. Feldwisch Wolfgang, Ruppert, Gunter. ETR: Eisenbahntechn. Rdsch. – 2000. – №6. – P.365-377.
23. Пасажи́рські перевезення (залізни́чний транспорт) [Текст]: навч. посібник / Т.В. Бутько, О.А. Малахова, А.В. Прохорченко та ін. – Харків: Дім Райдер, 2014. – 259 с.
24. Высокоскоростной поезд TGV. История вещей от древности до наших дней [Текст] / Е. Н. Грицак, М. И. Ткач. — М.: «РИПОЛ классик», 2003. — С. 420-422.
25. Kande, S. A Prototype Intermodal Transportation Center: A New Approach to Interior Environments of transportation Centers. Unpublished manuscript, Virginia Commonwealth University.– 2001.
26. Мироненко, В. П. Архитектура современных железнодорожных вокзальных комплексов. Модернизация вокзалов и тенденции развития ЖВК / В.П. Мироненко, О.М. Борзов // Вісник ХДАДМ. – 2009. – № 4. – С. 63-68.
27. Вокзал Лондон-Сент-Панкрас – все для пассажиров / В. Perren // Moder Railways. 2008, № 710, p. 96 – 99. Железные дороги мира. – 2009.– № 11.– С. 17-19.
28. Правила перевезення пасажирів, багажу, вантажобагажу та пошти залізничним транспортом України [Текст]: наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 27 грудня 2006 р. № 1196: зареєстр. в Міністерстві юстиції України 4 квітня 2007 р. за № 310/13577 із змін. і допов.

Прохорченко Андрій Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-88.

E-mail: railwayhub@yahoo.com.

Журба Олег Олександрович, канд. техн. наук, начальник вокзалу станції Житомир Південно-Західної залізниці. Тел. (057) 730-10-88. E-mail: uemp@ukr.net.

Кобаренко Ярина Євгенівна, магістр групи МЗ-TEMPUS-Б-15-ОПУТ, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-88.

E-mail: uemp@ukr.net.

Prokhorchenko Andrii Ph.D., Associate Professor, Department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-88. E-mail: railwayhub@yahoo.com.

Zhurba Oleg Ph.D., Head railway station Zhytomyr South Western Railway. Tel.(057) 730-10-88. E-mail: uemp@ukr.net.

Kobarenko Yarina, master student Department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-88. E-mail uemp@ukr.net.

Стаття прийнята 27.09.2016 р.

УДК 656.212.6:658.5.011.56

СИСТЕМНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОПИС АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ ВАНТАЖЕННЯ-ВИВАНТАЖЕННЯ: СТРУКТУРА ТА ФУНКЦІОНАЛЬНА НАПОВНЕНІСТЬ (Частина 1)

В. С. Меркулов, І. Г. Бізюк

СИСТЕМНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПОГРУЗКИ-ВЫГРУЗКИ: СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАПОЛНЕНИЕ (Часть 1)

В. С. Меркулов, И. Г. Бизюк

THE SYSTEM-ANALYTICAL DESCRIPTION OF THE AUTOMATED SYSTEM OF PLANNING OF LOADING - UNLOADING СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАПОЛНЕНИЕ (Part 1)

V. Merkulov, I. Biziuk

Стаття присвячена питанням, пов'язаним з перевезенням вантажів на залізничному транспорті. Розглянуто технологію помісячного планування, яка стала основою для системно-аналітичного опису оперативного планування вантаження-вивантаження в регіоні залізниці і дала змогу визначити склад потрібного прикладного програмного забезпечення. Досвід експлуатації розробленої автоматизованої системи підтвердив повноту її функціонального наповнення та ефективність обраної методики побудови календарних планів.

Ключові слова: оперативне планування, вантаження-вивантаження, автоматизація, регулювальне завдання, норми вантажної роботи, система, заявки, база даних, станція.

Статья посвящена вопросам, связанным с перевозкой грузов на железнодорожном транспорте. Рассмотрена технология месячного планирования, которая стала основой для системно-аналитического описания оперативного планирования погрузки-выгрузки в регионе дороги и позволила определить состав необходимого прикладного программного обеспечения. Опыт эксплуатации разработанной автоматизированной системы подтвердил полностью ее функционального наполнения и эффективность выбранной методики построения календарных планов.

Ключевые слова: оперативное планирование, погрузка-выгрузка, автоматизация, регулировочное задание, нормы грузовой работы, система, заявки, база данных, станция.

The article is devoted to issues related to the carriage of goods by rail. The technology of a monthly planning, which became the basis for the systematic and analytical description of operational planning of loading-unloading in the region of the road and has allowed us to determine the structure of the necessary application software. The planning process is quite laborious and responsible. One needs to prepare, print and distribute the telegramsto the stations, calculate the technical standards for the upcoming month, print them and check the printed documents.

To reduce the influence of destabilizing factors and reduction of the number of unfilled requests of the stations, some special methods have been offered with their algorithms and their software

implementation. The developed software complex is a multi-level hierarchical system. Input information flow to it is application from the stations-customers in the freight operations accomplishments. Further, the management and processing of this information hold special subsystems using different databases. It is advisable to select functionally homogeneous groups of modules and implement them in the procedures in the algorithmic high-level language (Visual Basic 6.0). The operating experience of the developed automated system has confirmed the completeness of its functionality and the effectiveness of the chosen techniques of construction schedules.

Keywords: *operative planning, loading-unloading, automation, regulating task, rates of cargo operations, system, requisition sheets, data base, station.*

Вступ. Одна з цілей оперативного планування – визначити конкретні обсяги робіт з вантаження-вивантаження кожної станції. Це дає можливість розрахувати потребу в транспортних засобах по кожній станції, регіону, залізниці та в цілому по мережі за календарними датами, номенклатурою та родами рухомого складу, тобто оперативно управляти процесом перевезень.

Оперативне планування в регіоні органічно пов'язане з технологічними основами організації перевезень вантажів у конкретних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До теперішнього часу в нашій країні і за кордоном виконано великий обсяг наукових досліджень і практичних розробок у галузі вдосконалення оперативного планування вантаження-вивантаження [1-4]. Разом з тим, у них у належній мірі не відображено питання автоматизації цього процесу. Це позначається на тому, що при існуючих технологіях витрати часу і праці на планування досить істотні, а якість планування не повною мірою відповідає поставленим вимогам.

Основний матеріал. Системно-аналітичний опис автоматизованої системи оперативного планування вантаження-вивантаження в регіоні залізниці (АСОПВВР) надав можливість визначити підсистеми, необхідні для реалізації потрібних функцій. У таблиці наведена функціональна структура розробленого

програмного комплексу, призначеного для формування технічних норм. У ньому доцільно виділити функціонально-однорідні групи модулів, реалізовані у вигляді процедур алгоритмічною мовою високого рівня (Visual Basic 6.0).

АСОПВВР є багаторівневою ієрархічною системою. Вхідним інформаційним потоком для неї є заявки станцій-замовників на виконання вантажних робіт. Далі управління та обробку цієї інформації проводять спеціальні підсистеми із використанням різних баз даних.

Для зменшення впливу дестабілізуючих чинників і зниження кількості невиконаних заявок станцій була запропонована спеціальна методика [5, 6], алгоритми та їх програмна реалізація [7, 8].

Розглянемо технологію помісячного планування, яка стала основою для вибору складу функціональних підсистем.

Вантаження. Вихідними даними для щомісячного плану навантаження є:

- загальний середньодобовий план по регіону;
- щомісячний план по регіону з породовою розбивкою;
- заявки станцій на навантаження на майбутній місяць (загальна кількість вагонів і кількість вагонів за кожним родом вантажів).

Перші два показники – директивні, третій – бажаний. Загальний план по регіону являє собою кількість рухомих одиниць кожного роду, які потрібно вантажити щодоби.

Функціональна структура АСОПВВР

МОДУЛІ НАЛАШТУВАН- НЯ ТА ПОЧАТКОВОГО ФОРМУВАННЯ	<p style="text-align: center;"><i>Вантаження</i></p> Встановлення поточного місяця Збереження або видалення плану Завантаження інформації з попереднього сеансу роботи Введення місячної заявки Введення місячного плану Введення загального плану Введення списку станцій	<p style="text-align: center;"><i>Вивантаження</i></p> Введення плану по відділенню Введення плану по станціях Введення статистики Введення списку станцій Формування нових даних При переході в новий місяць
РОЗРАХУН- КОВІ МОДУЛІ	Формування початкового плану із застосуванням методу гілок і меж Формування умовно-оптимального плану із застосуванням ситуаційно-евристичного методу планування Визначення цільової функції і обчислення оптимальних параметрів плану Реалізація алгоритму Кора для оцінювання плану Розрахунок регульовального завдання і інших даних для довідок і звітних документів	
СЕРВІСНІ МОДУЛІ	Формування списків дільниць і станцій для селективного вибору Реалізація функцій «ручного» доведення плану (режим «коригування») Виведення допоміжних таблиць: план по відділенню для «вантаження» в режимі «коригування»; рядок «підсумок-баланс»; статистики для «вивантаження»; рядок підказок	
МОДУЛІ ФОРМУВАННЯ ТА ВИДАЧІ ДОКУМЕНТІВ	Телеграми щодо середньодобових норм роботи станцій і норм здавання порожніх вагонів <i>Нормативні документи</i> Вантаження і вивантаження по підприємству Робота гірок Робочий парк сортувальних станцій Розміри руху поїздів Приймання здачі вагонів по стиках Норми стосовно вимірювачів План показників роботи вирішальних станцій Норми здавання порожніх вагонів з-під свого вивантаження Технічні норми роботи сортувальних, дільничних, проміжних і вантажних станцій Норми здавання порожніх вагонів з-під вивантаження, в тому числі напіввагонів Середньодобові норми роботи станцій за показниками: робочий парк, простій на один вагон, на одну вантажну операцію Технічні норми критих вагонів, напіввагонів, рефрижераторів, цистерн, зерновозів, цементовозів, платформ, інших (вантаження, вивантаження та регулювання за станціями, за родом вантажу, за залізницями призначення)	

Певні проблеми пов'язані з тим, що вихідними є план і заявки, розраховані на місяць, а спланувати необхідно в середньому на добу. При цьому обов'язковим є виконання середньодобового плану по регіону. Отриманий план має містити дані цілого типу. Виникають труднощі і при перерахунку «місяць-доба» (втрата дробових десяткових розрядів при округленні) і при невідповідності заявок і

плану по регіону (мається на увазі не лише абсолютна, але і відносна похибка).

Процес коригування досить трудомісткий і відповідальний. При цьому потрібно підготувати, надрукувати і розіслати на станції телеграми, провести розрахунок технічних норм на майбутній місяць, надрукувати їх і перевірити надруковані документи.

На рис. 1 наведена одна з відеограм підсистеми “Вантаження” – введення загального плану по регіону.

	всього	КР	ПЛ	ПВ	ЦС	РФ	ЦМ	ЗР	ПР
сум. план	23.00	4.00	3.00	6.00	2.00	5.00	1.00		2.00
нес.	690	120	90	180	60	150	30		60
итог	1.31	0.20	0.10	0.37	0.07	0.03	0.47		0.07
баланс	21.69	3.80	2.90	5.63	1.93	4.97	0.53		1.93
итог									
план									
баланс	23.00	4.00	3.00	6.00	2.00	5.00	1.00		2.00
Ввод общего плана Курсор ←→ Ввод ENTER Выход ESC									
1	2	3	4	5 Звук	6	7	8	9	10

Рис. 1. Відеограма підсистеми “Вантаження”

Вивантаження. Вихідні дані:

- план вивантаження по регіону на поточний місяць з породовою розбивкою;
- план вивантаження по кожній станції без породової розбивки;
- статистичні дані з урахуванням породової розбивки (фактична кількість вивантажених вагонів по кожній стації за місяць, що передує попередньому, та фактична кількість вивантажених вагонів по кожній станції в тому ж календарному місяці попереднього року).

Регульовальне завдання з вивантаження з породовою розбивкою вантажів по кожній станції на місяць (ціле число) планується аналогічно вантаженню. Статистичні дані по кожній станції усереднюються.

При розрахунку використовуються задані плани, узагальнена статистична інформація, а також враховується ситуація на вантажній станції на поточний день.

На рис. 2 наведена одна з відеограм підсистеми “Вивантаження” – введення та перегляд плану на поточний місяць.

	всього	КР	ПЛ	ПВ	ЦС	РФ	ЦМ	ЗР	ПР
стат.									
план	234.00	234.00							
коррек	100.00	100.00							
рез-т	334.00	334.00							
итог									
баланс									
По текущему месяцу не задан итоговый план. Нажмите любую клавишу.									
Ввод и просмотр плана Для ввода нажать [ENTER] Перевод страницы Pg Pd									
1 Док. 2 Возвр. 3 Корр. 4 Список 5 Звук 6 План 7 Исп.пл 8 Стат. 9 Вв.ст. 10 Меню									

Рис. 2. Відеограма підсистеми “Вивантаження”

Висновки. Досвід експлуатації АСОПВВР у відділі планування перевезень й організації вантажної роботи служби перевезень регіональної філії "Південна

залізниця" підтвердив оптимальність обраної структури системи та повноту її функціонального наповнення.

Список використаних джерел

1. Tornquist, J. Railway traffic disturbance management—An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon [Text] / J. Tornquist // Transportation Research Part A: Policy and Practice. - Volume 41, Issue 3, March 2007, P. 249-266.
2. Гершвальд, А. С. АРМ диспетчера по распределению порожних вагонов [Текст] / А.С. Гершвальд // Ж.-д. транспорт. – 2000. – №11. – С. 32-35.
3. Абрамов, А. А. Современные системы автоматизированного управления перевозками (функциональные возможности АРМ) [Текст]: учебн. пособие / А.А. Абрамов, Г.М. Биленко. — М.: РГОТУПС, 2002. – 136 с.
4. Тулупов, Л. П. Управление и информационные технологии на железнодорожном транспорте [Текст]: учебн. для вузов ж.-д. трансп. / Л.П. Тулупов, Э.К. Лецкий, И.Н. Шапкин и др. – М.: Маршрут, 2005. – 467 с.
5. Самсонкін, В. М. Ситуаційно-евристичний підхід до календарного планування вантажно-розвантажувальних робіт в регіоні залізниці [Текст] / В.М. Самсонкін, В.С. Меркулов // Залізничний транспорт України. – 2007. – № 4. – С. 8-10.
6. Giannetti, C. Risk based uncertainty quantification to improve robustness of manufacturing operations [Text] / C. Giannetti, R. Ransing // Computers&Industrial Engineering. – Vol.101. – 2016. – P.70-80.
7. Самсонкин, В. Н. Концепция построения автоматизированной системы оперативного планирования погрузочно-выгрузочных работ и ведения штатного расписания в регионе дороги [Текст] / В. Н. Самсонкин, В.С. Меркулов // Залізничний транспорт України. – 2008. – № 3. – С. 6-10.

8. Меркулов, В. С. Удосконалення технології календарного планування вантаження та розвантаження. [Текст] / В. С. Меркулов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 4. – С. 21-22.

Меркулов Віктор Сергійович, доцент кафедри обчислювальної техніки та систем управління Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-40. E-mail:twins54@yandex.ru.
Бізюк Ірина Григорівна, старший викладач кафедри обчислювальної техніки та систем управління Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-40. E-mail: igbiz@yandex.ru.

Merkulov Viktor Sergeevich, associate Professor at computer and control systems Department of Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-40. E-mail: twins54@yandex.ru.
Biziuk Iryna Grygoriyevna, Senior Lecturer at computer and control systems Department of Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-40. E-mail: igbiz@yandex.ru.

Стаття прийнята 27.09.2016 р.

УДК 656.025.4

ФОРМУВАННЯ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИТРАТ ЛОГІСТИЧНОГО ПРОЦЕСУ

Канд. техн. наук Є. І. Куш, асп. В. С. Скрипін

ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Канд. техн. наук Е. И. Куш, асп. В. С. Скрыпин

CREATING THE OBJECTIVE FUNCTION OF LOGISTICS PROCESSES COST OPTIMIZATION

Ph. D. Y. Kush, Ph.D student V. Skrypin

У статті проведено дослідження, направлене на формування цільової функції логістичного процесу. Для цього було визначено показник ефективності логістичної системи – загальні витрати, які складаються з витрат її учасників. Формалізовано залежність витрат транспортного учасника логістичної системи від вантажопідйомності і кількості транспортних засобів. Визначено статті змінних і постійних витрат на утримання складу. Проведено дослідження зміни постійних і змінних витрат складського господарства залежно від обсягу вантажообігу і площі складу.

Ключові слова: ефективність, цільова функція, транспортні витрати, складські витрати, запас, логістичний процес.

В статье проведено исследование, направленное на формирование целевой функции логистического процесса. Для этого был определен показатель эффективности логистической системы – общие расходы, которые состоят из затрат ее участников. Формализована зависимость расходов транспортного участника логистической системы от грузоподъемности и количества транспортных средств. Определены статьи переменных и постоянных затрат на содержание склада. Проведено исследование

изменения постоянных и переменных затрат складского хозяйства в зависимости от объема грузооборота и площади склада.

Ключевые слова: эффективность, целевая функция, транспортные расходы, складские расходы, запас, логистический процесс.

The paper highlighted research aimed at the formation of the objective function of the logistics process. Scientific approaches to assessment of the effectiveness of the logistics system had been analyzed. As a result, the indicator of total expenses, which consist of the cost of participants of logistics system, has been selected. Formalized fixed and variable costs of transport and warehouse participants. The independence between costs of transport participant of logistics system and vehicle's capacity and its quantity were determined. Constituents of variable and fixed costs on the warehouse functioning were Identified. Variation in storage costs had been explored also. The regularity of changes of variable cost of storage, which use as a variable the value of the stock's turnover, was obtained. Fixed costs proposed to calculate according to the area of warehouse. The objective function of optimization of cost's of logistics process, considering the interaction between the parameters of its participants had been formalized.

Keywords: efficiency, objective function, transportation costs, warehouse costs, stock, logistic process.

Вступ. Ефективність діяльності будь-якої системи визначається можливістю виконувати поставлені перед нею завдання з певним рівнем якості. Визначення рівня виконання мети системи і ступінь пристосованості її до зовнішнього середовища проводиться на основі показників ефективності і оптимальності функціонування.

Аналізуючи роботу транспортних систем розвезення вантажів по пунктах збуту в містах, можна зробити висновок, що однією з основних умов забезпечення ефективності діяльності цих систем є повне задоволення потреб замовника на перевезення з найменшими витратами. Для цього використовують підходи з організації оптимальних маршрутів, обирають оптимальні марки транспортних засобів за вантажопідйомністю, узгоджують роботу транспорту з постами навантаження-розвантаження та ін. При цьому підвищення вантажообігу на маршрутах призводить до збільшення транспортної роботи і, отже, до зростання ефективності процесу при правильно підібраній технології перевезень.

Ефективність діяльності системи складського господарства пунктів

завезення вантажів залежить від технологій зберігання і вантажообігу товарів на складі. При цьому перед науковцями стоїть завдання: вирішити, скільки зберігати, як часто поставляти, який страховий запас мати та деякі інші питання. В умовах нестабільної ринкової ситуації і підвищення рівня конкуренції ці завдання є досить актуальними.

Логістика охоплює і об'єднує в єдиний процес такі види діяльності, як транспортування, управління запасами, складським господарством та ін. Тому закономірним буде твердження, що взаємовідношення «транспорт - склад» утворюють логістичну систему, ефективність якої залежить від узгодженості і результатів роботи її елементів. Тому формування цільової функції оптимізації витрат логістичного процесу, що враховувала би взаємозв'язок параметрів його учасників, є завданням даної роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Визначенням ефективності логістичних систем займалися багато вітчизняних і закордонних вчених [1-3]. Однак це питання до теперішнього часу є не повністю розкритим. Одні вказують на

те, що ефективність визначається здатністю системи приносити ефект [4], інші – рівнем загального прибутку [5].

Дослідження показують, що ефективність логістичної стратегії базується на трьох принципах [6]:

- 1) розробка стратегії управління матеріальними потоками;
- 2) визначення загальних витрат на виконання логістичних функцій і їх оптимізація;
- 3) визначення показників ефективності логістичної системи і їх постійний моніторинг.

Виходячи з цього можна стверджувати, що оптимізація загальних витрат призводить до підвищення ефективності системи. Логістичні витрати є сумою витрат на управління та реалізацію логістичних процесів, які мають такі логістичні функції, як складування, транспортування, внутрішньозаводське транспортування, пакування тощо [3].

Якщо розглядати ешелоновану логістичну систему, то її ефективність буде визначатися витратами учасників: виробника, транспорту, посередника і споживача (рис. 1) [3].

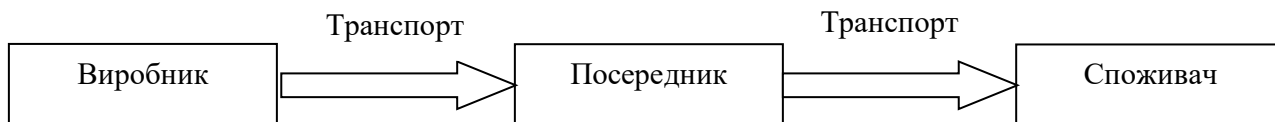


Рис. 1. Ешелонована логістична система

Математично загальні витрати логістичної системи можна виразити так:

$$Z_{лс} = \sum_{i=1}^n Z_i, \quad (1)$$

де Z_i – витрати i -го учасника логістичної системи, грош. од.;

n – кількість учасників логістичної системи, од.

Якщо розглядати частину логістичної системи на ділянці «посередник – транспорт – споживач», виходячи з умови, що посередник має нескінченний запас товару, працює цілодобово і не має часових обмежень на відвантаження, то математично загальні витрати будуть мати такий вигляд:

$$Z_{лс} = Z_{тр} + Z_{скл}, \quad (2)$$

де $Z_{тр}$ – загальні витрати транспорту, грош. од.;

$Z_{скл}$ – загальні витрати складського господарства споживача, грош. од.

Загальні витрати на перевезення вантажів визначають за такою залежністю [7]:

$$Z_{тр} = Z_{зм}L + Z_{пост}T, \quad (3)$$

де $Z_{зм}$ – змінні витрати, грош. од/км;

$Z_{пост}$ – постійні витрати, грош. од/год;

L – довжина маршруту, км;

T – час роботи на маршруті, год.

До постійних витрат науковці відносять амортизацію транспортних засобів, страхові платежі, витрати на реєстрацію транспортних засобів, комунальні платежі, витрати на планування і організацію роботи, заробітну плату працівників (якщо вона не залежить від обсягів виробництва), оренду, загальногосподарські витрати, накладні витрати та ін. [8-12].

До змінних належать витрати на автомобільне паливо, мастильні матеріали і інші експлуатаційні матеріали, автомобільні шини, технічне обслуговування і ремонт, заробітну плату водія, якщо вона залежить від обсягу виконаної роботи, та ін. [13-16].

Загальні витрати на функціонування складського господарства також складаються з постійної і змінної складових [17]. До змінних відносять маніпуляційні витрати (витрати внутрішньоскладських переміщень) і витрати, що змінюються залежно від величини запасів і рівня матеріалопотоку [5, 17]:

$$Z_{зм}^{скл} = b_{скл}^{зм} \cdot Q_m, \quad (4)$$

де $b_{скл}^{зм}$ – змінна складова витрат утримання одиниці запасу на складі, грош. од/т;

Q_m – величина запасів, од.

До постійних відносять витрати, що не залежать від запасів на складі. До них належать витрати на оренду складу,

амортизація техніки, заробітна плата управлінського персоналу і спеціалістів, комунальні платежі та ін. [5, 17, 18]:

$$Z_{пост}^{скл} = \sum_{i=1}^n Z_{пості}^{скл}, \quad (5)$$

де $Z_{пості}^{скл}$ – значення i -ї статті постійних витрат, грош. од;

n – кількість статей постійних витрат.

Обсяг матеріалопотоку на складі визначається як [19, 20]

$$Q_m = Q_{II} + Q_{стр}, \quad (6)$$

де Q_{II} – рівень поточного запасу, од.;

$Q_{стр}$ – рівень страхового запасу, од.

Вченими запропоновано декілька підходів до розрахунку рівнів поточного і страхового запасів [19, 20].

За методикою, наведеною в [19], поточний запас розраховується так:

$$Q_{II} = \frac{1}{2} \left[T_{cp} + \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - T_{cp})^2} + \frac{1}{R_{cp}} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - Q_{cp})^2} \right], \quad (7)$$

де T_{cp} – середній інтервал між поставками, доб;

S_{cp} – середній інтервал між добовими відвантаженнями, доб;

R_{cp} – середньодобова витрата, т/год;

t_i – інтервал i -ї поставки, доб;

Q_i – обсяг i -ї поставки, т;

Q_{cp} – середній обсяг поставки, т;

N – кількість поставок, од.

Інший автор пропонує розраховувати поточний запас виходячи з загального і страхового запасів [20]:

$$Q_{II} = Q_3 - Q_C, \quad (8)$$

де Q_3 – загальний рівень запасу, од.;

Q_C – рівень страхового запасу, од.

Або виходячи з середньодобового обсягу споживання і інтервалу часу між поставками [20]

$$Q_{II} = Q \cdot t_{mp}, \quad (9)$$

де Q – середньодобовий обсяг споживання, од/доб;

t_{mp} – інтервал часу між поставками, доб.

Величину страхового запасу розраховують виходячи з середнього

інтервалу між поставками, обсягу поставки, коефіцієнтів надійності поставки [19-22]

$$Q_{cnp} = \gamma \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - T_{cp})^2 \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^N Q_i}}, \quad (10)$$

де γ – коефіцієнт, що показує надійність забезпечення запасом.

Визначення страхового запасу за наведеними вище залежностями виконується на підставі обсягів і інтервалів поставки, що мають детермінований характер. У випадку, коли параметри складського процесу змінюються ймовірно, вченими запропоновано такий підхід до визначення даного параметра [5]:

$$Q_{cnp} = k \sqrt{L_u G_s^2 + D_s^2 G_t^2}, \quad (11)$$

де k – коефіцієнт, що відповідає розрахованому значенню $f(k)$ – функції витрат, що визначається площиною, окресленою правою гілкою кривої нормального закону розподілу;

L_u – середня тривалість функціонального циклу, доб;

G_s – середнє квадратичне відхилення обсягу продаж, т;

D_s – середній обсяг продаж за добу, т/доб;

G_t – середнє квадратичне відхилення тривалості функціонального циклу, доб.

В результаті проведеного аналізу можна зробити висновок, що ефективність логістичного процесу залежить від ефективності його учасників та параметрів взаємодії між ними, що є недостатньо вивченим. В науковій літературі наведено достатньо розробок щодо локального визначення ефективності учасників логістичної системи, при цьому питанню сукупного ефекту від зміни їх параметрів приділено недостатньо уваги. Тому

завдання формування цільової функції оптимізації витрати логістичного процесу є актуальним.

Визначення мети та задачі дослідження. Проведене дослідження направлене на досягнення мети – формування цільової функції оптимізації витрати логістичного процесу.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі задачі:

- визначити параметри учасників логістичного процесу, що впливають на його ефективність;

- формалізувати змінні і постійні витрати транспортного і складського учасників логістичного процесу;

- формалізувати цільову функцію оптимізації витрат логістичного процесу з урахуванням взаємодії між параметрами його учасників.

Основна частина дослідження.

Об'єктом дослідження даної роботи є логістична система просування тарно-штучних вантажів по пунктах збуту, яка складається з транспортного учасника і мережі складів. Цільова функція даного логістичного процесу має такий вигляд:

$$Z_{лс} = \sum_{i=1}^m Z_{mri} + \sum_{j=1}^n Z_{скл j} \rightarrow \min, \quad (12)$$

де $Z_{лс}$ – загальні витрати логістичного ланцюга за період τ , євро;

Z_{mri} – загальні витрати автомобільного транспорту при розвезенні вантажів по пунктах збуту, за умови повного задоволення попиту на завезення товарів до роздрібної мережі протягом доби i -тим маршрутом за період τ , євро;

m – кількість маршрутів, що обслуговують роздрібну мережу, од.;

$Z_{скл j}$ – загальні витрати на функціонування j -го складу (пункту роздрібної мережі) протягом доби за період τ , євро;

n – кількість пунктів завезення, од.

Загальні витрати автомобільного транспорту при розвезенні вантажів по пунктах збуту визначаються таким чином [7]:

$$Z_{mpi} = \sum_{i=1}^m Z_{зmk} \cdot L_i + \sum_{i=1}^m Z_{посmk} \cdot T_i, \quad (13)$$

де $Z_{зmk}$ – змінні витрати процесу розвезення товарів по пунктах збуту при використанні k -го транспортного засобу на i -му маршруті за період τ , євро/км;

L_i – пробіг транспортного засобу i -м маршрутом за період τ , км;

$Z_{посmi}$ – постійні витрати транспортного процесу розвезення товарів по пунктах збуту при використанні k -го транспортного засобу на i -му маршруті за період τ , євро/год;

T_i – час роботи транспортних засобів на i -му маршруті за період τ , год.

При цьому пробіг транспортного засобу і час роботи його на маршруті залежить від обсягу завезення вантажів до учасників транспортного процесу. Тому справедливими будуть такі твердження:

$$Z_{mpi} = \sum_{i=1}^m (0,113 \cdot q_{nk}^{0,339} + 0,067 \cdot R_{nk}^{-0,092}) L_i(Q_j) + \sum_{i=1}^m (0,0015 q_{nk}^{0,92} + 0,0389 A_k^{-0,095}) T_i(Q_j). \quad (18)$$

Виходячи з (4) можна стверджувати, що величина змінних витрат на утримання складу є функція від величини вантажообігу

$$Z_{зм}^{скл} = f(Q_j), \quad (19)$$

де Q_j – величина вантажообігу на j -му складі, т.

Судячи з (5), можна стверджувати, що чим більша площа складу, тим більша його

$$L_i = f\left(\sum_{j=1}^n Q_j\right), \quad (14)$$

$$T_i = f\left(\sum_{j=1}^n Q_j\right), \quad (15)$$

де Q_j – обсяг завезення вантажу до j -го учасника транспортного процесу, т.

Змінні і постійні витрати процесу розвезення товарів по пунктах збуту на i -му маршруті визначаються з використанням раніше розроблених двофакторних регресійних моделей [23]:

$$Z_{зmk} = 0,113 \cdot q_{nk}^{0,339} + 0,067 \cdot R_{nk}^{-0,092}, \quad (16)$$

де q_{nk} – номінальна вантажопідйомність k -го транспортного засобу, т;

R_{nk} – питома витрата палива k -го транспортного засобу, л/(100 км·т).

$$Z_{посmk} = 0,0015 q_{nk}^{0,92} + 0,0389 A_k^{-0,095}, \quad (17)$$

де A_k – кількість k -х транспортних засобів, од.

Тоді виходячи з формул (13), (16), (17) отримуємо

інфраструктура і тим більші постійні витрати. Тому

$$Z_{посm}^{скл} = f(S_j), \quad (20)$$

де S_j – площа j -го складу, м².

Загальні витрати на функціонування j -го складу протягом доби за період τ , виходячи з формул (4), (5), (19) і (20), розраховуються так:

$$Z_{скл j} = \sum_{j=1}^n Z_{зм j}^{скл} \cdot Q_j + \sum_{j=1}^n Z_{пост j}^{скл} \cdot S_j, \quad (21)$$

де $Z_{зм j}^{скл}$ – змінна складова витрат j -го складу за період τ , євро/т;

$Z_{пост j}^{скл}$ – постійна складова складських витрат j -го складу за період τ , євро/м².

Як було визначено раніше, змінні витрати складу є функцією від вантажообігу на ньому. При цьому, як показали дослідження, величина вантажообігу впливає на такі складові змінних витрат, як

заробітна плата персоналу складу, експлуатаційні витрати навантажувально-розвантажувальної техніки, витрати на матеріали, що забезпечують складський процес, та ін.

Для визначення величини змінних витрат на складі були проведені дослідження, в ході яких було проаналізовано залежність змінних статей витрат для складів з різними вантажообігами (табл. 1).

В результаті було отримано залежність змінних витрат на утримання складу від його вантажообігу (рис. 2).

Таблиця 1

Статті змінних витрат складу

Вантажообіг складу, т	Витрати на оплату праці, євро	Експлуатаційні витрати техніки, євро	Витрати на матеріали, євро	Інші витрати, євро	Всього, євро	Змінні витрати, євро/т
5	933,33	140	84	56	1213,33	9,33
9	1548,15	216,74	154,81	108,37	2028,07	8,67
13	1548,15	201,26	170,30	77,41	1997,11	5,91
...
95	6359,26	890,3	635,93	445,15	8330,63	3,37

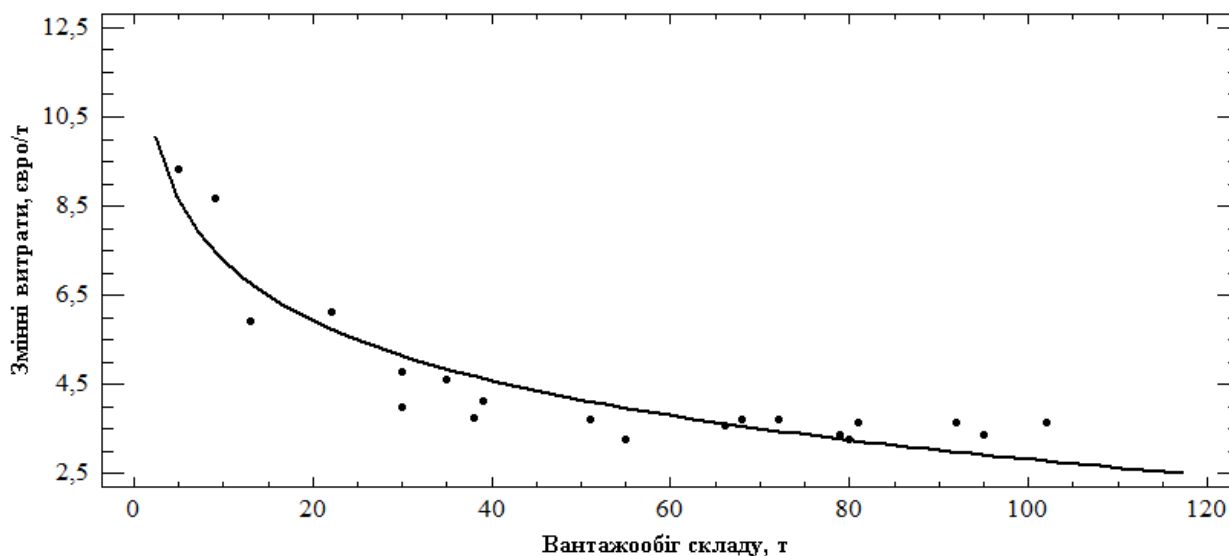


Рис. 2. Залежність змінних витрат на утримання складу від його вантажообігу

Математично цю залежність можна описати з достатньою адекватністю ($R^2=0,864$) такою регресійною моделлю:

$$Z_{змj}^{скл} = 13,165 - 2,131 \cdot \ln Q_j. \quad (22)$$

На наступному етапі було проведено визначення постійних витрат на утримання складського господарства. Для цього було проаналізовано залежність постійних статей витрат від площі складу (табл. 2).

В результаті було отримано залежність постійних витрат на утримання складу від його площі (рис. 3).

Таблиця 2

Статті постійних витрат складу

Площа складу, м ²	Витрати на оренду, євро	Витрати на оплату праці, євро	Витрати на амортизацію, євро	Інші витрати, євро	Всього витрат, євро	Постійні витрати, євро/м ²
110	356,6	33,12	10,82	9,18	409,72	3,72
230	565,7	64,02	30,72	23,04	683,48	2,97
350	756,8	121,75	58,44	43,83	980,82	2,8
...
1200	1215,4	581,56	278,88	209,58	2285,42	1,9

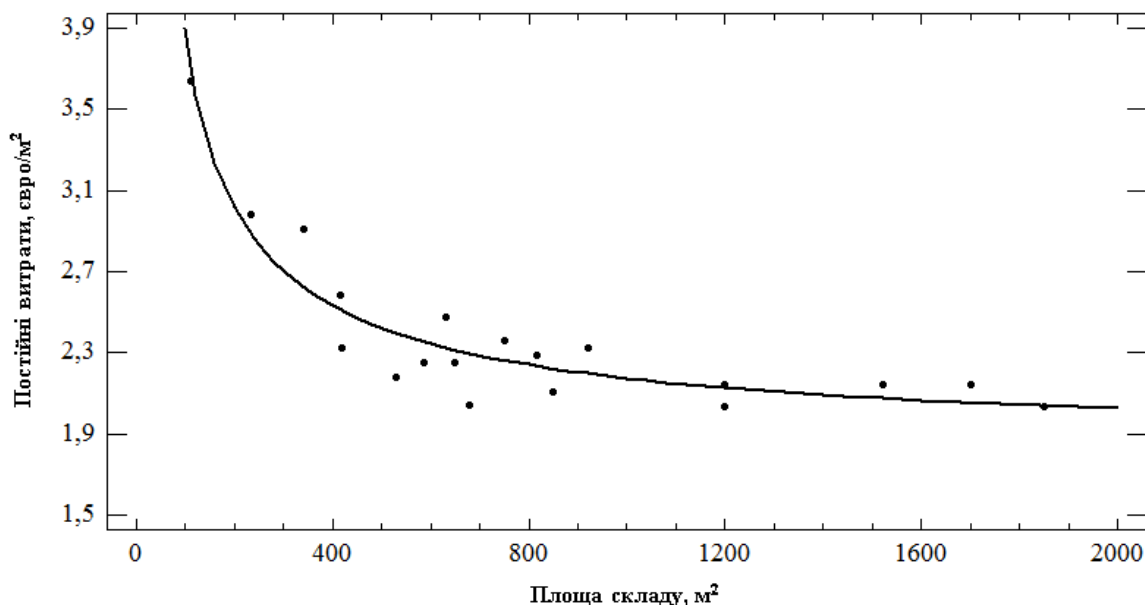


Рис. 3. Залежність постійних витрат на утримання складу від його площі

Математично цю залежність можливо описати з достатньою адекватністю ($R^2=0,824$) такою регресійною моделлю

$$Z_{постj}^{скл} = 1,85 + 93,35 S_j^{-0,839}. \quad (23)$$

Загальні витрати на утримання складського господарства можна подати таким чином:

$$Z_{склj} = \sum_{j=1}^n Q_j \cdot (13,165 - 2,131 \ln Q_j) + \sum_{j=1}^n S_j \cdot (1,85 + 93,35 S_j^{-0,839}). \quad (24)$$

Визначення площі складу здійснюється на підставі величини вантажообігу, що зберігається на складі [5],

$$S_j = \frac{Q_{mj}}{\delta_{cpj} h_j a_j}, \quad (25)$$

де Q_{mj} – максимально можлива величина запасу на j -му складі, т;

δ_{cpj} – середнє навантаження на 1 м² площі j -го складу, т/м²;
 h_j – висота укладки запасу на j -му складі, м;
 a_j – коефіцієнт використання площі j -го складу ($a=0,25-0,8$).

Тоді виходячи з (11) і (16) отримуємо

$$Z_{скл} = \sum_{j=1}^n ((1,85 + 93,35 \cdot (\frac{Q_j \cdot t_{mpj} + k_j \sqrt{L_{uj} G_{sj}^2 + D_{sj}^2 G_{tj}^2}}{\delta_{cpj} h_j a_j})^{-0,839}) \times \frac{Q_j \cdot t_{mpj} + k_j \sqrt{L_{uj} G_{sj}^2 + D_{sj}^2 G_{tj}^2}}{\delta_{cpj} h_j a_j}) + \sum_{j=1}^n Q_j \cdot (13,165 - 2,131 \ln Q_j). \quad (26)$$

Тоді цільова функція оптимізації логістичного процесу матиме вигляд

$$Z_{лс} = \sum_{i=1}^m (0,113 \cdot q_{nk}^{0,339} + 0,067 \cdot R_{nk}^{-0,092}) L_i(Q_j) + \sum_{i=1}^m (0,0015 q_{nk}^{0,92} + 0,0389 A_k^{-0,095}) T_i(Q_j) + \sum_{j=1}^n ((1,85 + 93,35 \cdot (\frac{Q_j \cdot t_{mpj} + k_j \sqrt{L_{uj} G_{sj}^2 + D_{sj}^2 G_{tj}^2}}{\delta_{cpj} h_j a_j})^{-0,839}) \times \frac{Q_j \cdot t_{mpj} + k_j \sqrt{L_{uj} G_{sj}^2 + D_{sj}^2 G_{tj}^2}}{\delta_{cpj} h_j a_j}) + \sum_{j=1}^n Q_j \cdot (13,165 - 2,131 \ln Q_j) \rightarrow \min. \quad (27)$$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. У статті сформовано цільову функцію оптимізації витрат логістичного процесу. Отримана залежність загальних витрат логістичного процесу від параметрів транспортного учасника і складського господарства дозволяє враховувати взаємодію між їх параметрами.

Виявлено, що взаємодія учасників логістичної системи, а саме транспорту і складу, здійснюється через спільний параметр – обсяг перевезення. Визначено залежність змінних витрат на утримання складу, в яку як змінна увійшла величина вантажообігу на ньому. Постійні витрати на утримання складського господарства з достатньою точністю описуються

регресійною моделлю залежності даного параметра від площі складу.

У наступних дослідженнях передбачається виявлення закономірностей

зміни витрат логістичної системи від вантажопідйомності транспортного засобу і обсягу замовлення учасників роздрібною мережі.

Список використаних джерел

1. Mentzer, J. T. An efficiency/effectiveness approach to logistics performance analysis [Text] / J. T. Mentzer, B. P. Konrad // Journal of business logistics. – 1991. – Т. 12. – №. 1. – Р. 33-62.
2. Chow, G. Logistics performance: definition and measurement [Text] / G. Chow, T. D. Heaver, L. E. Henriksson // International journal of physical distribution & logistics management. – 1994. – Т. 24. – №. 1. – Р. 17-28.
3. Крикавський, Є. В. Логістика. Основи теорії [Текст]: підручник / Є. В. Крикавський. – Львів: НУ «Львівська політехніка», «Інтелект-Захід», 2004. – 416 с.
4. Крикавський, Є. В. Логістичні системи [Текст]: навч. посібник / Є. В. Крикавський, Н. В. Чернописька. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2009. – 264 с.
5. Неруш, Ю. М. Логистика [Текст]: учеб. для вузов / Ю. М. Неруш. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 495 с.
6. Левкин, Г. Г. Контроллинг и управление логистическими рисками [Текст] / Г.Г. Левкин, Н. Б. Куршакова. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 142 с.
7. Воркут, А. И. Грузовые автомобильные перевозки [Текст] / А. И. Воркут. – К. : Вища школа, 1986. – 447 с.
8. Berwick, M. Truck costing model for transportation managers [Text] / M. Berwick, M. Farooq. – Mountain-Plains Consortium, 2003. – 61 p.
9. Zegras, C. An analysis of the full costs and impacts of transportation in Santiago de Chile [Text] / C. Zegras, T. Litman. – International Institute for Energy Conservation, 1997. – 173 p.
10. Chen, T. D. The economics of transportation system: a reference for practitioners [Text] / T. D. Chen, K. Larsen, B. Nichols K. Kockelman. – University of Texas at Austin, 2013. – 310 p.
11. Лавриков, И. Н. Экономика автомобильного транспорта [Текст]: учеб. пособие / И.Н. Лавриков, Н. В. Пеньшин; под науч. ред. д-ра экон. наук, проф. И. А. Минакова. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 116 с.
12. Железняк, О. О. Визначення собівартості пасажирсько-транспортного процесу [Текст] / О. О. Железняк, Л. М. Олещенко // Актуальні проблеми економіки. – 2012. – №11. – С. 218-226.
13. The economics of transportation system : a reference for practitioners [Text] / K. Kockelman, T. D. Chen, K. Larsen, B. Nichols. – Austin : University of Texas at Austin, 2014. – 316 p.
14. Левкин, Г. Г. Логистика: теория и практика [Текст] / Г. Г. Левкин. – Ростов н/Д : Феникс, 2009. – 221 с.
15. Аникин, Б. А. Коммерческая логистика [Текст]: учебник / Б.А. Аникин, А.П. Тяпухин. – М. : Проспект, 2015. – 432 с.
16. Калинина, Т. Б. Учет затрат и калькулирование себестоимости на автотранспортных предприятиях [Текст] / Т. Б. Калинина // Бухгалтерский учет, статистика. Экономические науки. – 2013. – № 4. – С.141-144.
17. Крикавський, Є. В. Логістика для економістів [Текст]: підручник / Є.В. Крикавський. – 2-ге вид., випр. і доп. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2014. – 476 с.
18. Миротин, Л. Б. Логистика. Управление в грузовых транспортно-логистических системах [Текст] / Л. Б. Миротин. – М.: Юристъ, 2002. – 414 с.

19. Фасоляк, Н.Д. Управление производственными запасами [Текст] / Н. Д. Фасоляк. – М. : Экономика, 1978. – 271 с.
20. Стерлигова, А. Н. Управление запасами в цепях поставок [Текст]: учебник / А.Н. Стерлигова. – М. : Инфра-М, 2008. – 430 с.
21. Инютина, К. В. Нормирование производственных запасов с применением математико-статистических методов [Текст] / К. В. Инютина. – М.: Статистика. – 1969. – 112 с.
22. Долгов, А. П. Теория запасов и логистический менеджмент: методология системной интеграции и принятия эффективных решений [Текст] / А. П. Долгов. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2004. – 272 с.
23. Куш, Е. И. Определение затрат на перевозку грузов автомобильным транспортом [Текст] / Е. И. Куш, В. С. Скрыпин // Национальная ассоциация ученых: ежемес. науч. журн. – Екатеринбург: НАУ, 2016. – № 3 (13). – Ч. 1. – С. 18–20.

Куш Євген Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: (057) 707-32-61.
E-mail: kush_bush@mail.ru.

Скрипін Василь Сергійович, аспірант кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: (057) 707-32-61. E-mail: skrypinvs@gmail.com.

Kush Yevhen, Ph.D., associate professor of Transport Systems and Logistics department, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. E-mail: kush_bush@mail.ru.

Skrypin Vasyly, PhD student of Transport Systems and Logistics department, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. E-mail: skrypinvs@gmail.com.

Стаття прийнята 28.09.2016 р.

УДК 656.13

ЦІЛЬОВА ФУНКЦІЯ ВИБОРУ ПАСАЖИРОМІСТКОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА МІСЬКИХ МАРШРУТАХ

Д-р техн. наук В. К. Доля, канд. техн. наук Д. П. Понкратов

ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ ВЫБОРА ПАССАЖИРОВМЕСТИМОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ГОРОДСКИХ МАРШРУТАХ

Д-р техн. наук В. К. Доля, канд. техн. наук Д. П. Понкратов

OBJECTIVE FUNCTION OF VEHICLE'S CAPACITY CHOICE FOR PUBLIC TRANSIT ROUTES

Dr. of Technical Sciences V. Dolya, Ph.D. of Technical Sciences D. Ponkratov

Формалізовано цільову функцію вибору пасажиромісткості транспортного засобу на міських маршрутах, що враховує витрати перевізника на здійснення перевізного процесу та інтереси пасажирів. Її використання дає змогу проводити двофакторну оптимізацію. В ролі керованих змінних виступають пасажиромісткість транспортного засобу та коефіцієнт використання пасажиромісткості на найбільш завантаженому перегоні маршруту. Крім цього, можливим є врахування техніко-експлуатаційних показників, що можуть значно відрізнятись на маршрутах міського пасажирського транспорту.

Ключові слова: пасажиромісткість транспортного засобу, пасажиропотік, обсяг перевезень, транспортна стомлюваність, час пересування.

Формализована целевая функция выбора пассажироместимости транспортного средства на городских маршрутах, которая учитывает затраты перевозчика на осуществление перевозочного процесса и интересы пассажиров. Ее использование позволяет проводить двухфакторную оптимизацию. В качестве управляемых переменных выступают пассажироместимость транспортного средства и коэффициент использования пассажироместимости на наиболее загруженном перегоне маршрута. Кроме этого, возможен учет технико-эксплуатационных показателей, которые могут значительно отличаться на маршрутах городского пассажирского транспорта.

Ключевые слова: пассажироместимость транспортного средства, пассажиропоток, объем перевозок, транспортная утомляемость, время передвижения.

The objective function of vehicle's capacity choice for public transit routes, which takes into account the cost of the carrier functioning and passenger's benefits, was formalized. This function allows conducting two-factor optimization. As the controlled variables are the sets vehicle's capacity and passenger's capacity utilization index on heaviest passenger flow site of the route. In addition, it's possible to consider of technical and operational parameters, which can vary significantly on different public routes. Therefore, these indicators, which have an absolute expression, are: the value of the passenger flow on heaviest site of the route, the route length and the speed of service. As the relative indicators can be used turnover ratio, the ratio of unevenness of passenger flow on the route length and the ratio of passenger traffic flow on unevenness of directions.

Keywords: vehicle's capacity, passenger's flow, ridership, transport fatigue, trip time.

Вступ. Вибір пасажиромісткості транспортного засобу для роботи на міських маршрутах є одним з важливих завдань у сфері організації перевезень пасажирів. Пасажиромісткість транспортних засобів, що працюють на маршруті, визначає їх потрібну кількість для освоєння заданого обсягу перевезень, інтервали руху транспортних засобів, а отже, величину експлуатаційних витрат та рівень транспортного обслуговування пасажирів.

Вибір раціональної пасажиромісткості слід враховувати виходячи з інтересів перевізника та пасажирів. Пасажири зацікавлені у скороченні інтервалів руху транспортних засобів і зменшенні заповнення транспортного засобу. При цьому транспортні підприємства зацікавлені у забезпеченні економічних результатів своєї діяльності. За нееластичного попиту на перевезення та визначеної величини маршрутного тарифу

більшої економічної результативності можна досягти скороченням експлуатаційних витрат. Одним зі способів досягнення такого результату, наприклад, є засвоєння заданого пасажиропотоку меншою кількістю транспортних засобів, що суперечить інтересам пасажирів. Таким чином, задачу вибору пасажиромісткості транспортного засобу слід розглядати як оптимізаційну з урахуванням інтересів як пасажирів, так й перевізників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдання вибору пасажиромісткості транспортного засобу цікавить багатьох вчених-транспортників [1-7]. Дослідники одноставні у думці, що вирішення цього завдання слід виконувати з урахуванням інтересів як перевізника, так і пасажирів.

Одним з основних показників, що зумовлює вибір пасажиромісткості, є величина пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту. У

працях [4, 7] наведені рекомендації, що ставлять у відповідність величину пасажиропотоку та певний клас пасажиромісткості транспортних засобів.

У праці [2] увагу зосереджено на тому, що вибір автотранспортного засобу на маршрутах міського пасажирського транспорту слід проводити з урахуванням умов комфортабельності пересування, що можуть бути виражені через рівень транспортної стомлюваності пасажирів. Урахування інтересів перевізника досягається шляхом накладення обмежень щодо показників інвестиційного проекту.

Автори праць [4, 6] виходять з позиції, що поставлену задачу слід розглядати як оптимізаційну. При цьому оптимізацію проводять за пасажиромісткістю та кількістю транспортних засобів.

При визначенні потрібної кількості транспортних засобів певної пасажиромісткості виходять із величини пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту F_{\max} [1, 4-8]:

$$A_{\tau} = \frac{F_{\max} \cdot t_{об}}{q_n \cdot \gamma_c^{\max} \cdot \tau}, \quad (1)$$

де F_{\max} – величина пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту, пас/год;

$t_{об}$ – час оберту транспортного засобу, год;

q_n – пасажиромісткість транспортного засобу, пас.;

γ_c^{\max} – коефіцієнт використання пасажиромісткості транспортного засобу на найбільш завантаженому перегоні маршруту;

τ – тривалість розрахункового періоду (період, за який було визначено F_{\max}), год.

Використання залежності (1) дає змогу визначити потрібну кількість транспортних засобів, що забезпечить засвоєння заданої величини

пасажиропотоку. Вибір значення γ_c^{\max} дає змогу корегувати ступінь заповнення транспортного засобу на найбільш завантаженому перегоні маршруту. Зазвичай виходять $\gamma_c^{\max}=1$, що відповідає повній зайнятості місць для сидіння та ступеню зайнятості вільної площі салону транспортного засобу в розрахунку 5 пас/м² на найбільш завантаженому перегоні маршруту.

Слід зазначити, що немає єдиної точки зору на вибір значення цього показника. За різними джерелами, його рекомендують приймати в діапазоні від 5 до 8 пас/м² на найбільш завантаженому перегоні маршруту [1, 4, 7, 8].

Виникає необхідність у розробці рекомендацій щодо вибору значення цього показника виходячи з техніко-експлуатаційних показників функціонування маршрутів міського пасажирського транспорту.

Метою роботи є формалізація цільової функції вибору пасажиромісткості транспортного засобу на міських маршрутах, що враховує інтереси як перевізника, так й пасажирів, та дасть змогу проводити двофакторну оптимізацію за пасажиромісткістю транспортного засобу та коефіцієнтом її використання на найбільш завантаженому перегоні маршруту.

Основна частина дослідження. Вибір пасажиромісткості транспортного засобу слід виконувати виходячи із інтересів транспортного підприємства (перевізника) та пасажирів. В ролі критерію, що дає змогу врахувати ці обставини, є мінімум витрат суспільства внаслідок перевізного процесу ($C_{сучн}$), що визначається

$$C_{сучн} = C_{пер} + C_{nac} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де $C_{пер}$ – витрати підприємства, що пов'язані із здійсненням перевізного процесу, грн;

C_{nac} – витрати пасажирів у грошовому вимірі, грн.

Витрати перевізника за розрахунковий період τ можуть бути визначені за такою залежністю:

$$C_{пер\tau} = S_{1км}^{q_n} \cdot V_e \cdot \tau \cdot A_\tau, \quad (3)$$

де $S_{1км}^{q_n}$ – витрати перевізника в розрахунку на 1км пробігу транспортного засобу пасажиромісткості q_n , грн/км;

V_e – експлуатаційна швидкість на маршруті, км/год;

A_τ – кількість транспортних засобів, що працюють на маршруті у період часу τ , од.

Значення $S_{1км}^{q_n}$ залежить від пасажиромісткості транспортних засобів за такою залежністю [9]:

$$S_{1км}^{q_n} = 4,06 + 0,094 \cdot q_n. \quad (4)$$

Час оберту транспортного засобу може бути поданий як [5]

$$t_{об} = \frac{l_{об}}{V_e}, \quad (5)$$

де $l_{об}$ – довжина оборотного рейсу, км.

З урахуванням залежності (1), (4) та (5) розрахункова залежність визначення витрат перевізника

$$C_{пер\tau} = \frac{(4,06026 + 0,09357 \cdot q_n) F_{max} \cdot l_{об}}{q_n \cdot \gamma_c^{max}}. \quad (6)$$

Витрати пасажирів можуть бути визначені таким чином:

$$C_{nac} = t_{пер}^\Sigma \cdot C_{zod}^\Sigma + C_\delta^\Sigma, \quad (7)$$

де $t_{пер}^\Sigma$ – сумарні витрати часу пасажирів на здійснення пересування, год;

C_{zod}^Σ – вартісна оцінка витрат часу, грн/год;

C_δ^Σ – сумарне значення зниження доходу пасажирів, що викликане впливом транспортної стомлюваності, грн.

Поділяючи пересування пасажирів за складниками та враховуючи, що обсяг перевезень може відрізнитись за напрямками руху, формула (7) може бути подана таким чином:

$$C_{nac} = Q_\Sigma^\tau \cdot C_{zod} (2 \cdot t_{ниш} + t_{оч} + t_{ноїзд}) + \sum_{i=1}^n Q_i^\tau \cdot C_{\delta i}, \quad (8)$$

де Q_Σ^τ – загальний обсяг перевезень на маршруті за період τ , пас.;

$t_{ниш}$ – середній час пішохідної складової транспортного пересування, год;

$t_{оч}$ – середній час очікування пасажирів на зупинному пункті, год;

$t_{ноїзд}$ – середній час здійснення поїздки, год;

Q_i^τ – обсяг перевезень у i -му напрямку маршруту, пас.

Обсяг перевезень у певному напрямку маршруту (Q) може бути визначений виходячи зі співвідношення між обсягом виконаної транспортної роботи (P) та середньою відстанню перевезень ($l_{сер}$) [4, 5]:

$$Q = \frac{P}{l_{сер}}. \quad (9)$$

Середнє значення пасажиропотоку можна визначити як середньозважену величину за довжиною маршруту [1]

$$F_{сер} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot l_i}{L_m} = \frac{P}{L_m}, \quad (10)$$

де F_i – пасажиропотік на i -му перегоні маршруту, пас/год;

l_i – довжина i -го перегону, км;

n – кількість перегонів на маршруті, од;

L_m – довжина маршруту, км.

Виходячи із залежності (10) обсяг виконаної транспортної роботи може бути визначений як

$$P = L_m \cdot F_{сер}, \quad (11)$$

де $F_{сер}$ – середній пасажиропотік на маршруті, пас/год.

Таким чином, з урахуванням (8) отримуємо

$$Q = \frac{L_m \cdot F_{сер}}{l_{сер}}, \quad (12)$$

а враховуючи, що коефіцієнт змінюваності відповідно до [4, 7] розраховується як

$$\eta_{зм} = \frac{L_m}{l_{сер}}, \quad (13)$$

то отримуємо

$$Q = F_{сер} \cdot \eta_{зм}. \quad (14)$$

Враховуючи, що для маршрутів міського пасажирського транспорту характерною є певна нерівномірність розподілу пасажиропотоку за довжиною маршруту [1]

$$K_{довж} = \frac{F_{max}}{F_{сер}}, \quad (15)$$

середній пасажиропотік у найбільш пасажиронапруженому напрямку маршруту може бути визначений таким чином:

$$F_{сер} = \frac{F_{max}}{K_{довж}}. \quad (16)$$

Виходячи з (14), з урахуванням (16) отримуємо залежність для визначення обсягу перевезень у прямому напрямку маршруту (в ролі прямого приймається більш пасажиронапружений напрямок)

$$Q_{пр} = \frac{F_{max} \cdot \eta_{зм}}{K_{довж}^{пр}}. \quad (17)$$

Загальний обсяг перевезень на маршруті за розрахунковий період τ умовної постійності пасажиропотоку є сумою обсягу перевезень у прямому та зворотному напрямках і буде дорівнювати

$$Q_{\Sigma} = Q_{пр} + Q_{зв}, \quad (18)$$

де $Q_{пр}$, $Q_{зв}$ – відповідно обсяг перевезень у прямому та зворотному напрямках маршруту, пас.

Виходячи з того, що нерівномірність пасажиропотоку за напрямками руху на маршруті може бути охарактеризована відповідним коефіцієнтом [1, 4]

$$K_{напр} = \frac{Q_{пр}}{Q_{зв}}, \quad (19)$$

обсяги перевезень за напрямками руху та на маршруті в цілому можуть бути визначені наступним чином

$$Q_{пр} = Q_{зв} \cdot K_{напр}, \quad Q_{зв} = \frac{Q_{пр}}{K_{напр}} = \frac{F_{max} \cdot \eta_{зм}}{K_{довж}^{пр} \cdot K_{напр}}; \quad (20)$$

$$Q_{\Sigma} = Q_{np} + \frac{Q_{np}}{K_{напр}} = Q_{np} \left(1 + \frac{1}{K_{напр}} \right) = Q_{np} \left(\frac{K_{напр} + 1}{K_{напр}} \right). \quad (21)$$

де Q_{np} , $Q_{зв}$ – відповідно обсяг перевезення у прямому і зворотному напрямках за період часу τ , пас.

Середній час пішого руху розраховується за формулою [1, 5, 7]

$$t_{ниш} = \frac{2 \cdot K_{нп} \cdot K_{вз}}{V_{ниш}} \left(\frac{1}{3 \cdot \delta} + \frac{l_{неп}}{4} \right), \quad (22)$$

де $K_{нп}$ – коефіцієнт непрямолінійності підходу;

$K_{вз}$ – коефіцієнт вибору зупинного пункту;

$V_{ниш}$ – швидкість руху пішохода, км/год;

δ – щільність маршрутної мережі, км/км²;

$l_{неп}$ – середня довжина перегону, км.

Середній час очікування пасажирів може бути визначений [1, 4, 5]

$$t_{оч} = \frac{I}{2}. \quad (23)$$

З урахуванням того, що інтервал руху транспортних засобів визначається [1, 4, 5]

$$I = \frac{t_{об}}{A}, \quad (24)$$

та з врахуванням (1) після перетворень отримуємо

$$t_{оч} = \frac{t_{об}}{2 \cdot A} = \frac{q_n \cdot \gamma_c^{\max} \cdot \tau}{2 \cdot F_{\max}}. \quad (25)$$

Середній час здійснення поїздки [5, 7]

$$t_{поїзд} = \frac{l_{сеп}}{V_c}, \quad (26)$$

де V_c – середня швидкість сполучення на маршруті, км/год.

Враховуючи залежність (13), середній час поїздки пасажирів може бути визначений

$$t_{поїзд} = \frac{L_m}{\eta_{зм} \cdot V_c}. \quad (27)$$

Розвиток транспортної стомлюваності пасажирів залежить від ступеня заповнення салону транспортного засобу при здійсненні поїздки, що може бути охарактеризовано динамічним коефіцієнтом використання пасажиромісткості [5, 10]. Цей показник може бути визначений як відношення фактично виконаної транспортної роботи до її максимально можливого значення [5]

$$\gamma_{\delta} = \frac{P_{факт}}{P_{можл}}, \quad (28)$$

де $P_{факт}$, $P_{можл}$ – відповідно фактично виконаний та можливий обсяг транспортної роботи, пас. км;

Виходячи із залежностей (11) та (16) фактичний обсяг виконаної транспортної роботи може бути подано у такому вигляді:

$$P_{факт} = \frac{L_m \cdot F_{\max}}{K_{довж}}. \quad (29)$$

Можливий обсяг транспортної роботи може бути поданий як

$$P_{можл} = q_n \cdot L_m \cdot N \cdot \tau. \quad (30)$$

де N – інтенсивність (частота) руху транспортних засобів на маршруті, од/год.

Інтенсивність руху транспортних засобів є величиною зворотною до маршрутного інтервалу [4, 5]:

$$N = \frac{1}{I} = \frac{A}{t_{об}}. \quad (31)$$

З урахуванням (1) та (31) формула (30) може бути приведена до такого вигляду:

$$P_{можл} = \frac{L_m \cdot F_{max}}{\gamma_c^{max}}. \quad (32)$$

Підставляючи (29) та (32) до формули (28), після скорочень отримуємо

$$\gamma_{\delta}^{np} = \frac{\gamma_c^{max}}{K_{довж}^{np}}. \quad (33)$$

Для зворотного напрямку фактичний обсяг виконаної транспортної роботи може бути визначений з урахуванням залежності (20) та того, що

$$l_{сер}^{зв} = \frac{L_m}{\eta_{зм}^{зв}}, \quad (34)$$

таким чином,

$$P_{факт}^{зв} = \frac{F_{max} \cdot L_m \cdot \eta_{зм}^{np}}{K_{довж}^{np} \cdot K_{напр} \cdot \eta_{зм}^{зв}}. \quad (35)$$

$$P_{ниж_1} = 0,107 P_{до} (\sqrt{12,694 \cdot t_{ниж} + 1} + 8,318), \quad (38)$$

де $P_{до}$ – значення показника функціонального стану пасажирів перед здійсненням пересування, бал.

Значення $t_{ниж}$ у формулі (38) розраховується за залежністю (22).

Враховуючи, що $P_{можл}$ в прямому та зворотному напрямках мають однакові значення, підставляючи залежності (32) та (35) у формулу (28), після скорочень отримуємо

$$\gamma_{\delta}^{звор} = \frac{\gamma_c^{max} \cdot \eta_{зм}^{np}}{K_{довж}^{np} \cdot K_{напр} \cdot \eta_{зм}^{зв}}. \quad (36)$$

Якщо прийняти, що коефіцієнти змінюваності у прямому та зворотному напрямках маршруту дорівнюють один одному, то залежність (36) може бути подана таким чином:

$$\gamma_{\delta}^{звор} = \frac{\gamma_c^{max}}{K_{довж}^{np} \cdot K_{напр}}. \quad (37)$$

Розрахунок транспортної стомлюваності пасажирів може бути проведений з використанням методики [5, 10], що має бути адаптована до вирішуваного завдання.

Розрахунок транспортної стомлюваності пасажирів виконується послідовно за складниками пересування. Показник функціонального стану пасажирів після здійснення пішохідного підходу від місця відправлення до зупинного пункту може бути розрахований виходячи із залежності [11]:

Значення показника функціонального стану пасажирів після очікування на зупинному пункті може бути встановлено з урахуванням формули (25) за такою залежністю:

$$\begin{aligned}
 P_{оч} = & 0,33 + 0,915 \left(P_{ниу-1} \left(1 - 0,28 \ln \left(\frac{60 \cdot q_n \cdot \gamma_c^{\max}}{2 \cdot F_{\max}} + 1 \right) \right) + 1,12 \ln \left(\frac{60 \cdot q_n \cdot \gamma_c^{\max}}{2 \cdot F_{\max}} + 1 \right) \right) + \\
 & + 0,00107 \frac{60 \cdot q_n \cdot \gamma_c^{\max}}{2 \cdot F_{\max}}.
 \end{aligned} \quad (39)$$

Показник функціонального стану прямому напрямку маршруту може бути пасажира після здійснення поїздки у визначений таким чином:

$$\begin{aligned}
 P_{поїзд}^{np} = & -0,21 + 1,045 \left(P_{оч} \left(1 - 0,14 \left(\frac{k \cdot \gamma_c^{\max}}{K_{довж}^{np}} + 0,6 \right) \ln \frac{60 \cdot L_M}{\eta_{з.м} \cdot V_c} \right) + \right. \\
 & \left. + \frac{k \cdot \gamma_c^{\max}}{K_{довж}^{np}} \left(\frac{k \cdot \gamma_c^{\max}}{K_{довж}^{np}} + 0,6 \right) \ln \frac{60 \cdot L_M}{\eta_{з.м} \cdot V_c} \right),
 \end{aligned} \quad (40)$$

а для зворотного напрямку

$$\begin{aligned}
 P_{поїзд}^{зв} = & -0,21 + 1,045 \left(P_{оч} \left(1 - 0,14 \left(\frac{k \cdot \gamma_c^{\max}}{K_{довж}^{np} \cdot K_{напр}} + 0,6 \right) \ln \frac{60 \cdot L_M}{\eta_{з.м} \cdot V_c} \right) + \right. \\
 & \left. + \frac{k \cdot \gamma_c^{\max}}{K_{довж}^{np} \cdot K_{напр}} \left(\frac{k \cdot \gamma_c^{\max}}{K_{довж}^{np} \cdot K_{напр}} + 0,6 \right) \ln \frac{60 \cdot L_M}{\eta_{з.м} \cdot V_c} \right),
 \end{aligned} \quad (41)$$

де k – коефіцієнт пропорційності.

Показник функціонального стану пасажира після пішохідного руху від

зупинного пункту до місця призначення, тобто наприкінці здійснення пересування, може бути визначений аналогічно до залежності (38) таким чином:

$$P_k = 0,107 P_{поїзд}^{np(зв)} \left(\sqrt{12,694 \cdot t_{ниу} + 1} + 8,318 \right). \quad (42)$$

Значення P_k визначає відсоткове зниження виробітку пасажирів внаслідок впливу транспортної стомлюваності [5, 10]:

$$W_{np(зв)} = \begin{cases} -0,0709 + 0,545(P_k - 3)^2, & \text{при } P_k > P_k^{гран} \\ 0, & \text{при } P_k \leq P_k^{гран} \end{cases}, \quad (43)$$

де $P_k^{гран}$ – граничне значення показника функціонального стану пасажирів, перевищення якого спричиняє зниження виробітку пасажирів, бали.

Зниження доходу середньостатистичного пасажирів на виробництві внаслідок пересування визначається за такою формулою [5,10]:

$$C_{сусп} = \frac{(4,06 + 0,094 \cdot q_n) F_{max} \cdot l_{об}}{q_n \cdot \gamma_c^{max}} + \frac{\eta_{зм} \cdot F_{max} \cdot C_{зод}}{K_{довж}^{np}} \left(\frac{K_{напр} + 1}{K_{напр}} \right) \left(\frac{2 \cdot K_{ни} \cdot K_{вз}}{V_{ни}} \left(\frac{1}{3 \cdot \delta} + \frac{l_{пер}}{4} \right) + \frac{q_n \cdot \gamma_c^{max}}{2 \cdot F_{max}} + \frac{L_m}{\eta_{зм} \cdot V_c} \right) + \frac{\eta_{зм} \cdot F_{max}}{K_{довж}^{np}} \left(\frac{C_{дзв}}{K_{напр}} + C_{дпр} \right) \rightarrow \min. \quad (45)$$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Використання розробленої цільової функції дає змогу проводити двофакторну оптимізацію. В ролі керованих змінних виступають пасажиромісткість транспортного засобу (q_n) та коефіцієнт використання пасажиромісткості транспортного засобу на найбільш завантаженому перегоні маршруту (γ_c^{max}). Крім цього, можливим є врахування техніко-експлуатаційних показників, що можуть значно відрізнятися на маршрутах міського пасажирського транспорту. До них віднесено такі показники, що мають абсолютне вираження:

$$C_{\delta} = \frac{D_m \cdot W_{np(зв)}}{D_{pm} \cdot 100\%}, \quad (44)$$

де D_m – дохід середньостатистичного пасажирів за місяць, грн;

D_{pm} – середня кількість робочих днів у місяці, дн.

Таким чином, у розгорнутому вигляді цільова функція вибору пасажиромісткості транспортного засобу (2) може бути подана у такому вигляді:

- величина пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту (F_{max});

- довжина маршруту (L_m);

- швидкість сполучення (V_c).

В ролі відносних показників можуть бути виділені:

- коефіцієнт змінюваності ($\eta_{зм}$);

- коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоку по довжині маршруту ($K_{довж}$);

- коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоку за напрямками руху ($K_{напр}$).

Напрямок подальших досліджень є встановлення залежності між пасажиромісткістю транспортних засобів та параметрами пасажиропотоків при здійсненні міських перевезень.

Список використаних джерел

1. Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок [Текст]: учеб. пособие для вузов / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин. – М.: Высш. школа, 1980. – 535 с.

2. Вакуленко, К. Є. Вибір автотранспортного засобу на маршрутах міського пасажирського транспорту [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.01 «Транспортні системи» / К. Є. Вакуленко. – Харків, 2009. – 23 с.
3. Jansson J. O. A simple bus line model for optimization of service frequency and bus size // Journal of Transport Economics and Policy. – 1980. – P. 53-80.
4. Спирин, И. В. Перевозка пассажиров городским транспортом [Текст] / И. В. Спирин. – М.: Академкнига, 2004. – 413 с.
5. Доля, В. К. Пасажирські перевезення [Текст]: підручник / В. К. Доля. – Харків: Форт, 2010. – 504 с.
6. Антошвили, М. Е. Оптимизация городских автобусных перевозок [Текст] / М.Е. Антошвили, С. Ю. Либерман, И. В. Спирин. – М.: Транспорт, 1985. – 102 с.
7. Пассажи́рские автомоби́льные перевозки [Текст] / Л. Л. Афанасьев, А. И. Воркут, А.Б. Дьяков [и др.]. – М.: Транспорт, 1986. – 220 с.
8. Давідіч, Ю. О. Розробка розкладу руху транспортних засобів при організації пасажирських перевезень [Текст]: навч. посібник / Ю.О. Давідіч; [Харк. нац. акад. міськ. госп-ва]. – Харків: ХНАМГ, 2010. – 345 с.
9. Понкратов, Д. П. Вибір пасажиромісткості транспортних засобів для роботи на міських маршрутах [Текст] / Д. П. Понкратов, Г. І. Фалецька, А. Т. Піпія // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – Харків: Техніка, 2014. – Вип. 116. – С. 93 – 96.
10. Гюлев, Н. У. Выбор рационального количества автобусов на маршрутах города с учетом влияния человеческого фактора [Текст]: дис... канд. техн. наук : 05.21.01 / Низами Уруджевич Гюлев. – Харьков, 1993. – 174 с.
11. Понкратов, Д. П. Вибір пасажирями шляху пересування у містах [Текст] / Д.П. Понкратов, Г.І. Фалецька. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. – 164 с.

Доля Віктор Костянтинович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: (057) 707-32-61. E-mail: kafedra_tsl@ukr.net.

Понкратов Денис Павлович, канд. техн. наук, доцент кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: (057) 707-32-61. E-mail: dponkratov@mail.ua.

Dolya Victor, DSc, full professor, head of department of Transport Systems and Logistics, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, E-mail: kafedra_tsl@ukr.net.
Ponkratov Denys, Ph.D., associate professor of Transport Systems and Logistics department, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, E-mail: dponkratov@mail.ua.

Стаття прийнята 28.09.2016 р.

УДК 004.89

**СТЕПЕНЬ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОДАЧИ БЕТОННОЙ СМЕСИ
УНИВЕРСАЛЬНЫМ ШЛАНГОВЫМ БЕТОНОНАСОСОМ КАК ФУНКЦИЯ
ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА**

Доктора техн. наук И. А. Емельянова, П. Н. Андренко, асп. Д. О. Чайка

**СТУПІНЬ НЕРІВНОМІРНОСТІ ПОДАЧІ БЕТОННОЇ СУМІШІ УНІВЕРСАЛЬНИМ
ШЛАНГОВИМ БЕТОНОНАСОСОМ ЯК ФУНКЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО
ПРОЦЕСУ**

Доктори техн. наук І. А. Ємельянова, П. М. Андренко, асп. Д. О. Чайка

**THE DEGREE OF NON-UNIFORMITY OF CONCRETE MIX SUPPLY UNIVERSAL
HOSE CONCRETE PUMP AS FUNCTION WORKFLOW SETTINGS**

Doct. of techn. Sciences I. A. Emeljanova, P. N. Andrenko, graduate student D. O. Chayka

Рассматривается конструкция беспоршневого шлангового бетононасоса с позиции подачи им бетонных смесей в трубопровод. Указаны цель и задачи исследований. Предлагается физическая модель движения смеси по шлангу внутри корпуса бетононасоса, на основании которой найдены зависимости для определения мгновенной подачи смеси насосом в трубопровод с учетом имеющей место её возврата, определены зависимости для определения коэффициента неравномерности подачи смеси бетононасосом при гидравлическом и механическом приводах. Показаны преимущественные стороны гидравлического привода, уменьшающие пульсации подачи смеси по трубопроводу на 30 %.

Приведены графические зависимости коэффициента неравномерности подачи от диаметра шланга в бетононасосе, перепада давлений в его рабочей зоне, высоты щели между стенками шланга, сжимаемого роликами бетононасоса, и частоты вращения ротора.

Ключевые слова: универсальный шланговый бетононасос, коэффициент неравномерности, пульсации потока бетонной смеси, перепад давлений, диаметр шланга, высота щели, частота вращения.

Розглядається конструкція безпоршневого шлангового бетононасоса з позиції подачі ним бетонних сумішей в трубопровід. Вказані мета і завдання досліджень. Пропонується фізична модель руху суміші по шлангу всередині корпусу бетононасоса, на підставі якої знайдені залежності для визначення миттєвої подачі суміші насосом в трубопровід з урахуванням такої, що має місце її повернення, визначені залежності для визначення коефіцієнта нерівномірності подачі суміші бетононасосом при гідравлічному і механічному приводах. Показані переважні сторони гідравлічного привода, що зменшують пульсації подачі суміші по трубопроводу на 30 %.

Наведено графічні залежності коефіцієнта нерівномірності подачі від діаметра шланга в бетононаосі, перепаду тиску в його робочій зоні, висоти щілини між стінками шланга, що стискається роликами бетононасоса, і частоти обертання ротора.

Ключові слова: універсальний шланговий бетононасос, коефіцієнт нерівномірності, пульсації потоку бетонної суміші, перепад тисків, діаметр шланга, висота щілини, частота обертання.

We consider the construction of a concrete pump with the not pistons hose feeding position they mix concrete in the pipeline. It specifies the purpose and objectives of research. It is proposed to model the physical motion of the mixture inside the concrete pump hose on the case, on the basis of which are found in the dependence for determining the instantaneous pumping the mixture into the pipeline taking into account existing as its return, defined according to the definition of the coefficient of uneven supply concrete pump with a mixture of hydraulic and mechanical drives. Showing advantageous side hydraulic actuator, reducing pulsations supplying the mixture through conduit at 30 %.

Is a graphical dependence of the non-uniformity of flow from the hose diameter in concrete pump, pressure drop in its operating area, the height of the gap between the wall of the hose, compressed concrete pump rollers and rotor speed.

Keywords: *universal hose concrete pump, non-uniformity coefficient, pulsation flow of the concrete mix, differential pressure, hose diameter, the gap height, speed.*

Вступление. В условиях строительных площадок при возведении зданий и сооружений из монолитного железобетона наравне с двухпоршневыми бетононасосами с гидравлическим приводом успешно могут использоваться беспоршневые шланговые бетононасосы, которые перед поршневыми обладают целым рядом достоинств. Это прежде всего компактность конструкции при упрощенной принципиальной схеме, пониженная металлоемкость и при аналогичной производительности меньше энергозатраты и пульсации подачи бетонной смеси по трубопроводу. Универсальный шланговый бетононасос [1] рассматривается как один из вариантов улучшенной конструкции существующих машин соответствующего назначения [2]. Новизна конструкции новой машины объясняется возможностью её использования для работы шлангов различных диаметров ($d = 32, 50, 75$ мм) и соответственно довольно широким диапазоном производительностей ($P_{\text{техн}} = 5,0 \dots 15$ м³/ч). Однако принцип создания таких бетононасосов позволяет создавать машины и более высокой производительности.

Эффективность работы гидравлического шлангового бетононасоса зависит от условий его эксплуатации и взаимодействия конструктивных параметров машины с технологическими особенностями рабочего процесса.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследование давления подачи бетонных смесей в трубопровод, зависящее от реологических свойств смеси и диаметра трубопровода, представлено в статье [3]. Проблема неравномерности подачи бетонных смесей бетононасосом в трубопровод, которая зависит от параметров рабочего процесса бетононасоса, в данном источнике не рассматривается. Принцип действия и возможности управления перистальтических насосов представлены в статье [4], также в данном материале отмечена проблема пульсаций потока жидкости на выходе насоса. Но в этой работе не рассматривается неравномерность подачи бетонной смеси шланговым бетононасосом. Вопросы пульсации потока жидкости и оптимизация его параметров рассмотрены в работе [5], эти проблемы рассматриваются относительно микронасосов перистальтического действия, как и в выше указанных источниках, материалы статьи не несут в себе проблемы пульсаций потока бетонной смеси, перекачиваемой шланговым бетононасосом. Известны исследования условий работы бетононасоса при использовании эластичных трубопроводов, по которым происходит стабилизация движения бетонных смесей при полном отсутствии в них автоколебательных явлений [6]. С позиции определения степени неравномерности подачи смеси в

трубопроводы проведенных исследований в настоящее время не известно. В связи с этим одной из задач проведения исследований беспоршневого шлангового бетононасоса является определение вышеуказанного показателя, анализирующего работу таких машин.

Определение цели и задачи исследования. Целью проведенных исследований является определение степени неравномерности подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом при использовании механического и гидравлического приводов.

Задачи исследования:

- определение условий подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом;

- определение коэффициента неравномерности подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом;

- определение степени неравномерности подачи бетонной смеси бетононасосом с гидравлическим и механическим приводом;

- анализ графических зависимостей коэффициента неравномерности подачи от параметров рабочего процесса универсального шлангового бетононасоса.

Во время подачи строительной смеси по шлангу принято допущение: под действием центрального ролика верхняя стенка шланга сжимается таким образом, что между стенками шланга образуется щель, высота которой равна $h_{щ}$ при принятой длине $l = \frac{\pi}{2} d_{шл}$, где $d_{шл}$ – диаметр шланга, по которому подается смесь. При этом преодолевается сопротивление, обусловленное жесткостью материала шланга.

Мгновенная подача на выходе из бетононасоса $Q_{нм}$ определяется исходя из его производительности $Q_{бн}$ при условии движения смеси по шлангу во время вращения его ротора и возможного появления при этом обратного движения смеси по шлангу через образующуюся

щель ($S = h_{щ} \frac{\pi}{2} d_{шл}$). При движении смеси по шлангу внутри бетононасоса под воздействием ролика в результате перепада давлений $\Delta p_{щ}$ возникает противоток смеси с подачей $Q_{возвр}$.

Соответственно, согласно принятой физической модели движения смеси по шлангу бетононасоса мгновенная подача на его выходе при пренебрежении сопротивлением по длине шланга может быть определена как

$$Q_{нм} = Q_{бн} - Q_{возвр} \quad (1)$$

Подача смеси бетононасосом, обусловленная её движением по шлангу благодаря вращению ротора, определяется из уравнения

$$Q_{бн} = S_{мш} v_l \quad (2)$$

где $S_{мш}$ – мгновенная площадь шланга бетононасоса; v_l – линейная скорость движения смеси по шлангу, уложенному в корпусе машины соответствующего радиуса R .

При этом линейная скорость определяется как

$$v_l = 2\pi n R \quad (3)$$

где n – частота вращения ротора бетононасоса, мин^{-1} ; R – радиус шланга, уложенного в корпусе бетононасоса.

Мгновенная площадь шланга бетононасоса, определяется как:

$$S_{мш} \approx \frac{\pi d_{шл}^2}{4} \quad (4)$$

Погрешность от принятого допущения не превышает 3%. В таком случае зависимость (2) выглядит следующим образом:

$$Q_{\text{бн}} = 2\pi \frac{\pi d_{\text{шл}}^2}{4} nR^* = \frac{\pi^2 d_{\text{шл}}^2}{2} nR. \quad (5)$$

Возврат смеси через щель в шланге площадью $S_{\text{м щ}}$ в результате перепада давлений $\Delta p_{\text{щ}}$ можно представить как

$$Q_{\text{возвр}} = k_{\text{щ}} h_{\text{щ}} \frac{\pi}{2} d_{\text{шл}} \sqrt{\frac{2}{\rho_0} \Delta p_{\text{щ}}}, \quad (6)$$

где ρ_0 – средняя плотность бетонной смеси; $k_{\text{щ}}$ – коэффициент расхода щели (для шлицевых щелей $k_{\text{щ}} = 0,62$ [7]).

Перепад давлений в области щели, исходя из зоны нагнетания смеси n -ым количеством роликов, определяется как $\Delta p_{\text{щ}} = \frac{\Delta p_{\text{н}}}{z}$, где $\Delta p_{\text{н}}$ – перепад давления в насосе относительно начала всасывания смеси; z – количество траверс с роликами, обеспечивающих нагнетание смеси по шлангу.

Зависимость (6) можно представить как

$$Q_{\text{возвр}} = k_{\text{щ}} h_{\text{щ}} \frac{\pi}{2} d_{\text{шл}} \sqrt{\frac{2\Delta p_{\text{н}}}{z\rho_0}}. \quad (7)$$

Следует отметить, что зависимость (7) правомерно использовать для местных сопротивлений, которые используют ролики, расположенные на больших расстояниях друг от друга. Для местных сопротивлений роликов, расположенных последовательно на небольшом расстоянии друг от друга, что имеет место в предлагаемом нами универсальном бетононасосе, для расчета $Q_{\text{возвр}}$, можно воспользоваться следующей формулой [8]

$$Q_{\text{возвр}} = k_{\text{п д}} h_{\text{щ}} \frac{\pi}{2} d_{\text{шл}} \sqrt{\frac{2}{\rho_0} \Delta p_{\text{н}}}, \quad (8)$$

где $k_{\text{п д}}$ – эквивалентный коэффициент расхода, учитывающий расход смеси при последовательно расположенных роликах, который определяется согласно зависимости

$$k_{\text{эпр}} = k \frac{k_i}{\sqrt{z}}, \quad (9)$$

где k – эмпирический коэффициент, учитывающий потери на трение и взаимное влияние участков в щелевом пространстве, ($k \approx 1,27$); k_i – коэффициент расхода смеси через одну щель, $k_i = k_{\text{щ}} = 0,62$; z – в данном случае – количество траверс с роликами, участвующих в процессе нагнетания смеси.

При этом количество траверс с роликами z , которые рассматриваются со стороны нагнетания смеси, находится в зависимости от конструктивных особенностей ротора насоса. Для данного бетононасоса [1] ($z = 3 \dots 4$).

Неравномерность подачи бетонной смеси предлагаемым бетононасосом определяется коэффициентом неравномерности подачи [9]

$$\delta_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{бн max}}}{Q_{\text{бн ср}}}, \quad (10)$$

где $Q_{\text{бн max}}$ и $Q_{\text{бн ср}}$ – соответственно максимальная и средняя подачи бетонной смеси бетононасосом.

Максимальная подача смеси бетононасосом, с учетом зависимостей, приведенных выше, определяется при максимальном значении количества траверс с роликами, работающими в зоне нагнетания смеси бетононасосом z .

$$Q_{\text{бн max}} = \frac{\pi}{2} d_{\text{шл}} (d_{\text{шл}} \pi n R^* - k_{\text{эпр}} h_{\text{щ}} \sqrt{\frac{2\Delta p_{\text{н}}}{\rho_0}}). \quad (11)$$

Среднее значение подачи смеси бетононасосом определяется при $v = v_{cp}$.

$$Q_{бн\text{ ср}} = \frac{\pi d_{шл}^2}{4} \left(\frac{v_1 + v_2}{2} \right), [6], \quad (12)$$

где v_{cp} – средняя скорость движения бетонной смеси по шлангу.

Средняя скорость движения смеси по шлангу при гидравлическом приводе бетононасоса определяется как

$$v_{cp} = \left(\frac{v_1 + v_2}{2} \right), \quad (13)$$

где v_1 – максимальная окружная скорость вращения ротора, при подаче бетонной смеси по гибкому шлангу; v_2 – минимальная скорость вращения ротора, при подаче бетонной смеси по гибкому шлангу.

$$v_1 = \frac{\tau_{сдв} R_{1шл}}{4\mu} \left(1 - \frac{\tau_0}{\tau_{сдв}} \right),$$

где $R_{1шл}$ – минимальный радиус по торцевой поверхности бокового ролика относительно сжимаемого шланга; τ_0 – предельное напряжение сдвига; $\tau_{сдв}$ – сдвиговое напряжение на внутренней стенке шланга, которое испытывает транспортируемая смесь; μ – динамическая вязкость бетонной смеси.

$$v_2 = \frac{\tau_{сдв} R_{2шл}}{4\mu} \left(1 - \frac{\tau_0}{\tau_{сдв}} \right),$$

где $R_{2шл}$ – максимальный радиус по торцевой поверхности центрального ролика относительно сжимаемого шланга.

В итоге формула (13) может быть представлена в виде

$$v_{cp} = \frac{\tau_{сдв} \left(1 - \frac{\tau_0}{\tau_{сдв}} \right)}{4\mu} (R_{1шл} + R_{2шл}). \quad (14)$$

В конечном итоге коэффициент неравномерности подачи смеси определяется так:

- при гидравлическом приводе

$$\delta_{бнг} = \frac{4(d_{шл} \pi n R^* - k_{эпр} h_{шл} \sqrt{\frac{2\Delta p_{бн}}{\rho_0}})}{d_{шл} (v_1 + v_2)}; \quad (15)$$

- при механическом приводе

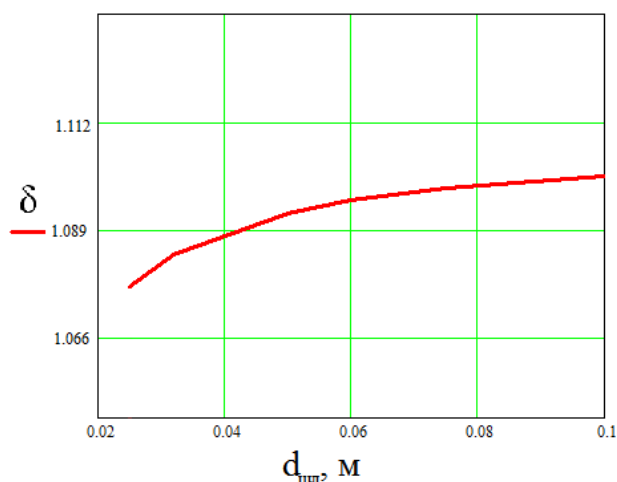
$$\delta_{бнм} = \frac{4(d_{шл} \pi n R^* - k_{эпр} h_{шл} \sqrt{\frac{2\Delta p_{бн}}{\rho_0}})}{d_{шл} v_l}. \quad (16)$$

При принятых конструктивных параметрах спроектированного универсального шлангового бетононасоса: $d_{шл} = 58$ мм; $R = 262$ мм; $n = 45$ мин⁻¹; $h_{шл} = 1$ мм; $\rho_0 = 1800$ кг/м³; $\Delta p_{бн} = 1,5$ МПа, коэффициент неравномерности подачи определяется следующим образом:

$$\delta_{бнг} = \frac{4(0,058 \cdot \pi \cdot 0,262 - 0,787 \cdot 0,001 \sqrt{\frac{2 \cdot 1,5 \cdot 10^6}{1800}})}{0,058(1,348 + 1,46)} = 1,093;$$

$$\delta_{бнм} = \frac{4(0,058 \cdot \pi \cdot 0,262 - 0,455 \cdot 0,001 \sqrt{\frac{2 \cdot 1,5 \cdot 10^6}{1800}})}{0,058 \cdot 1,23} = 1,286.$$

Определение $\delta_{\text{бнг}}$ и $\delta_{\text{бнм}}$ показало, что бетононасос с гидравлическим приводом, по сравнению с механическим, позволяет уменьшить пульсации подачи смеси по трубопроводу на 15 %.



На рис. 1 представлена зависимость показателя степени неравномерности подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом от диаметра шланга в рабочем пространстве бетононасоса.

$$\text{const} \begin{cases} h_{\text{щ}} = 0,0001 \text{ м} \\ \Delta p = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Па} \\ n = 45 \text{ мин}^{-1} \end{cases}$$

Рис. 1. Зависимость коэффициента неравномерности подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом от диаметра шланга, находящегося в корпусе насоса

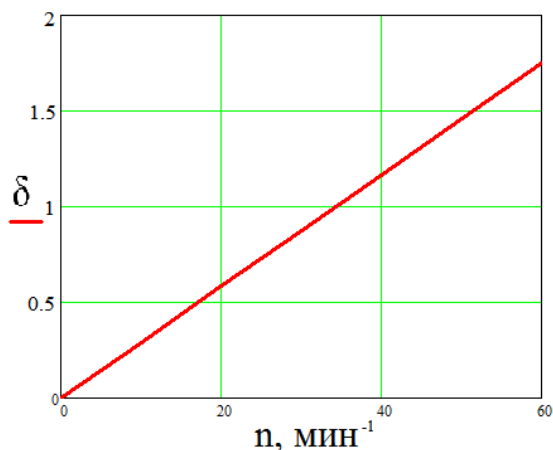
При постоянных параметрах $h_{\text{щ}}$, Δp , n и при изменении диаметра шланга в диапазоне 0,025...0,1 м получена зависимость $\delta = f(d_{\text{шл}})$. Характер кривой на рис. 1 свидетельствует о незначительном росте пульсаций бетонной смеси на выходе из трубопровода с увеличением диаметра шланга в исследуемом диапазоне.

Характер зависимости $\delta = f(n)$ на рис. 2 свидетельствует о прямо пропорциональном росте коэффициента неравномерности с увеличением частоты вращения ротора. Это говорит о том, что при высокой частоте вращения шланг не успевает должным образом заполняться бетонной смесью до момента очередного захвата её новой порции, что приводит к увеличению пульсаций бетонной смеси на выходе из трубопровода.

Анализ зависимости (рис. 3) показывает, что с увеличением перепада

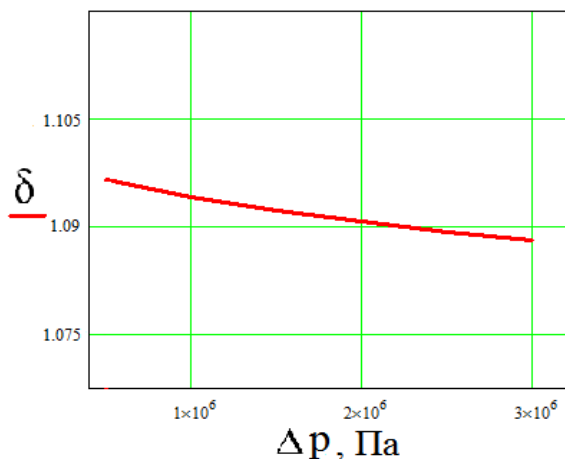
давлений, под которым находится бетонная смесь перед роликом и давлением, под которым происходит начало всасывания бетонной смеси, смесь по шлангу будет двигаться с возрастающей скоростью. Соответственно будет осуществляться более полное заполнение шланга по всему его сечению, что приведет к снижению пульсаций смеси на выходе из трубопровода.

Приняв постоянными параметры n , Δp , $d_{\text{шл}}$ и используя величину высоты щели между стенками пережатого шланга в диапазоне 0,0001...0,00035 м, полученная зависимость $\delta = f(h_{\text{щ}})$ свидетельствует о существенном уменьшении коэффициента неравномерности с увеличением расстояния между стенками сжимаемого роликами насоса шланга (рис. 4).



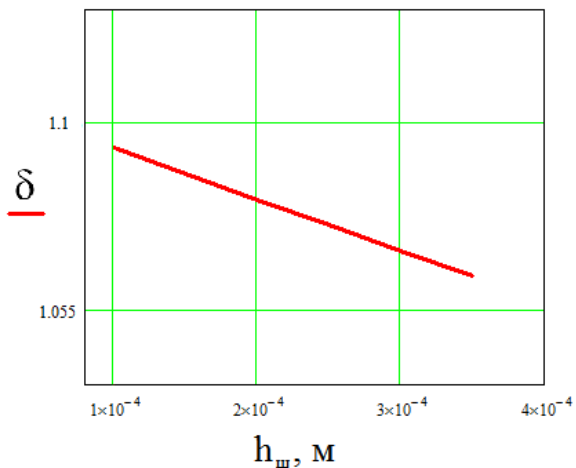
$$\text{const} \begin{cases} h_{\text{щ}} = 0,0001 \text{ м} \\ \Delta p = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Па} \\ d_{\text{шл}} = 0,05 \text{ м} \end{cases}$$

Рис. 2. Зависимость коэффициента неравномерности подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом от частоты вращения ротора бетононасоса



$$\text{const} \begin{cases} h_{\text{щ}} = 0,0001 \text{ м} \\ n = 45 \text{ МИН}^{-1} \\ d_{\text{шл}} = 0,05 \text{ м} \end{cases}$$

Рис. 3. Зависимость коэффициента неравномерности подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом от перепада давлений в его рабочей зоне



$$\text{const} \begin{cases} n = 45 \text{ МИН}^{-1} \\ \Delta p = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Па} \\ d_{\text{шл}} = 0,05 \text{ м} \end{cases}$$

Рис. 4. Зависимость коэффициента неравномерности подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом от высоты щели между стенками сжимаемого роликами бетононасоса шланга

Таким образом, исследования зависимости коэффициента неравномерности δ как функции от $d_{шл}$, n , Δp , $h_{шл}$ показали, что при работе рассматриваемого бетононасоса для обеспечения стабильных условий подачи бетонных смесей такими машинами необходимо соблюдать согласованность между следующими параметрами технологического процесса: подвижностью бетонной смеси, соответствующим перепадом давлений и размерами образовавшейся щели в шланге под сжимающим усилием роликов ротора бетононасоса.

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении:

1. Впервые получены аналитические зависимости для определения подачи бетонной смеси универсальным шланговым

бетононасосом, на основании которых получены формулы.

2. Получена аналитическая зависимость для определения коэффициента неравномерности подачи универсального шлангового бетононасоса.

3. Расчетным путем установлено $\delta_{бнг}$ и $\delta_{бнм}$, их сравнение показывает, что бетононасос с гидравлическим приводом, по сравнению с механическим, позволяет уменьшить пульсации подачи смеси по трубопроводу на 15 %.

4. Приведены графические зависимости коэффициента неравномерности подачи от параметров рабочего процесса универсального шлангового бетононасоса, на основании которых можно определить рациональные конструктивные и рабочие параметры предлагаемого шлангового бетононасоса.

Список использованных источников

1. Універсальний шланговий бетононасос [Текст]: заявка на пат. № а201413692 Україна / Ємельянова І.А. (UA); Задорожний А.О. (UA); Клименко М.В. (UA); Чайка Д.О. (UA); Власник: Харківський національний університет будівництва та архітектури (UA); заявл. 22.12.2014; опубл. 26.09.2016, Бюл. № 18, 2016.

2. Емельянова, И. А. Беспоршневые универсальные бетононасосы нового конструктивного решения с гидравлическим приводом для условий строительной площадки [Текст] / И.А. Емельянова, Д.О. Чайка // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 159. – 125 с.

3. Dimitri Feys, Kamal H., Khayat, Rami Khatib. How do concrete rheology, tribology, flow rate and pipe radius influence pumping pressure?/ Cement and Concrete Composites, Volume 66, February 2016, P. 38–46.

4. József klespitz, levente kovács. Peristaltic pumps – a review on working and control possibilities/ SAMI 2014, IEEE 12th international symposium on applied machine intelligence and informatics, January 23-25, 2014, Herl'any, Slovakia, p. 191–194

5. P. Dhananchezhian, Somashekhar S., Hiremath. Optimization of multiple micro pumps to maximize the flow rate and minimize the flow pulsation/ 1st global colloquium on recent advancements and effectual researches in engineering, science and technology - raerest 2016 on april 22nd & 23rd april 2016, volume 25, p. 1226–1233

6. Меленцов, Н. А. Создание растворобетононасоса с повышенной пропускной способностью клапанных узлов и стабильной подачей бетонных смесей [Текст]: дисс... канд. техн. наук: 05.05.02 / Меленцов Николай Алексеевич. – Харьков, 2014. – 176 с.

7. Данилов, Ю. А. Аппаратура объемных гидроприводов: Рабочие процессы и характеристики [Текст] / Ю.А. Данилов, Ю.Л. Кирилловский, Ю.Г. Колпаков. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.

8. Гамынин, Н. С. Гидравлический привод систем управления [Текст] / Н.С. Гамынин. – М.: Машиностроение, 1972. – 376 с.

9. Кононенко, А. П. Об'ємні гідравлічні машини гідроприводів [Текст] / А.П. Кононенко. – Донецьк: ДВНЗ “ДонНТУ”, 2011. – 292 с.

Смельянова Инга Анатоліївна, д-р техн. наук, професор кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (057) 700-17-84.
E-mail: emeljanova-inga@rambler.ru.

Андренко Павло Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри гідропневмоавтоматики і гідропривода Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". E-mail: andrenko47@mail.ru.

Чайка Денис Олегович, аспірант, кафедра механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва та архітектури. E-mail: d_chayka93@mail.ua.

Emeljanova Inga A. Ph.D., Professor Department of mechanization of construction processes Kharkov National University of Construction and Architecture. Tel. : (057) 700-17-84. E-mail: emeljanova-inga@rambler.ru.

Andrenko Pavlo M. doctor of technical sciences, professor department of hydro-and-pneumatic and hydraulic drive National Technical University "Kharkiv polytechnic institute". E-mail: andrenko47@mail.ru.

Chayka Denys O. graduate student, department of mechanization of construction processes Kharkov National University of Construction and Architecture. E-mail: d_chayka93@mail.ua.

Стаття прийнята 30.09.2016 р.

УДК 621.311

ДОСЛІДЖЕННЯ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ АГРЕГАТИВ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ БЛОЧНО-МОДУЛЬНИХ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

Канд. техн. наук О. Д. Супрун, асист. Ю. О. Семененко

ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АГРЕГАТОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Канд. техн. наук А. Д. Супрун, асист. Ю. А. Семененко

STUDY EMERGENCY OPERATION AGGREGATES OF UNINTERRUPTED NOURISHMENT MODULAR TRACTION SUBSTATIONS

Ph.D., associate professor O. D. Suprun, assist. Y. O. Semenenko

У даному дослідженні вирішено актуальне науково-технічне завдання вдосконалювання резервних джерел живлення блочно-модульних тягових підстанцій, що полягає в забезпеченні необхідних показників якості електричної енергії в аварійних режимах роботи агрегатів безперебійного живлення.

Встановлено, що відомі агрегати безперебійного живлення в ряді режимів, особливо в режимах зникнення напруги мережного вводу, не забезпечують безперебійність електропостачання з підтримкою необхідних показників якості електричної енергії.

Запропоновано методику розрахунку провалів напруги й кидків струму в аварійних режимах роботи агрегатів безперебійного живлення. Результати розрахунків, виконаних з використанням запропонованої методики, дозволили встановити припустимі діапазони

зміни параметрів режиму роботи зовнішньої мережі й припустимих значень збурювань, для обмеження яких запропоновано ряд заходів, серед яких основними є реактування мережного вводу.

Обґрунтованість результатів досліджень підтверджена експериментально за допомогою математичного моделювання.

Ключові слова: коротке замикання, система електропостачання, агрегат безперебійного живлення, електромагнітні перехідні процеси, математична модель, шини гарантованого живлення.

В данном исследовании решено актуальное научно-техническое задание совершенствования резервных источников питания блочно-модульных тяговых подстанций, которое заключается в обеспечении необходимых показателей качества электрической энергии в аварийных режимах работы агрегатов бесперебойного питания.

Установлено, что известные агрегаты бесперебойного питания в ряде режимов, особенно в режимах исчезновения напряжения сетевого ввода, не обеспечивают бесперебойность электроснабжения с поддержкой необходимых показателей качества электрической энергии.

Предложена методика расчета провалов напряжения и бросков тока в аварийных режимах работы агрегатов бесперебойного питания. Результаты расчетов, выполненные с использованием предложенной методики, позволили установить допустимые диапазоны изменения параметров режима работы внешней сети и допустимых значений возмущений; для ограничения предложены ряд мер, среди которых основным является реактирование сетевого ввода.

Обоснованность результатов исследований подтверждена экспериментально с помощью математического моделирования.

Ключевые слова: короткое замыкание, система электроснабжения, агрегат бесперебойного питания, электромагнитные переходные процессы, математическая модель, шины гарантированного питания.

In this study relevant scientific resolved TOR improve standby power block modular traction substations, which is to ensure the required quality parameters of electric power in emergency operation units of uninterruptible power supply.

During the studies found that certain devices, uninterruptible power supply in a number of modes, particularly in the modes of power failure the network input, do not provide uninterrupted power supply to support the required quality parameters of electricity.

In work the method of calculation failures of voltage and the current surge in emergency operation of the uninterruptible power supply units. The results of calculations performed using the proposed techniques have established acceptable ranges changes the profile of the external network and permissible values perturbation to limit which proposed a number of measures, among which are the main reaktivannya AC input.

The validity of research results confirmed experimentally using mathematical modeling.

Keywords: short circuit, power supply system, an uninterrupted power supply unit, electromagnetic transients, mathematical model, guaranteed power supply bus.

Вступ. У процесі вирішення завдань забезпечення необхідних показників якості електричної енергії в аварійних режимах роботи агрегатів безперебійного живлення було встановлено, що введення захисту

роторних кіл не дозволяє вирішити завдання підвищення якості напруги на шинах гарантованого живлення [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Досягнуті в останні роки

успіхи у впровадженні сучасних технічних заходів на електрифікованих залізницях, таких як мікропроцесорні системи керування, при будівництві нових швидкісних ліній перспективним рішенням [4, 5] є установлення на тягових підстанціях агрегатів безперебійного живлення [5-7]. Це дозволяє реалізувати живлення відповідних споживачів власних потреб без переривання синусоїди живлячої напруги.

Визначення мети та задачі досліджень. Завдання з підвищення якості напруги на шини гарантійного живлення може бути вирішено реактуванням мережного вводу, переведенням електричної машини в режим синхронного компенсатора й зміною структури регулятора збудження при роботі електричної машини в режимі двигуна.

Основна частина дослідження. Реактування мережного вводу забезпечує підвищення якості напруги як у статичних, так і динамічних режимах. Схема системи електропостачання, у якій мережний ввід реактований, наведена на рис. 1. Дійсна величина відхилення напруги S_U на шинах гарантованого живлення при живленні від мережного вводу визначається в такий спосіб:

$$S_U = \frac{P_c \cdot r_n + Q_n \cdot X_\Sigma}{U}, \quad (1)$$

де $P_c = P_n + P_m$ – сумарна активна потужність навантаження шин гарантованого живлення P_n і електричної машини;

r_n – активний опір навантаження;

Q_n – реактивна потужність навантаження шин гарантованого живлення;

$X_\Sigma = X_p + X_t + X_n$ – сумарний реактивний опір реактора X_p , силового трансформатора X_t і навантаження X_n .

Легко побачити, що у випадку, коли електрична машина в складі системи АСГЖ перезбуджена й генерує реактивну

потужність $Q_m = Q_n$, величина спадання напруги S_U знижується до величини $\frac{P_c \cdot r_n}{U}$.

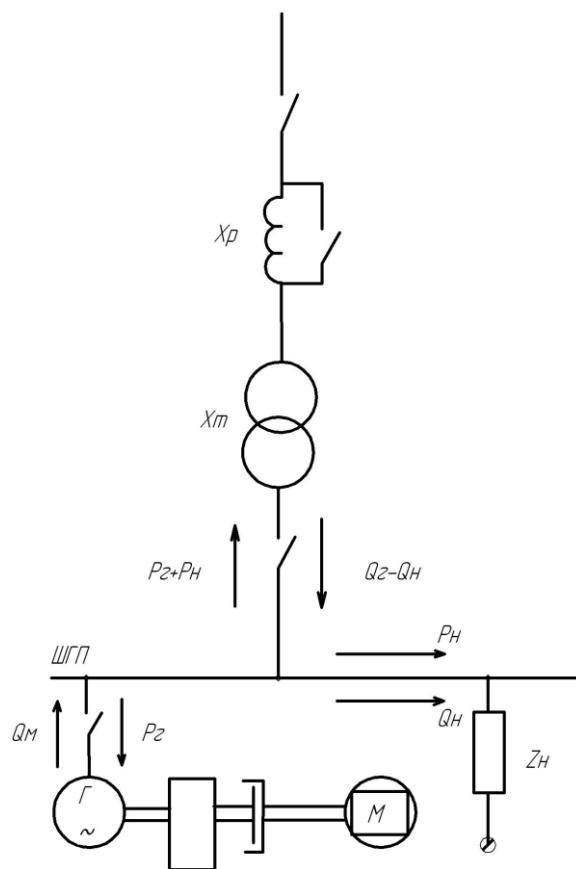


Рис. 1. Схема системи електропостачання

Природно також, що зміни величини реактивного навантаження Q_n у цьому випадку не буде викликати зміни напруги на шинах гарантованого живлення. Окрім того, реактування мережного вводу забезпечить компенсуючий ефект, який є таким: опір реактора зменшує коливання напруги на шинах гарантованого живлення при коливаннях напруги мережного вводу.

Дійсно, за наявності реактора величина відхилень напруги $\Delta U_{ШГЖ}$ на шинах гарантованого живлення визначається в такий спосіб:

$$S_{U_{ШГП}} = \frac{S_{U_c} \cdot \sqrt{X_n^2 + r_n^2}}{\sqrt{(X_n + X_T + X_p)^2 + r_n^2}}, \quad (2)$$

де S_{U_c} – відхилення напруги зовнішньої мережі.

З формули (2) маємо, що реактування мережного вводу підвищує якість напруги на шинах гарантованого живлення. Крім того, введення реактора дозволяє виключити небажаний перехід електричної машини в ємнісний квадрант.

У динамічних режимах роботи електричної машини, особливо в режимах короткого замикання на мережному вводі, введення реактора дозволяє обмежити величину струму короткого замикання, а отже, і знизити величину провалу напруги на шинах гарантованого живлення. При цьому відповідним підбором опору реактора можна забезпечити зниження напруги на шинах гарантованого живлення при короткому замиканні мережного вводу до величини не менше, ніж $0,75 U_{ном}$, припустимої для короткочасної надійної роботи ЕОМ.

Для вибору опору реактора розглянемо характер протікання перехідних процесів електричної машини при короткому замиканні на мережному вводі. При цьому у зв'язку з тим, що величина навантаження шин гарантованого живлення в момент виникнення короткого замикання може бути різною, величину опору реактора будемо вибирати виходячи з того, що навантаження шин гарантованого живлення близько до мінімального, відповідного найнебезпечнішому, а отже, і обраному в якості розрахункового режиму холостого ходу. Для обраного розрахункового режиму, схема якого наведена на рис. 2, використовуючи рівняння [4] та допущення про сталість поточкозчеплень на початковій стадії перехідного процесу, одержимо

$$\begin{aligned} (X_T + X_p) \cdot i_{q_{yкз}} &= -i_{q0} \cdot X_q \\ -(X_T + X_p) \cdot i_{d_{yкз}} &= i_{d0} \cdot X_d + i_{f0} \cdot X_{ad} \end{aligned}, \quad (3)$$

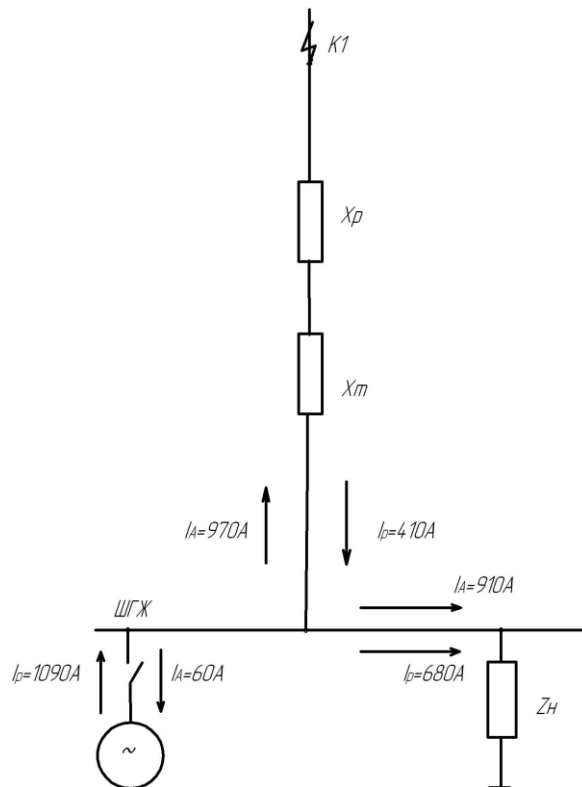


Рис. 2. Розрахункова схема системи електропостачання

З формули (3) випливає, що сталі значення проекцій струму на координатні осі d і q у режимі короткого замикання на мережному вводі буде дорівнювати

$$\begin{aligned} i_{q_{yкз}} &= -i_{q0} \cdot \frac{X_q}{X_T + X_p} \\ i_{d_{yкз}} &= -\frac{i_{dc} X_d + i_{f0} X_{ad}}{X_T + X_p} \end{aligned} \quad (4)$$

Використовуючи отримані співвідношення та векторну діаграму електричної машини для розглянутого режиму (рис. 3), визначимо величину напруги на шинах гарантованого живлення з таких виразів:

$$U \cos \theta = E - I_{\text{дукз}} X_d ;$$

$$\text{tg } \theta = \frac{I_{xq}}{U} = \frac{I_{xq}}{I(X_T + X_p)} = \frac{X_q}{X_T + X_p} ;$$

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \theta}} ; \quad (5)$$

$$I_{\text{дукз}} = I \cos \theta = \frac{U}{X_T + X_p} \cos \theta.$$

Підставляючи рівняння (5) у формулу (1), одержимо

$$U \cos \theta + \frac{U \cdot X_d}{X_T + X_p} \cos \theta = E . \quad (6)$$

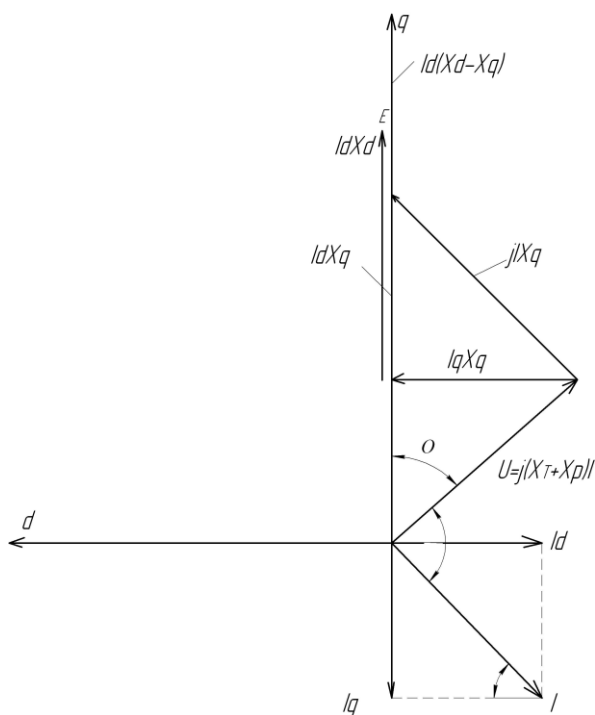


Рис. 3. Векторна діаграма

З формули (6) випливає, що

$$U = \frac{E \cdot (X_T + X_p) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{X_q}{X_T + X_p} \right)^2}}{\sqrt{X_T + X_p + X_d}} . \quad (7)$$

Використовуючи формулу (7), можна побудувати для відомих значень X_T , X_d і X_q і відомого попереднього режиму роботи, а отже, і відомої величини E графічну залежність $U = f(X_p)$. Використовуючи цю залежність і допускаючи максимально можливе зниження напруги до $0,75 U_{\text{ном}}$, легко знайти значення X_p , при якому провал напруги на шинах гарантованого живлення не перевищить $25\% U_{\text{ном}}$. У зв'язку з тим, що знайдений опір реактора визначений у системі відносних одиниць для обчислення опору реактора в омах, необхідно виконати перерахунок за формулою

$$X_p = X_{p_{\text{мин}}} \cdot \frac{S_{\text{номр}}}{S_{\delta}} \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_{\text{номр}}} \right)^2, \quad (8)$$

де $S_{\text{номр}}$, $U_{\text{номр}}$ – номінальна потужність і напруга реактора.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Порівняння результатів розрахунку значень струмів у режимах коротких замикань з результатами експериментальних досліджень процесу короткого замикання (осцилограмами наведені на рис. 4-6) [3] підтверджує обґрунтованість запропонованої методики розрахунку.

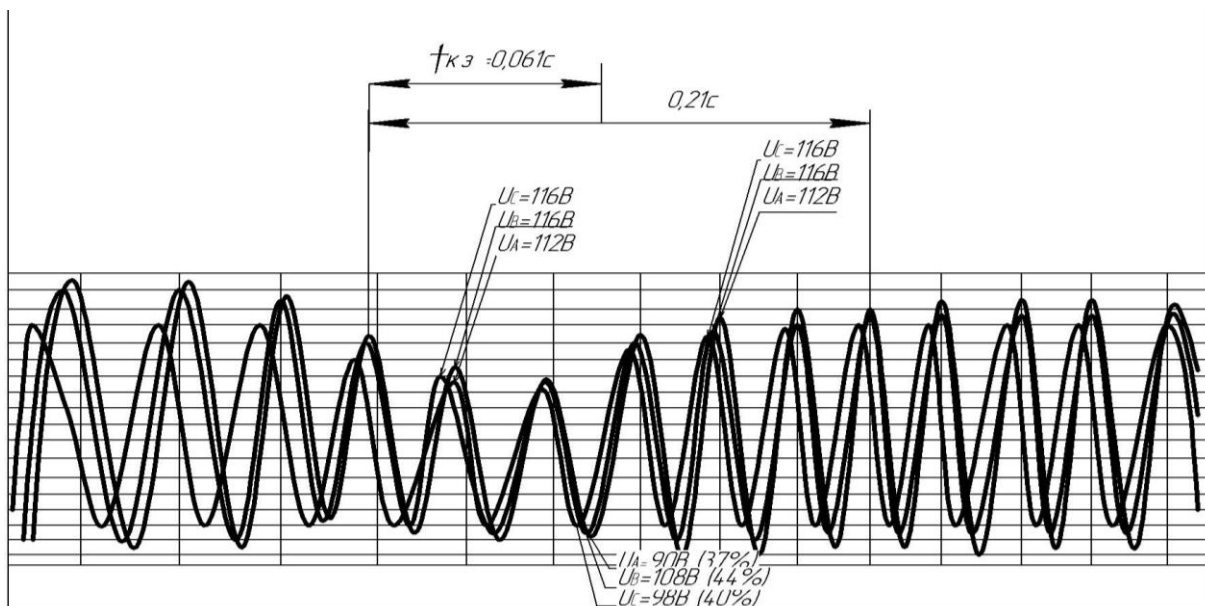


Рис. 4. Трифазне коротке замикання в колі мережного вводу

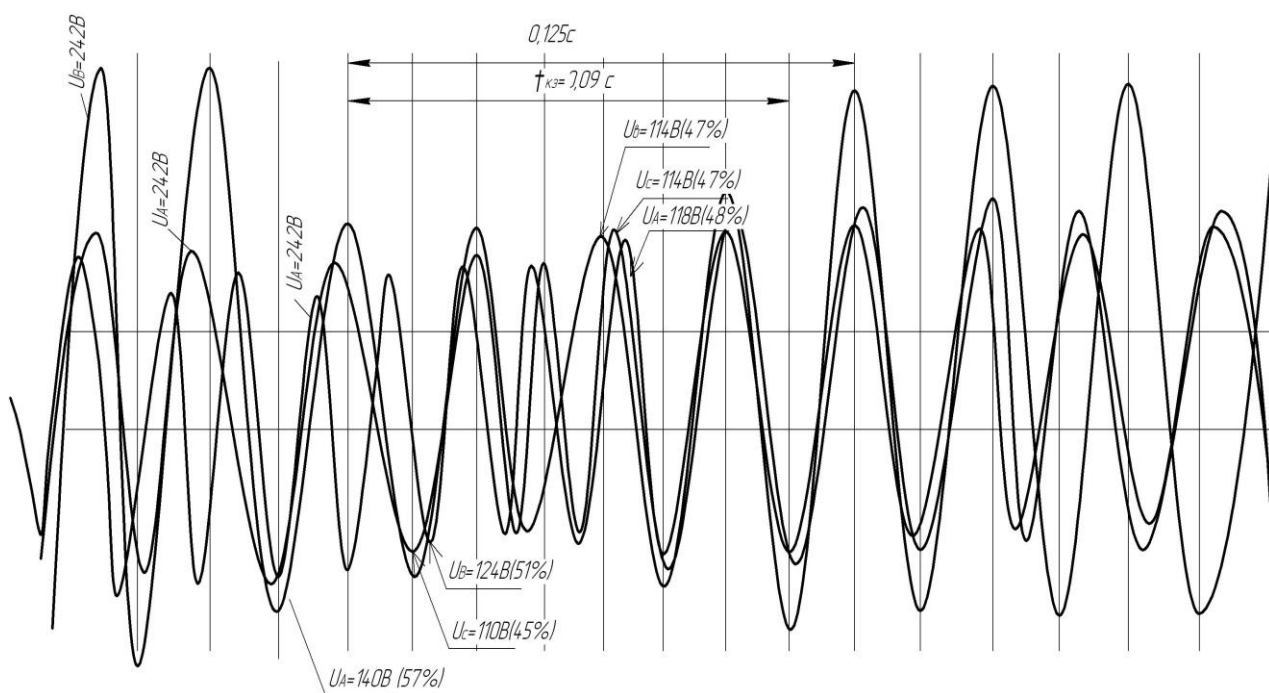


Рис. 5. Трифазне коротке замикання в колі мережного вводу

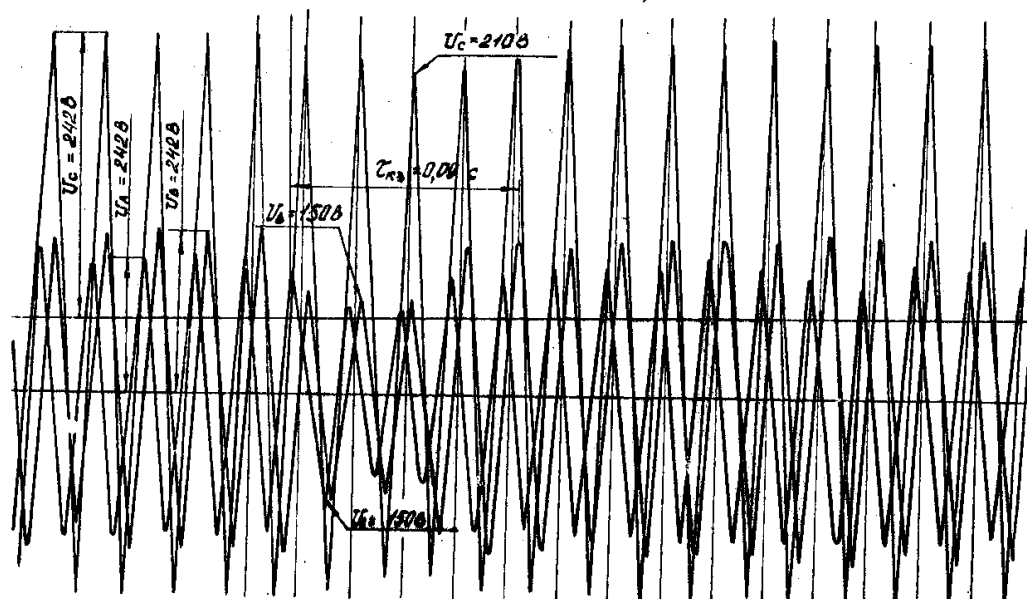


Рис. 6. Двофазне коротке замикання в колі мережного вводу

Список використаних джерел

1. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / К.Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
2. Долдин, В. М. Электроснабжение нетяговых потребителей железнодорожного транспорта [Текст]: учебн. пособие / В.М. Долдин. – М.: ГОУ, 2010. – 304 с.
3. Тер-Оганов, Э. В. Электроснабжение железных дорог [Текст] / Э.В. Тер-Оганов, А.А. Пышкин. – Екатеринбург, 2014. – 512 с.
4. Марикин, А. Н. Новые технологии в сооружении и реконструкции тяговых подстанций [Текст]: учебн. пособие для вузов ж.-д. трансп. / А.Н. Марикин, А.В. Мизинцев. – М: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте» 2008. – 220 с.
5. Kotelnikov, A. World trends in the development of railway electrification [Text] / A. Kotelnikov, A. Glonti // Rail International. - 2001. - August/September. P. 26 – 35.
6. Котельников, А. В. Электрификация железных дорог. Мировые тенденции и перспективы [Текст] / А.В. Котельников. – М.: Интекст, 2002. – 103 с.
7. Бородулин, Б. М. Симметрирование токов и напряжений на действующих тяговых подстанциях переменного тока [Текст] / Б.М. Бородулин // Вестник Всерос. науч. исслед. ин-та ж.-д. трансп. – 2003. – № 92. – С. 17-24.
8. Шалимов, М. Т. Современное состояние и пути совершенствования систем электроснабжения электрических железных дорог [Текст] / М.Т. Шалимов, Г.П. Маслов, Г.С. Магай. – Омск, 2002. – 48 с.

Супрун Олександр Данилович, канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-74. E-mail: slider2012@i.ua.
 Семенов Юрій Олександрович, асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-74. E-mail: slider2012@i.ua.

Suprun Oleksandr Danylovych, Ph.D., associate professor Department of electricity, electrical engineering and electrical engineering, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-74. E-mail: slider2012@i.ua.
 Semenenko Yuriy Oleksandrovych, assistant Department of electricity, electrical engineering and electrical engineering, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-74. E-mail: slider2012@i.ua.

Стаття прийнята 30.09.2016 р.

УДК 629.423:336

**ДО ПИТАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ
СТРУМОПРИЙМАЧІВ ШВИДКІСНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ**

Д-р техн. наук О. С. Крашенінін, В. С. Костенко

**К ВОПРОСУ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
ТОКОПРИЕМНИКОВ СКОРОСТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Д-р техн. наук А. С. Крашенинин, В. С. Костенко

**TO QUESTION OF TECHNICAL OPERATION AND MAINTENANCE
TOKOPRYEMNYKOV SKOROSTNOHO PODVYZHNOHO PROOF**

Dr. Sc. Sciences A. Krashenin, V. S. Kostenko

У даній статті розглядається аналіз статистичного навантаження та динамічних характеристик струмоприймачів рухомого складу. Запропоновано визначити аеродинамічну підйомну силу струмоприймача, відносну зміну натискання на контактний провід, максимальний розмах (подвійну амплітуду) вертикальних пересувань полоза, коефіцієнт відриву струмоприймача. Розглянуто закордонний досвід роботи і взаємодії контактного проводу та струмоприймачів швидкісного транспорту. Запропоновано зменшити приведену масу струмоприймачів, встановити гасники коливань (демпфери) на струмоприймачі та контактну підвіску.

Ключові слова: струмоприймач, контактний провід, натискання, динамічна і статична характеристика.

В данной статье рассматривается анализ статистической нагрузки и динамических характеристик токоприемников подвижного состава. Предложено определить аэродинамическую подъемную силу токоприемника, относительное изменение нажатия на контактный провод, максимальный размах (двойную амплитуду) вертикальных перемещений полоза, коэффициент отрыва токоприемника. Рассмотрены зарубежный опыт работы и взаимодействия контактного провода и токоприемников скоростного транспорта. Предложено уменьшить приведенную массу токоприемников, установить гасители колебаний (демпферы) на токоприемники и контактную подвеску.

Ключевые слова: токоприемник, контактный провод, надавливание, динамическая и статическая характеристика.

This article discusses the analysis of statistical and dynamic characteristics of load current collectors of the rolling stock. It is proposed to determine the aerodynamic lift of the pantograph, the relative change in clicking on the contact wire, the maximum range (double amplitude) of vertical displacement of the runner, the separation factor of the current collector. Considered foreign experience and the interaction of the contact wire and the current collectors of high-speed transport. It is proposed to reduce the reduced weight of the pantographs, set the shock absorbers (dampers) at the pantographs and overhead catenary.

The dynamic component pressing contact should be as small as possible, because it provides not only increase the speed, at which the separation begins.

Increasing the speed of has caused some difficulty in choosing the material contact elements runners, due to sparking and increased contact heating elements because of the length of high currents and friction in contact kovzayuchemu

Keywords: *current, contact wire, pressing, dynamic and static characteristics.*

Вступ. Надійне та економічне струмознімання – найважливіша вимога електрифікованої дільниці. Під цим визначенням слід розуміти надійність контактної мережі і струмоприймачів при їх взаємодії, а також малий знос контактного проводу.

Якість струмознімання визначається двома основними факторами: умовами механічної взаємодії струмоприймача, що рухається, із контактною підвіскою та вибором матеріалів контактної підвіски контактуючих частин. На механіку взаємодії з боку пристроїв контактної мережі впливають переріз, провисання проводу ланцюгової підвіски, відстань між струнами, параметри фіксаторів і таке інше, а з боку електричного рухомого складу – величина статичного натискання, а також приведена маса струмоприймача [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження надійності конструкції, експлуатації, післяремонтного пробігу, безвідмовності роботи проводяться провідними фахівцями: Е. Д. Тартаковським, В. І. Морозом, О. С. Крашенініним, А. Ф. Агуловим, Yong Hyeon Chob, Min-Gu Hanc Seung-Hwan Chang, Michał Głowacz, Artur Rojek Marek Kaniewski та іншими вченими, якими розроблено теоретичні основи побудови, удосконалення конструкції, сезонної експлуатації, питання надійного контакту, динамічні характеристики, новітні матеріали та інші. Питання експлуатації і технічного обслуговування струмоприймачів швидкісного рухомого складу перебувають у процесі дослідження [6, 7].

Основний матеріал статті. Контактне натискання струмоприймача на

контактний провід складається з трьох складових: статичного натискання струмоприймача, інерційної та аеродинамічної підйомних сил.

Статичне натискання створюється підйомними пружинами. На його величину впливають сили тертя у шарнірах головних валів, між трубами верхніх і нижніх рам, а також тертя у верхньому шарнірі верхніх рам, де встановлено пружинні каретки, які підресорюють полози. При русі полоза вниз (при зниженні контактного проводу) статичне натискання через тертя виявляється більшим, ніж при русі вгору. Причому різниця величин статичного натискання дорівнює подвоєній сумі сил тертя.

Враховуючи, що тертя може вплинути на якість струмознімання, статичну характеристику (залежність натискання від висоти полоза) знімають при русі полоза вгору та вниз і зображують двома кривими: крива, що відповідає руху полоза вниз, являє собою пасивне натискання, крива, що відповідає руху полоза вгору, є активне натискання. Сили натискання регулюють, змінюючи натискання підйомних пружин або важелями головних валів струмоприймача (рисунок).

Інерційна сила виникає в місці контакту струмоприймача з проводом і залежить від приведеної маси рухомих частин струмоприймача (полоза, кареток, верхніх рухомих рам) і від вертикального прискорення цієї маси. Її величина пропорційна швидкості руху електрорухомого складу і залежить від характеру зміни еластичності контактної підвіски у прогоні [2, 3, 4].

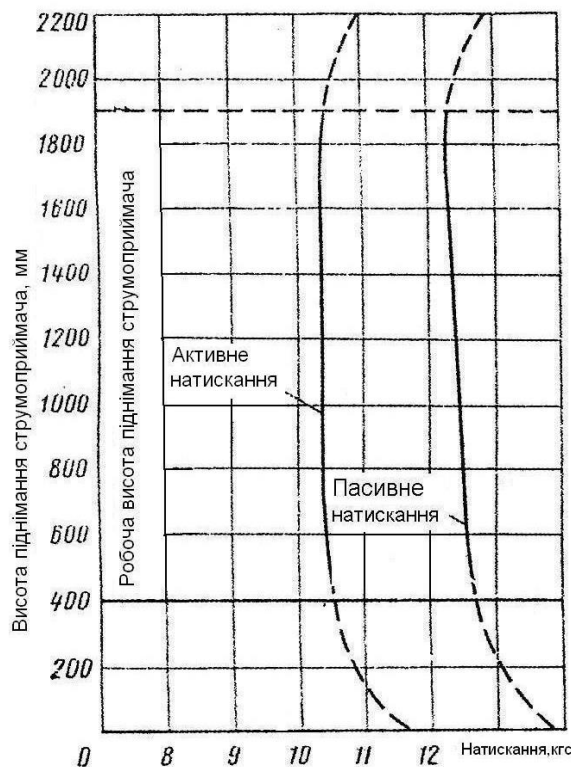


Рис. Статична характеристика струмоприймача

При проведенні дослідів у ЦНДІ МПС в якості струмознімання прийнята відносна зміна натискання струмоприймача n , яка чисельно дорівнює найбільшій із таких величин:

$$n' = \frac{P_{K_{МАКС}} - (P_{СТ} + P_{УМАКС})}{P_{СТ} + P_{УМАКС}}, \quad (1)$$

$$n'' = \frac{P_{K_{МИН}} - (P_{СТ} + P_{УМАКС})}{P_{СТ} + P_{УМАКС}}, \quad (2)$$

У якості другого критерію прийняли коефіцієнт нерівномірності контактного натискання k_n , що являє собою відношення суми максимальних величин контактних натискань, що мають загальну тривалість 50% від часу проходження струмоприймачем прогону, до суми мінімальних величин контактних натискань, що мають таку саму загальну тривалість:

$$k_n = \frac{\sum P_{K_{МАКС}}}{\sum P_{K_{МИН}}}. \quad (3)$$

Для визначення цього коефіцієнта експериментальні графіки зміни контактного натискання у прогонах перестроюють у графіки розподілу натискання.

Третім критерієм якості струмознімання є максимальний розмах (подвійна амплітуда) вертикальних пересувань полоза струмоприймача $2A$ у прогоні:

$$2A = H_{МАКС} - H_{МИН}, \quad (4)$$

де $H_{МАКС}$ та $H_{МИН}$ – відповідно максимальна та мінімальна висота полоза над рівнем головок рейок у прогоні.

Більш стабільному контактному натисканню відповідає менший розмах пересування полоза.

Четвертий критерій – коефіцієнт відриву струмоприймача $k_{\text{від}}$:

$$k_{\text{від}} = \frac{\sum T_{\text{від}}}{T} 100 \% \quad (5)$$

Високі швидкості суттєво впливають на діапазон зміни контактного натискання через квадратичну залежність від швидкості руху як аеродинамічної, так і динамічної її складових.

Дійсно, аеродинамічна підйомна сила струмоприймача буде дорівнювати

$$P_y = kav^2, \quad (6)$$

Якщо вважати траєкторію полоза змінною за синусоїдальним законом ($y = A \sin wt$), то вертикальна швидкість переміщення полозу струмоприймача

$$vm = dy/dt = w A \cos wt, \quad (7)$$

а прискорення

$$wm = \frac{d^2 y}{dt^2} = -w^2 A \sin wt = -w^2 y \quad (8)$$

Залежно від знака прискорення динамічна складова може бути або позитивною, або негативною, тобто викликати збільшення контактного натискання або зменшення його. При певних швидкостях руху ЕРС контактне натискання в моменти негативних динамічних складових може дорівнювати

$$\cos \alpha_0 F_n l_{II} = (F_\eta - P_\eta(t) \cdot S_n) l_{II} \cos(\psi - \alpha_0). \quad (11)$$

Однак дослідження англійських та італійських фахівців, а також останні дослідження, які проводилися у Франції, показали, що це справедливо тільки для умов руху ЕРС зі швидкостями до 170-200 км/год [5]. При більш високих

нулю, тобто контакт між полозом і проводом може порушитися.

Динамічна складова контактного натискання повинна бути якомога меншою, оскільки це забезпечує не тільки збільшення швидкості руху, при якій починаються відриви (оскільки збільшується контактне натискання від'ємних $P_{\text{дин}}$), але і зменшення відтискань контактного проводу та зносу при високих швидкостях (оскільки зменшуються найбільші контактні натискання при додатних $P_{\text{дин}}$).

У якості величин, які можна нормувати відносно контактного натискання, використовуємо середнє значення за період досліджень:

$$M(P) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i, \quad (9)$$

де n – середня кількість вимірювань у масиві значень по випробуваннях струмоприймачів.

Середньоквадратичне відхилення

$$\sigma[P] = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [P_i - M(P)]^2} \quad (10)$$

При цьому середнє значення сили контактного натиску використовується для автоматичного регулювання струмоприймача, а середньоквадратичне відхилення для прийняття заходів для обмеження швидкості струмознімання.

Підйом струмоприймача виконується за умови

швидкостях траєкторія полоза навіть за наявності позитивної стріли провисання проводу в підвісці з непостійною еластичністю не залишається прямолінійною, оскільки точка найбільшого відтискання контактного проводу, що зміщується зі

зростанням швидкості з середини прогону до опори, яка слідує по ходу, віддаляється від середини прогону на значну відстань. У результаті початковий провис контактного проводу не тільки не зменшить розмах вертикальних коливань полоза у прогоні, але й збільшить його, і тривалість порушень контакту зростає. А це означає, що для умов руху зі швидкостями вище 170 км/год контактні підвіски повинні бути обов'язково рівноеластичними, тобто мати $k_{ел} = 1$.

В умовах моторвагонної тяги, коли на контактну підвіску одночасно впливає декілька струмоприймачів поїзда, розташованих на значній відстані один від одного, необхідно вживати заходи, зменшуючи взаємний вплив струмоприймачів, наприклад збільшити

відстань між ними. При цьому слід виключити той варіант, при якому відстань між струмоприймачами несуттєво відрізняється від довжини хвилі вільних коливань контактної підвіски через синфазність збудження амплітуди вертикальних коливань полоза можуть виявитися дуже великими. Слід також зменшити приведену масу струмоприймачів, встановити гасники коливань (демпфери) на струмоприймачі та контактну підвіску, тобто штучно збільшити внутрішнє тертя в коливальній системі струмоприймач – контактна підвіска.

Результати досліджень і зарубіжний досвід дозволяють рекомендувати допустимі для різних умов значення приведеної маси струмоприймача, наведені в таблиці.

Таблиця

Допустимі приведені маси струмоприймачів для різних умов роботи

Струмоприймач	Рід струму	Найбільша швидкість руху, км/год	Найбільша допустима зведена маса за умови контактної підвіски	
			компенсованої	напівкомпенсованої
Швидкісний (до 200 км/год) - електропоїзди - електровози	постійний	200	35	26
		200	37	28
Швидкісний (до 200 км/год)	змінний	200	31	22

Збільшення швидкості руху створює певні труднощі щодо вибору матеріалу контактних елементів полоза, що пояснюється більшим іскрінням (не дивлячись на вжиті заходи зі стабілізації контактного натискання) і збільшенням нагріву контактних елементів через тривалість великих струмів і тертя в ковзному контакті [3, 4, 5, 6, 8, 9].

Висновки з дослідження й перспективи, подальший розвиток в даному напрямі. Під час виконання

досліджень визначено статичну характеристику струмоприймача моторвагонного електричного рухомого складу, опрацьовано критерії оцінювання інерційної сили, досліджено умови роботи струмоприймачів високошвидкісного рухомого складу, проаналізовано умови роботи контактної підвіски та запропоновано деякі заходи щодо її утримання, що дало змогу запропонувати оптимізовану масу та конструкцію пантографів.

Список використаних джерел

1. Аулін, В. В. Механічна взаємодія контактної підвіски і струмоприймачів електрорухомого складу залізниць [Текст] / В.В. Аулін, Д.М. Барановський // Міжнародний науковий журнал "Проблеми трибології (Problems of Tribology)". – Хмельницький, 2005. – №1. – С. 55-58.
2. Берент, В. Я. Перспективы улучшения работы сильноточного скользящего контакта «контактный провод – токосъемный элемент полоза токоприемника [Текст] / В.Я. Берент // Железные дороги мира. – 2002. – № 10.
3. Аулін, В. В. Підвищення надійності контактного проводу [Текст] / В.В. Аулін, Д.М. Барановський // Міжнародний науковий журнал "Проблеми трибології (Problems of Tribology)". – Хмельницький, 2006. – №3. – С. 42-45.
4. Барановський, Д. М. Теоретичні передумови підвищення надійності системи "контактна підвіска – струмоприймач" зменшенням інтенсивності зношування її елементів після лазерного модифікування [Текст] / Д.М. Барановський // Міжнародний науковий журнал "Проблеми трибології (Problems of Tribology)". – Хмельницький, 2007. – №2. – С. 34-38.
5. Vesely G. C. Modelling and experimentation of pantograph dynamic / Massachusetts Institute of technology, 1983. 111 p.
6. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822316306596S-W>. Jeon, Y. H. Cho, M-G. Han, S-H. Chang. Design of carbon/epoxy–aluminum hybrid upper arm of the pantograph of high-speed trains using adhesive bonding technique // Composite Structures. – 2016. – Vol. 152. – P. 538 – 545.
7. M. Głowacz, M. Kaniewski, A. Rojek. Power Supply System Implemented on Polish High Speed Lines and Pantograph-OCL Interaction Quality Assessment Based on Tests Performed on PKP Network // Transportation Research Procedia. 2016 – Vol. 14. – P. 1967 – 1976.
8. Advanced Powder Technology International Journal of Science and Technology of Powder and Particulate Materials. No. 5, Kyoto Bldg., 181 Kitamachi, Karasuma-dori, Rokujo-agaru, Shimogyo-ku, Kyoto 600-8176, Japan.
9. 2016 The Society of Powder Technology Japan. Published by Elsevier B.V. and The Society of Powder Technology Japan. All rights reserved.

Крашенінін Олександр Семенович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-19-99.
Костенко Володимир Сергійович, машиніст електровозу, Локомотивне депо «Харків - Головне». Тел. 066-809-50-58.

Krashenin O.S, Ph.D., professor of maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 057-730-19-99 (21-24).
Vladimir Kostenko machinist of electric locomotive depots "Kharkiv - Home". Tel. 066-809-50-58.

Стаття прийнята 30.09.2016 р.

УДК 625.144.5

АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОБОЧИХ РІДИН ГІДРОПРИВОДІВ КОЛІЙНОЇ ТЕХНІКИ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

Д-р техн. наук С. В. Воронін, асист. І. Ю. Сафонюк,
кандидати техн. наук Д. В. Онопрейчук, В. О. Стефанов, асп. О. О. Суранов

АНАЛИЗ СВОЙСТВ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ГИДРОПРИВОДОВ ПУТЕВОЙ ТЕХНИКИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УКРАИНЫ

Д-р техн. наук С. В. Воронин, асист. И. Ю. Сафонюк,
кандидаты техн. наук Д. В. Онопрейчук, В. О. Стефанов, асп. О. О. Суранов

ANALYSIS OF PROPERTIES ACTUATING FLUID TRACK EQUIPMENT RAILROADS OF UKRAINE

Dr. sc. sciences S.V. Voronin, assist. I.Y.Safonyuk,
cand-tehn. sciences D.V. Onopreychuk, V.O. Stefanov, phd student O.O. Suranov

Наведено результати досліджень поточного стану робочих рідин гідроприводів колійної техніки Південної залізниці України. На основі проведених досліджень виконано аналіз характеру та інтенсивності їх забруднення, а також визначений вплив наявних забруднень на трибологічні властивості рідин. Встановлено, що головними забруднювачами рідин є механічні домішки та диспергована вода, причому концентрація води в деяких випадках перевищує допустимі значення, що призводить до погіршення трибологічних властивостей. Отримані дані дозволили обґрунтувати шляхи забезпечення промислової чистоти робочих рідин колійної техніки.

Ключові слова: знос, реальний стан оливи, забруднення оливи водою, робоча рідина, окиснення.

Приведены результаты исследований текущего состояния рабочих жидкостей гидроприводов путевой техники ЮЖД Украины. На основании проведенных исследований выполнен анализ характера и интенсивности их загрязнения, а также определено влияние имеющихся загрязнений на трибологические свойства жидкостей. Установлено, что главными загрязнителями жидкостей являются механические примеси и диспергированная вода, причем концентрация воды в некоторых случаях превышает допустимые значения, что приводит к ухудшению трибологических свойств. Полученные данные позволили обосновать пути обеспечения промышленной чистоты рабочих жидкостей путевой техники.

Ключевые слова: износ, реальное состояние масла, загрязнение масла водой, рабочая жидкость, окисление.

The methodology of creating energy efficient means of clearing hydraulic working fluids of travel technique, needed laboratory analysis of the current status of these fluids. The article presents the results of physicochemical and tribological properties of liquids ТП-22 and И-20. They were selected from hydraulic machines ПМГ and МПТ-4 of the Southern Railway of Ukraine. The analysis was carried out on the basis of industrial research lab in the Ukrainian State University of Railway Transport. Physical and chemical properties defined in terms of water content, solids content, viscosity kinematic, acid number and freezing temperature. Tribological properties

determined in terms of diameter spots of wear and critical load in accordance with ГОСТ 9490-75. The results of the analysis was conducted comparing obtained indicators with their limits, regulated instructions on the use of lubricants on rolling stock, which operate at UZ.

Found that the working fluid technology track contains a significant amount (0,8-0,9%) of fine water. Was conducted the analysis of the negative effects of such water in oil and metal surfaces. Such water is not retained in treatment systems. That's why was proposed the method of filtration system modernization.

Keywords: *demolition, the real state of oil pollution oil water working fluid oxidation.*

Вступ. Стан економіки України нерозривно пов'язаний із розвитком засобів виробництва товарів, засобів транспорту і засобів вантажно-розвантажувальних робіт. Зараз діє Закон України «Транспортна стратегія України до 2020 р.». Саме тому спостерігаємо постійне оновлення та модернізацію техніки.

Правилом останніх п'ятдесяти років став напрям заміни механічного та електричного привода на гідравлічний. Це зумовлено тим, що гідравлічний привод має ряд суттєвих переваг: простота управління, мала маса та габарити, високий ККД і високий рівень ремонтпридатності [1]. При модернізаціях устаткування намагаються максимально збільшити частку гідравлічного привода, оскільки це дає максимальний економічний ефект [2].

Однак застосування гідравлічного привода не позбавлено проблем. У першу чергу це якість робочого тіла – робочої рідини (РР). РР має відповідати ряду стандартизованих вимог: в'язкість, індекс в'язкості, кислотне число, чистота і наявність домішок, трибологічні характеристики та ін. [3]. Як правило, у якості РР в гідроприводі застосовують мінеральні оливи на нафтовій основі.

Досвід експлуатації гідроприводів, у тому числі й колійної техніки, показує, що основними причинами відмов гідроприводів є передчасна забрудненість РР домішками різної природи. Найбільша частка цих домішок являє собою тверді неметалічні частинки, продукти зношування, воду та повітря, а їх концентрація добігає до граничних значень швидше, ніж показники фізико-хімічних

властивостей РР. Таке явище призвело до впровадження в гідравлічні системи елементів очищення РР, а також уведення в окремі рідини антипінних присадок. Незважаючи на досить досконалу техніку очищення РР від механічних домішок і повітря, питання видалення води є недостатньо вирішеним, особливо коли в РР накопичується диспергована вода, яка не може виділитись у баку. Для вирішення вказаної проблеми сьогодні застосовуються різні методи обробки мінеральних олив, однак вони або є енергоємними, або мають малу продуктивність, що обмежує перспективи їх застосування в якості бортових засобів очищення РР в гідравлічних системах колійної техніки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Процес виготовлення мінеральної оливи полягає у відборі певної фракції вуглеводнів із нафти. При цьому з відібраної фази видаляють всі домішки, у тому числі і природні полярно активні речовини. Потім залежно від призначення мінеральної оливи в неї, як правило, додають поверхнево-активні речовини (присадки). Таким чином досягається підвищення протизносних властивостей оливи [4].

Однак у процесі технічної експлуатації оливи до її складу неминуче потрапляють тверді, рідкі та газоподібні домішки. Поява таких домішок призводить до погіршення властивостей оливи. Аналіз швидкості зносу залежно від забрудненості розглянуто в роботі [5], у якій доведено, що швидкість зносу нелінійно зростає залежно від класу чистоти оливи.

Методи боротьби з механічними домішками досягли оптимального рівня розвитку та повністю задовольняють вимоги щодо забезпечення чистоти РР. Але боротьбою з рідкими забруднювачами (водою) часто нехтують, притому що вода призводить до ряду негативних наслідків: водневий знос металічних поверхонь, підвищення агресивності водорозчинних кислот, підвищення здатності оливи до кавітації та експоненціальне пришвидшення старіння оливи [6–8].

Вода в оливі може знаходитись у вільному стані, розчиненому (знаходиться у колоїдному стані за рахунок полярних зв'язків) та емульсованому (желеподібний стан) [9–11]. Залежно від зовнішніх умов вона може частково переходити з одного стану в інший. Гігроскопічність олив залежить від температури, тиску та наявності поверхнево-активних речовин [12, 13].

Такі процеси ведуть до того, що оливи можуть викликати корозію металічних поверхонь за наявності в них кислот (найбільш небезпечні – низькомолекулярні кислоти), води, солей, а також присадок, агресивних по відношенню до деяких присадок [14].

На практиці мащення машин розрізняють корозію чорних і кольорових металів і сплавів. Ці види корозії зазвичай викликаються різними причинами [7]. Корозія чорних металів, як правило, виникає при потраплянні в оливу і на поверхні тертя води. Особливо часто це виникає при конденсації водяної пари. Корозія кольорових металів і сплавів переважно спричиняється дією органічних кислот, що утворюються в оливі в результаті її окиснення, а також деяких присадок, що вводяться в оливу для покращення, наприклад, антизадирних або інших експлуатаційних властивостей. Також корозію викликають неорганічні кислоти.

Вода, що потрапляє в оливу, стимулює корозійну агресивність кислот,

що в ній містяться (особливо низькомолекулярних), по відношенню до деталей із кольорових металів і сплавів, але сама по собі не є настільки активним корозійним фактором, як по відношенню до чорних металів.

Окрім окиснення металічних поверхонь тертя, відбувається також і окиснення самої оливи. Це є результатом контакту оливи з киснем, який потрапляє до оливи з повітря або в результаті дисоціації води. У процесі окиснення оливи змінюються фізико-хімічні властивості оливи [15], що призводить до погіршення експлуатаційних властивостей. Також змінюється і колір оливи, на чому базується фотометричний метод аналізу якості оливи [16].

Швидкість окиснення, а також характер новоутворених продуктів залежить від природи оливи, температури, тиску, величини поверхні контакту з повітрям, наявності сполук, які здатні сповільнювати або прискорювати процес, часу та ін. Найбільшу стійкість проти окиснення мають ароматичні вуглеводні, проміжне положення займають нафтеніві і найбільш схильні до окиснення – парафінові вуглеводні. Найбільш достовірною теорією окиснення є перекисна теорія, сформульована в 1896-1897 рр. одночасно та незалежно один від одного А. Н. Бахом та К. Енглером [7].

Важливим фактором окиснення олив є каталітична дія металів, з якими контактує олива. Надзвичайно активним каталізатором окиснення є свинець, меншою мірою залізо та інші метали та їх окисні. Алюміній практично не прискорює окиснення. Процес швидко прогресує при підвищенні температури.

Зміни в хімічному складі оливи в результаті окиснення можуть чинити і деяку позитивну дію. Кислоти та смоли, що виникають у них, є полярними сполуками, які покращують мастильні властивості оливи. Однак це покращення, зазвичай, незначне та носить випадковий характер,

внаслідок чого не може компенсуватись погіршення інших властивостей оливи, пов'язаних зі зміною її хімічного складу та зменшенням її строку служби [4].

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є встановлення реального стану якості РР гідроприводів колійних машин. Це дасть змогу встановити основні причини підвищеного зносу та поломок елементів гідропривода.

Для досягнення даної мети були поставлені такі завдання:

- провести випробування фізико-хімічних властивостей відібраних оливи;
- провести трибологічні випробування відібраних оливи;
- встановити причини підвищеного зносу елементів гідропривода.

Проведення експериментальних досліджень фізико-хімічних властивостей оливи

1. Досліджувані матеріали, обладнання та методика проведення дослідження. У період з вересня 2015 р. по жовтень 2015 р. співробітниками кафедри БКВРМ Українського державного університету залізничного транспорту

(УкрДУЗТ, Україна, м. Харків) разом зі співробітниками Харківської дистанції колії Південної залізниці ПЧ-3 був проведений відбір проб гідравлічних оливи різних колійних машин і аналіз вмісту води в цих оливах. Базою проведення таких досліджень була галузева науково-дослідна хімотологічна лабораторія (ГНДХЛ) при УкрДУЗТ.

Досліджувались такі проби: № 1 – олива ТП-22 із машини ПМГ із дна бака, напрацювання 6 місяців; № 2 – олива ТП-22 із машини ПМГ із гідроциліндра, напрацювання 6 місяців; № 3 – олива И-20 із машини МПТ-4 із гідромурфи, напрацювання 17 місяців.

У рамках визначення фізико-хімічних властивостей було проведено вимірювання кінематичної в'язкості при 40°C за ДСТУ ГОСТ 33-2003 та кислотного числа за ГОСТ 5985-79. Вимірювання об'ємної концентрації води проводились за ГОСТ 2477-65.

2. Результати досліджень фізико-хімічних і трибологічних властивостей оливи. Результати вимірювань фізико-хімічних властивостей зведено до табл. 1.

Таблиця 1

В'язкість і кислотне число відібраних показників

Проба оливи	Кінематична в'язкість при T=40°C, мм ² /с	Бракувальні показники в'язкості, %	Кислотне число, мг КОН/г	Бракувальні показники кислотного числа, мг КОН/г
№ 1 – олива ТП-22 із машини ПМГ із дна бака, напрацювання 6 місяців	33,5	±15	0,05	0,25
№ 2 – олива ТП-22 із машини ПМГ із гідроциліндра, напрацювання 6 місяців	34,0	±15	0,05	0,25
№ 3 – олива И-20 із машини МПТ-4 із гідромурфи, напрацювання 17 місяців	32,5	±15	0,03	0,25
Показники оливи ТП-22 за ГОСТ 9972-74	28,8-35,2	±0	не більше 0,03	>0,03
Показники оливи И-20 за ГОСТ 20799-88	29-35	±0	не більше 0,03	>0,03

Отже фізико-хімічні властивості досліджуваних олив знаходяться в допустимих межах. Також, оскільки в'язкість і кислотність сильно не змінилися, можна сказати, що структура оливи знаходиться в первинному стані.

Результати досліджень вмісту води за об'ємним методом зведено до табл. 2 та рис. 1. Відомо, що для олив гідропривода граничне значення вмісту води складає 0,5 % [7]. Для гідропередач допускається наявність слідів води. Олива ТП-22 містить присадки, які покращують антиокиснювальні, деемульгуючі та антикорозійні властивості, але вона є нетиповою для гідроприводів більшості машин.

Слід зазначити, що відібрані проби відстоювались у лабораторних умовах протягом двох тижнів. Проби № 1 та № 2 зберегли характерний мутно-білий колір. Це свідчить про те, що вода в оливі знаходиться в дрібнодисперсному стані. При мікрофотографічному аналізі дисперсності було встановлено, що розміри крапель води становлять 2-5 мкм. Такі краплі у в'язкому середовищі під дією гравітаційних сил практично не відстоюються. Тому для видалення дрібнодисперсної води необхідно користуватись силами іншої природи, наприклад, силами електричних полів.

Таблиця 2

Результати досліджень вмісту води

Проба	Олива	Машина	Гідроагрегат	Вміст води в оливі, %
1	ТП-22	ПМГ	бак	0,8 – 0,9
2	ТП-22	ПМГ	гідроциліндр	0,4 – 0,5
3	И-20	МПТ-4	гідромуфта	0,02 – 0,03

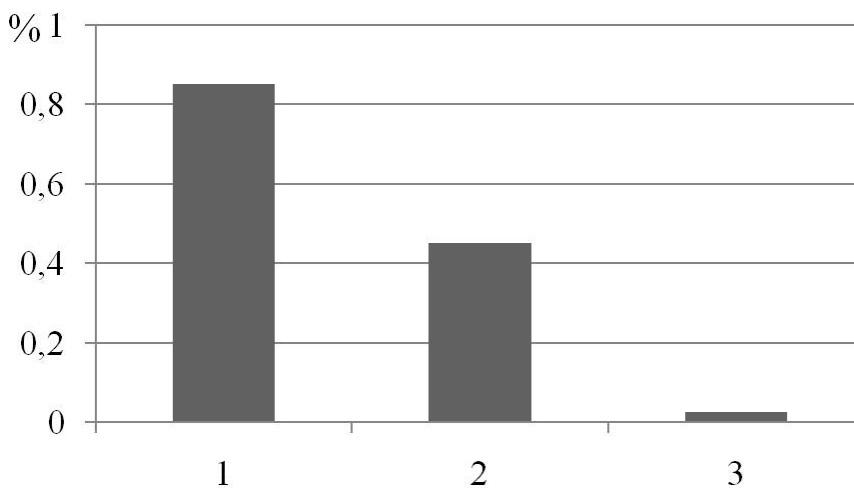


Рис. 1. Вміст води у пробах

Тобто можна стверджувати, що олива ТП-22 містить понаднормову кількість води. Частина цієї води добре емульсована, а решта – знаходиться у вигляді крупних осаджених крапель або у вигляді вільної води на дні бака.

Результати вимірювань вмісту механічних домішок зведені до табл. 3 та рис. 2. У гідроприводі дозволяється використовувати РР із класом чистоти не вище 14-го, тобто з масовою часткою механічних домішок не більше 0,008 %.

Результати досліджень вмісту механічних домішок

Проба	Олива	Машина	Гідроагрегат	Вміст механічних домішок, %, за ГОСТ 6370-83	Клас чистоти за ГОСТ 17216-2001
1	ТП-22	ПМГ	бак	0,001	11
2	ТП-22	ПМГ	гідроциліндр	0,031	16
3	И-20	МПТ-4	гідромуфта	0,001	11

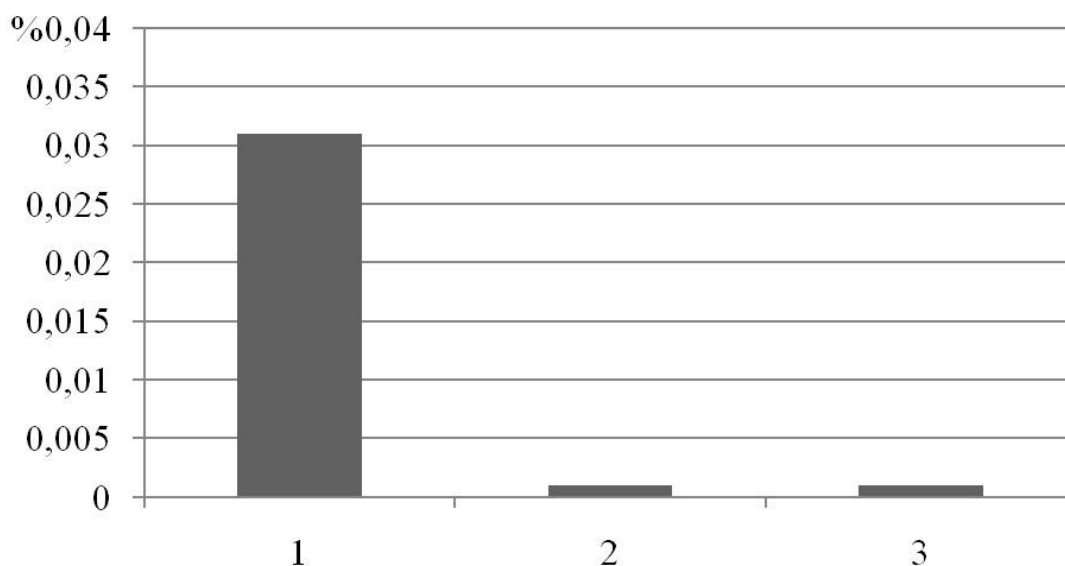


Рис. 2. Вміст механічних домішок у пробах

Понаднормова кількість механічних домішок у РР в гідроциліндрі та досить низька кількість механічних домішок у баку свідчать про те, що такі домішки досить швидко відстоюються. При активній роботі машини струмені оливи в баку зависають механічні домішки і таким чином вони потрапляють до робочих органів гідравлічної системи.

Мікроскопічний аналіз показав, що переважна більшість таких домішок має неметалічну природу абразивного характеру (пісок) з розміром частинок до 100 мкм. Це свідчить про те, що відбулось суттєве засмічення РР, а фільтри гідравлічної системи працюють незадовільно.

Трибологічні властивості зазвичай визначаються або за допомогою машини

тертя СМТ-2 із парою тертя колодка-ролик, або за допомогою чотирикулькової машини тертя ЧКМ. З метою виключення дії гідродинаміки та впливу матеріалів пар тертя було вирішено проводити випробування на ЧКМ. Випробування проводились за ГОСТ 9490-75.

Найбільш наглядним показником трибологічних характеристик є показник зносу. Результати вимірювань зведені до табл. 4 та рис. 3. Оскільки дія механічних домішок була цілком виключена шляхом фільтрування, можна стверджувати, що припущення, висловлене в роботі [6] (тривалий вплив води на оливу погіршує її трибологічні характеристики пропорційно її концентрації), є правильним.

Показники зносу відібраних проб

Відібрана проба	Діаметр кульки, мм			Середній діаметр, мм
Олива ТП-22, відібрана з дна бака	0,74	0,76	0,70	0,727
	0,76	0,72	0,68	
Зневоднена олива ТП-22, відібрана з дна бака	0,72	0,70	0,68	0,71
	0,72	0,72	0,72	
Олива ТП-22, відібрана з гідроциліндра	0,72	0,72	0,72	0,713
	0,72	0,70	0,70	
Зневоднена олива ТП-22, відібрана з гідроциліндра	0,68	0,66	0,72	0,697
	0,70	0,68	0,74	
И-20, відібрана з гідромуфти	0,76	0,78	0,68	0,733
	0,76	0,76	0,66	
Зневоднена олива И-20, відібрана з гідромуфти	0,72	0,72	0,74	0,737
	0,74	0,74	0,75	

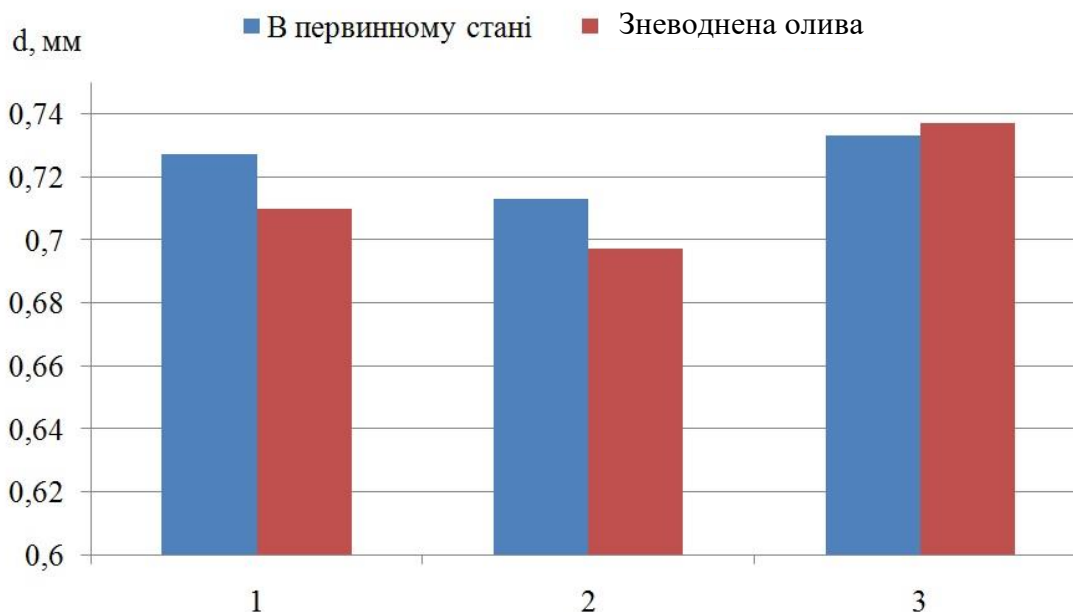


Рис. 3. Показник зносу в пробах

Проби оливи, що містили у своєму складі значну кількість води після дегідратації, показують кращі трибологічні характеристики. У випадку третьої проби И-20 із гідромуфти трибологічні характеристики майже не змінились.

Можна вважати, що розбіжність знаходиться в межах похибки вимірювання.

Проведені дослідження чітко показують, що олива ТП-22 із машини ПМГ не втратила своїх початкових властивостей. Однак фактичний вміст

твердих і рідких домішок суттєво погіршує її трибологічні характеристики.

Досвід експлуатації будівельної та колійної техніки, у якій застосовується гідропривод, показує, що проблема води є характерною для помірно-континентального клімату. Тобто циклічні перепади температур призводять до накопичення конденсованої води в гідросистемі. Вирішення даної проблеми потребує розроблення та впровадження енергоефективних очисників від води в різному виконанні: окремі очисні станції або додаткові навісні пристрої в гідросистемах. Існуючий досвід боротьби з водою в нафтопродуктах показує, що в перспективі будуть застосовуватись електрофільтри, оскільки вони споживають незначну кількість енергії та не мають розхідних матеріалів.

Висновки з дослідження й перспективи, подальший розвиток в даному напрямі

1. Стан РР колійної техніки залізниць України за вмістом води не завжди відповідає існуючим вимогам. Виходячи з цього виникає необхідність удосконалення

систем очищення РР, особливо від диспергованої води, тому що вона не відділяється у звичайних водовіддільниках і утворює досить стабільну емульсію з водою. Також питома площа контакту дрібнодисперсної води більша, ніж у крупнодисперсної, що пришвидшує окиснювальні процеси в РР.

2. Навіть незначна кількість води, до 1 %, при довготривалому знаходженні в РР значно погіршує її трибологічні властивості. В експлуатації корозійна дія води привносить нові види зношування. Так, при концентрації води 0,8-0,9 % в оливі ТП-22 пляма зносу становить 0,727 мм, а в цій же зневодненій оливі – 0,71 мм.

3. Існуючі системи очищення РР колійної техніки не розраховані на боротьбу з дрібнодисперсною водою, тому в подальшому необхідно провести модернізацію таких систем. Необхідно ввести новий елемент у гідросистему для дегідратації оливи. Найбільш перспективним з точки зору енергоефективності є метод електроочищення, який може бути використаний у бортових очисниках.

Список використаних джерел

1. Добронравов, С. С. Строительные машины и основы автоматизации [Текст] / С.С. Добронравов, В.Г. Добронравов. – М.: Высшая школа, 2001. – 575 с.
2. Путевые машины [Текст] / М.В. Попович, В.М. Бугаєнко, Б.Г. Волковойнов [и др.]; под. ред. М.В. Поповича, В.П. Бугаєнко. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. – 820 с.
3. Руднев, В. К. Повышение эксплуатационной надежности гидроприводов строительных и дорожных машин [Текст] / В.К. Руднев, Е.Н. Лысиков, Е.С. Венцель. – К., 1989. – 136 с.
4. Мышкин, Н. К. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии [Текст] / Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с.
5. Voronin, S. V. Effects of Electric and Magnetic Fields on the Behavior of Oil Additives [Text] / S.V. Voronin, A.V. Dunaev // Republic of Belarus, Gomel: Journal of Friction and Wear, 2015, Vol. 36, No. 1. – P. 33-39.
6. Коваленко, В. П. Очистка нефтепродуктов от загрязнения [Текст] / В.П. Коваленко, В.Е. Турчаников. – М.: Недра, 1990. – 160 с.
7. Некрасов, Ю. Г. Основы химмотологии автомобильных топлив и масел [Текст]: учеб. пособие / Ю.Г. Некрасов, Е.В. Романова, О.А. Елисеєва; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2008. – 129 с.

8. Сафонюк, І. Ю. Вплив вмісту води у гідравлічній оливі на знос деталей тертя засобів транспорту [Текст] / І. Ю. Сафонюк // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 159. – С. 103–108.
9. Вюцкий, С. С. Курс коллоидной химии [Текст] / С.С. Вюцкий. – 2-е изд. – М.: Химия, 1975. – 512 с.
10. Coalescence Behavior of Pure and Natural Fat Droplets Characterized via Micromanipulation [Text] / Thiel, A.E., Hartel, R.W., Spicer, P.T. et al. // Journal of the American Oil Chemists' Society, 2016. – P. 1-11.
11. Particle-Stabilized Emulsions Comprised of Solid Droplets [Text] / J. Giermanska-Kahn, V. Laine, S. Arditty, V. Schmitt, and F. Leal-Calderon. France, Langmuir, 2005. – P. 4316–4323.
12. Nanoparticle Assemblies as Probes for Self-Assembled Monolayer Characterization: Correlation between Surface Functionalization and Agglomeration Behavior [Text] / Bernhard Feichtenschlager, Silvia Pabisch, Herwig Peterlik, and Guido Kickelbick. France, Langmuir, 2012. – P. 741–750.
13. Binks, B. P. Particles as surfactants-similarities and differences [Text] / Current Opinion in Colloid & Interface Science, March 2002. – P. 21-41.
14. Руднев, В. К. Эксплуатационные материалы для строительных и дорожных машин [Текст] / В.К. Руднев, Е.С. Венцель, Е.Н. Лысыков. – К., 1993. – 238 с.
15. Anand Kumar Tripathi, Ravikrishnan Vinu. Characterization of Thermal Stability of Synthetic and Semi-Synthetic Engine Oils [Text] / Lubricants, 2015, 3(1). – P. 54-79.
16. Photometric Monitoring of Thermal Stability of Motor Oils and Effect of Thermal Degradation Products on Antiwear Properties [Text] / Koval'skii, B.I., Sokol'nikov, A.N., Petrov, O.N. // Chem Technol Fuels Oils July 2016, Volume 52, Issue 3. – P. 318–324.

Воронін Сергій Володимирович, д-р техн. наук, доцент, завідувач кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту.

E-mail: voronin.serгей@ukr.net. Тел. (057) 730-10-66; (095) 500-81-59.

Сафонюк Іван Юрійович, асистент кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: jonisaf@meta.ua. Тел.: (093) 303-31-38, (096) 851-31-37.

Онопрейчук Дмитро В'ячеславович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту.

E-mail: dmytroonopriychuk@ukr.net. Тел. (097) 984-05-84.

Стефанов Володимир Олександрович, канд. техн. наук, доцент, кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту.

E-mail: vstef@ukr.net. Тел. (057) 783-91-59.

Суранов Олексій Олексійович, аспірант кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: lhonet.hneu@gmail.com.

Тел. (067) 697-41-36.

Sergey Voronin Doctor of Sciences in Technology, Associate Professor, Head of Department Department of «Construction, track and handling machines» Ukrainian State University of Railway Transport.

E-mail: voronin.serгей@ukr.net. Tel.: (057) 730-10-66; (095) 500-81-59.

Saphonyuk Ivan, assistant Department of «Construction, track and handling machines» Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: jonisaf@meta.ua. Tel.: (093) 303-31-38; (096) 851-31-37.

Onopriychuk Dmytro candidate of Technical Sciences, associate professor Department of «Construction, track and handling machines» Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: dmytroonopriychuk@ukr.net. Tel.: (097) 984-05-84.

Stefanov Volodymyr, candidate of Technical Sciences, associate professor Department of «Construction, track and handling machines» Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: vstef@ukr.net. Tel.: (057) 783-91-59.

Suranov Oleksiy, graduate student Department of «Construction, track and handling machines» Ukrainian State University of Railway Transport/ E-mail: lhonet.hneu@gmail.com. Tel.: (067) 697-41-36.

Стаття прийнята 03.10.2016 р.

УДК 626/627

ІМОВІРНІСНА ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ШЛЮЗІВ НА НЕСКЕЛЬОВІЙ ОСНОВІ ЗА КРИТЕРІЯМИ МІЦНОСТІ І СТІЙКОСТІ ПРОТИ ЗСУВУ КАМЕР ШЛЮЗІВ НА ПРИКЛАДІ ГІДРОВУЗЛІВ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ

Канд. техн. наук А. О. Мозговий

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ КАМЕР ШЛЮЗОВ НА НЕСКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ ПО КРИТЕРИЯМ ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ПРОТИВ СДВИГА НА ПРИМЕРЕ ГИДРОУЗЛОВ ДНЕПРОВСКОГО КАСКАДА

Канд. техн. наук А. А. Мозговой

PROBABILISTIC RELIABILITY ASSESSMENT OF GATE CHAMBERS ON NON-ROCK FOUNDATION BY THE CRITERIA OF STRENGTH AND STABILITY AGAINST DISPLACEMENT OF THE GATE CHAMBERS ON THE EXAMPLE OF HYDRO SCHEMES OF THE DNIEPER CASCADE

Cand. of techn. sciences A. Mozgovyy

У даній роботі отримав подальший розвиток метод оцінки надійності камер шлюзів за критеріями вичерпання міцності і втрати стійкості проти зсуву, а також впливання. При цьому ураховано випадковий характер зовнішніх навантажень і впливів, яких під час експлуатації зазнають камери шлюзів, а також кореляційні залежності між ними. Також ураховано випадковий характер механічних властивостей ґрунту основи і кореляційні залежності між ними. Виконано чисельну імовірнісну оцінку ризику досягнення граничного стану камер шлюзів на нескельовій основі гідровузлів Дніпровського каскаду. Метод може застосовуватись при імовірнісних розрахунках надійності каскадів гідровузлів.

Ключові слова: камера шлюзу, природні фактори, імовірнісна оцінка надійності, каскад гідровузлів.

В данной работе получил дальнейшее развитие метод оценки надежности камер шлюзов по критериям исчерпания прочности и потери устойчивости против сдвига, а также всплывания. При этом учтен случайный характер внешних нагрузок и воздействий, которые в процессе эксплуатации воспринимают камеры шлюзов, а также корреляционные зависимости между ними. Также учтен случайный характер механических свойств грунтов основания и корреляционные зависимости между ними. Выполнена численная вероятностная оценка риска достижения предельного состояния камер шлюзов на нескальном основании гидроузлов Днепровского каскада. Метод может использоваться при вероятностных расчетах надежности каскадов гидроузлов.

Ключевые слова: камера шлюза, природные факторы, вероятностная оценка надежности, каскад гидроузлов.

This work further develops the method for assessing reliability of gate chambers by the criteria of strength exhaustion and stability loss against displacement, as well as floating up.

The work considers the random nature of the external loads and impacts, which the gate chambers bear during operation, as well as correlations between them. It also considers the random nature of mechanical properties of the foundation soils and correlations between them.

For solving this problem, the method of statistical tests (Monte Carlo method) was applied, which is widely used for assessing probabilistic reliability of complex technical systems.

A numerical probabilistic assessment of the risk when the gate chambers on non-rock foundation at hydro schemes of the Diaper Cascade reach the boundary conditions has been performed.

In the future, the proposed method could be used in probabilistic reliability analyses of hydraulic structures and cascades of hydro schemes, taking into account the correlations between natural factors: hydrological characteristics, ice, and wind, as well as temperature loads and impacts.

Keywords: gate chamber, natural factors, probabilistic reliability assessment, cascade of hydro schemes.

Вступ. Розрахунок і проектування сучасних гідротехнічних споруд потребують оцінки їх надійності і безпеки на основі імовірнісних методів [1-2]. Одним із найбільш поширених типів споруд гідровузлів комплексного призначення як в Україні, так і у світі є судноплавні шлюзи. Функціональним призначенням шлюзів є пропускання суден через створ гідровузла. Основними конструктивними елементами шлюзів є верхня і нижня голови, камери. За конструкцією камери шлюзів бувають із розрізним і нерозрізним днищем.

Дана робота спрямована на оцінку надійності камер шлюзів на нескельовій основі, які входять до складу споруд водопідпільного фронту, на прикладі гідровузлів Дніпровського каскаду. Надійність судноплавних шлюзів впливає на надійність гідровузла і каскаду гідровузлів у цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні методи оцінки експлуатаційної надійності водопропускних гідротехнічних споруд, підходи щодо оцінки надійності бетонних гідротехнічних споруд, статистичні методи аналізу їх стану, розроблення критеріїв їх надійності розглянуто в роботах О. І. Вайнберга [3], О. М. Фінагенова і С. Г. Шульмана [4], Є. М. Дзюбанова і Н. Ю. Дмитрієва [5], М. П. Левіної і В. Б. Штільмана [5], Л. Д. Ленцяєва і Л. В. Смирнова [6], Ц. Є. Мірцхулаві [7], Д. В. Стефанішина [8] та ін. Удосконалення методів

забезпечення надійності складних природно-технічних систем, аналіз ризику в гідротехніці, прогнозування аварійності гідротехнічних об'єктів розглянуто в роботах А. Б. Векслера, Д. А. Івашинцова і Д. В. Стефанішина [9], N.S. Arunraj, S. Mandal і J. Maiti [10], L. Altarejos-García, I. Escuder-Bueno і A. Serrano-Lombillo [11], A. Gaspar, F. Lopez-Caballero і A. Modaressi-Farahmand-Razavi [12], A. Lupoi і C. Callari [13], O. Morales-Nápoles, D. J. Delgado-Hernández і D. De-León-Escobedo [14], H. Z. Su, J. Hu і Z. P. Wen [15], L. Peyras, C. Carvajal і H. Felix [16], Z. Y. Wu, Y. L. Li і J. K. Chen [17], Y. Li, Y. Sun і B. Li [18], S. E. Cho [19], M. Calamak і A.M. Yanmaz [20], M. Alembagheri і M. Seyedkazemi [21] та ін.

Не розв'язаною раніше частиною проблеми є те, що існуючі методи оцінки надійності гідротехнічних споруд, зокрема судноплавних шлюзів, не ураховують певні кореляційні залежності [22], які існують між природними факторами, що є визначальними при оцінці надійності каскадів гідровузлів [23-24].

Визначення мети та задачі дослідження. Узагальнення вітчизняного і закордонного досвіду оцінки надійності об'єктів гідротехнічного будівництва свідчить про актуальність подальшого удосконалення існуючих методів оцінки надійності гідротехнічних споруд і каскадів гідровузлів. Дана робота спрямована на оцінку надійності камер судноплавних

шлюзів, які входять до складу споруд водопідпільного фронту гідровузлів Дніпровського каскаду, з урахуванням кореляційних залежностей, які існують між природними факторами, що є визначальними при оцінці надійності каскадів гідровузлів.

Основна частина дослідження.

Нижче наведено характеристики шлюзів на нескельовій основі гідровузлів Дніпровського каскаду.

Шлюзи Київського і Канівського гідровузлів. Голови шлюзів докової конструкції з нерозрізним днищем. Камери з розрізним днищем по осі (див. рис. 1). Стіни камер кутового профілю з консолями. Шлюз розташований у верхньому б'єфі в обсіпках. Наповнення

камери головне – із-під воріт верхньої голови. Опорожнення камери через обхідні водопровідні галереї нижньої голови в низовий підхід. Ґрунти – нескельові. Клас наслідків споруд гідровузла СС2-1.

Шлюз Дніпродзержинського гідровузла. Шлюз розташований у верхньому б'єфі з підводною частковою обсіпкою. Система живлення – головна – з-під робочих воріт через камеру гасіння. Опорожнення – через обхідні галереї, розташовані у стоянах нижньої голови. Стіни камери – у вигляді двоконсольних упорних стін. Верхня голова – із нерозрізним залізобетонним днищем. Нижня голова – із стоянів із розрізним армобетонним днищем. Клас наслідків споруд гідровузла СС2-1.

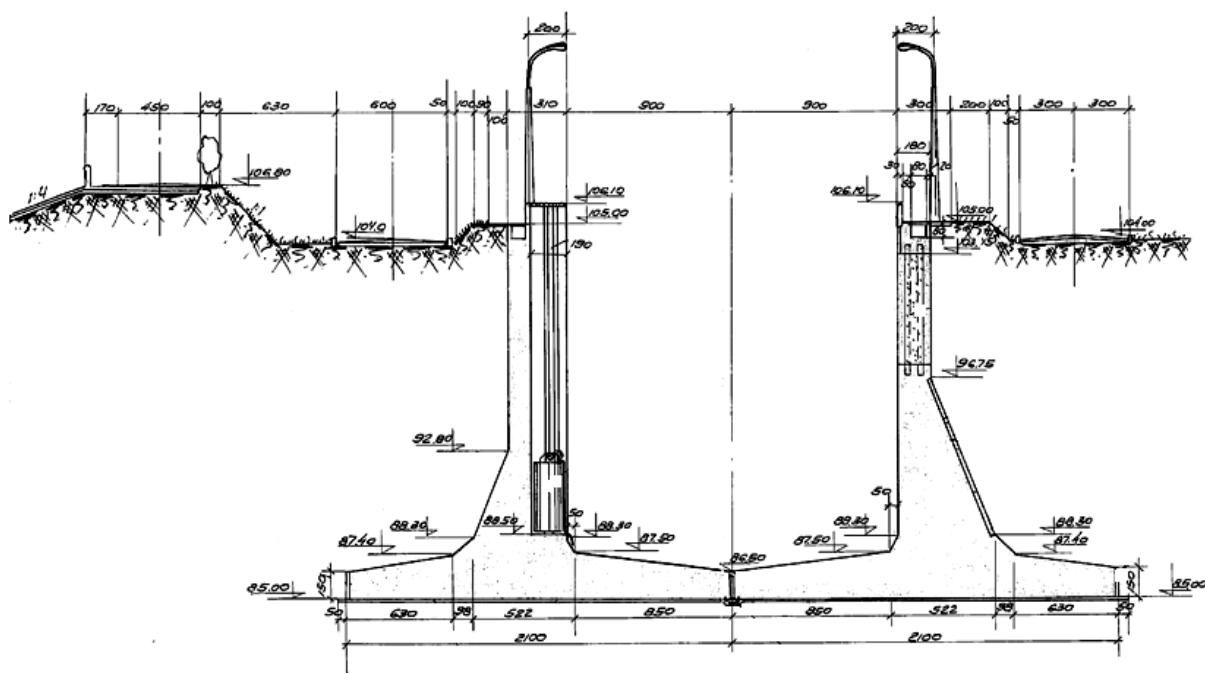


Рис. 1. Камера Київського шлюзу (розміри в сантиметрах)

Шлюз Каховського гідровузла. Розташований у верхньому б'єфі між будівлею ГЕС і лівим берегом. Система живлення розподільча – за допомогою поздовжніх галерей, розташованих у днищі камери. Опорожнення камери здійснюється донними водоводами, які розташовані у

стоянах нижньої голови. Шлюз використовується для пропускання паводку. Верхня голова – нерозрізна конструкція з розмірами у плані 43,0×30,0 м. Товщина днища 9,5 м. Голова обладнана плоскими робочими і аварійно-ремонтними затворами. Нижня голова має

розмір у плані 98,5×35,64 м (із стоянами). Товщина днища 10,0 м. Голова обладнана двостулковими робочими і ремонтними затворами. Камера шлюзу докового типу з армованого бетону з попередньо напруженим армуванням елементів днища (див. рис. 2). Голова і камера з боку водосховища і рейду обсіпані земляними дамбами з шириною майданчиків по верху 30,0 м. Клас наслідків споруд гідровузла СС3.

Перевірка надійності камер шлюзів за критеріями міцності, стійкості проти зсуву, спливання.

Розрахунки за детерміністичною методикою виконуються для основного і особливого сполучення навантажень за умовою [1]

$$\gamma_n \times \gamma_{lc} \times F \leq \gamma_c \times R, \quad (1)$$

де F – розрахункове значення узагальненого силового впливу з урахуванням коефіцієнта надійності за навантаженням γ_f ;
 R – узагальнена несуча здатність споруди чи основи;

γ_{lc} – коефіцієнт сполучення навантажень, приймається для основного сполучення навантажень $\gamma_{lc}=1,0$; для особливого сполучення навантажень $\gamma_{lc}=0,9$;

γ_c – коефіцієнт умов роботи, приймається $\gamma_c = 1,1$;

γ_n – коефіцієнт надійності, приймається $\gamma_n = 1,25$ для споруд класу наслідків СС3, $\gamma_n = 1,2$ для споруд класу наслідків СС2-1.

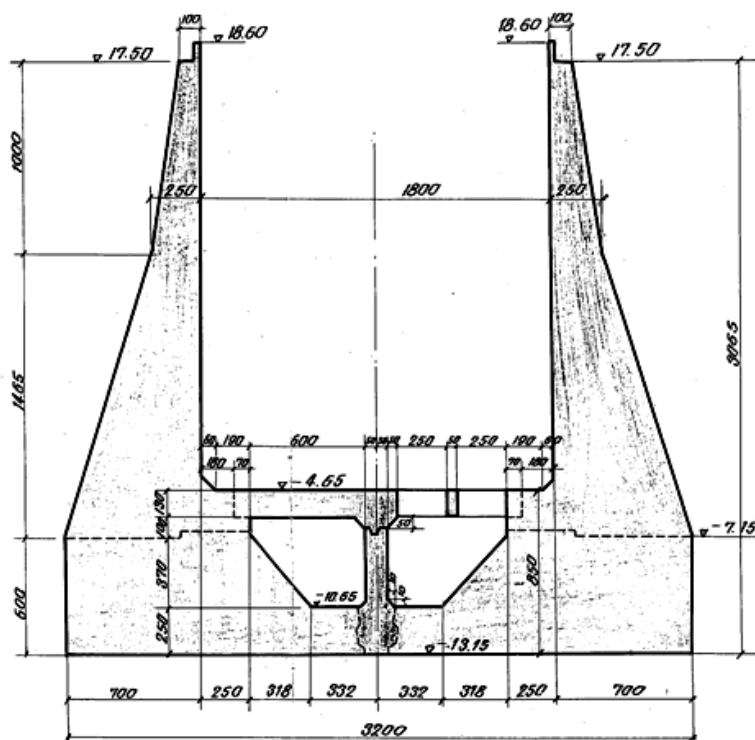


Рис. 2. Камера Каховського шлюзу (розміри в сантиметрах)

При виконанні розрахунків розглядаються такі навантаження і впливи:

1. Власна вага споруди, у тому числі вага постійного технологічного облад-

нання, місце розташування якого не змінюється у процесі експлуатації.

2. Силовий вплив води з боку верхнього і нижнього б'єфів: гідростатичний

тиск води з боку обернених засипок; гідростатичний тиск води в камері шлюзу; силовий вплив води, що фільтрується.

3. Температурні впливи.

4. Вага постійного технологічного обладнання, підйомних, транспортних пристроїв та інших конструкцій і механізмів.

5. Власна вага і тиск ґрунту обернених засипок.

6. Сейсмічні впливи.

Для оцінки ризику втрати міцності, стійкості на зсув і спливання за методом граничних станів формулу (1) доцільно подати як

$$k = \frac{R}{F} \geq k_n = \frac{\gamma_n \times \gamma_c}{\gamma_{lc}}, \quad (2)$$

де k – розрахункове значення коефіцієнта запасу стійкості;

k_n – нормативне значення коефіцієнта запасу стійкості.

Отримано такі значення нормативних коефіцієнтів запасу стійкості при різних розрахункових випадках:

- шлюзи Київського, Канівського, Дніпродзержинського гідровузлів: для основного сполучення навантажень $k_n = 1,09$; для особливого сполучення навантажень $k_n = 0,98$;

- шлюз Каховського гідровузла: для основного сполучення навантажень $k_n = 1,14$; для особливого сполучення навантажень $k_n = 1,02$.

За детерміністичною методикою на основі методу граничних станів отримано такі значення нормативних коефіцієнтів запасу стійкості при різних розрахункових випадках:

- шлюз Київського гідровузла: для основного сполучення навантажень $k_c = 1,43$ (коефіцієнт запасу стійкості проти зсуву), $k_e = 3,04$ (коефіцієнт запасу стійкості проти всплуття); для особливого сполучення навантажень $k_c = 1,59$, $k_e = 3,03$;

- шлюз Канівського гідровузла: для основного сполучення навантажень $k_c = 1,39$, $k_e = 2,98$; для особливого сполучення навантажень $k_c = 1,44$, $k_e = 2,95$;

- шлюз Дніпродзержинського гідровузла: для основного сполучення навантажень $k_c = 1,59$, $k_e = 2,68$; для особливого сполучення навантажень $k_c = 1,35$, $k_e = 2,54$;

- шлюз Каховського гідровузла: для основного сполучення навантажень $k_e = 2,90$; для особливого сполучення навантажень $k_e = 2,85$.

Імовірнісний метод визначення ризику втрати міцності, стійкості проти зсуву і спливання камери шлюзу. Рішення передбачає побудову рівняння зв'язку між вхідними і вихідними параметрами, визначення їх імовірнісних характеристик, а також визначення імовірності втрати міцності, стійкості проти зсуву і спливання камери шлюзу.

Зазначені вище критерії настання граничного стану є статистично залежними, тому що їх виникнення обумовлено позначками рівнів води у верхньому б'єфі.

При розгляданні схеми плоского поступального зсуву по горизонтальній поверхні рівняння зв'язку має вигляд:

$$k = \frac{(V - W) \operatorname{tg} \varphi + c \cdot A_n}{F}, \quad (3)$$

де k – коефіцієнт стійкості проти зсуву;

V – підсумок вертикальних сил, спрямованих униз;

W – підсумок вертикальних сил, спрямованих догори;

$\operatorname{tg} \varphi$ – коефіцієнт внутрішнього тертя;

c – питоме зчеплення;

A_n – площа подошви споруди;

F – узагальнена сила зсуву.

При розрахунку на спливання використовується рівняння зв'язку

$$k = \frac{V}{W}, \quad (4)$$

де k – коефіцієнт стійкості проти спливання.

При розрахунку міцності використовується рівняння

$$k = \frac{A_{sf}}{A_{sp}}, \quad (5)$$

де k – коефіцієнт запасу міцності;

A_{sf} – фактична площа перерізу робочої арматури;

A_{sp} – розрахункова площа перерізу робочої арматури.

Розглядається типова камера шлюзу (див. рис. 1). Вхідними детерміністичними параметрами прийнято площу основи камери шлюзу A_n , м², інші геометричні розміри, вагу допоміжного обладнання.

Випадковими вхідними величинами прийнято щільність бетону за нормальним розподілом, коефіцієнт варіації $C_{\gamma_b} = 0,02$; щільність ґрунту оберненої засипки за нормальним розподілом, коефіцієнт варіації $C_{\gamma_{gr}} = 0,06$; міцність бетону на стискання за нормальним розподілом, коефіцієнт варіації $C_{R_b} = 0,135$; міцність арматури на розтягання за нормальним розподілом, коефіцієнт варіації $C_{R_s} = 0,08$.

Задається випадкова, розподілена від 0 до 1, імовірність pZ позначки рівня води Z , м, перед шлюзом. Статичний рівень води обумовлений максимальними паводковими витратами з урахуванням кореляційних залежностей між паводковими витратами по гідровузлах Дніпровського каскаду. Статистичні дані щодо забезпеченості максимальних витрат p . Дніпро у створах гідровузлів Дніпровського каскаду наведено в роботах [22, 25].

За значенням pZ визначається квантиль-позначка рівня води Z , м, перед шлюзом. Між максимальними паводковими витратами p . Дніпро у створах гідровузлів каскаду, за роботою [22], існує функціональна залежність. Тому при

виконанні кожного статистичного випробовування випадкова величина імовірності pZ для шлюзів кожного гідровузла Дніпровського каскаду задається однаковою.

Задається залежність між рівнями верхнього Z_i , м, і нижнього б'єфів $Z_{НБ}$, м.

В інтервалі від 0 до 1 задається випадкова величина імовірності зважуючого протитиску в основі шлюзу pW_f . За значенням імовірності визначається квантиль-величина сили вертикального протитиску W_f , кН.

За значеннями рівнів верхнього Z_i , м і нижнього б'єфів $Z_{НБ}$, м, визначається випадкова величина сили гідростатичного тиску з боку оберненої засипки $W_{ГЗ}$, кН.

Задається випадкова рівномірно розподілена від 0 до 1 імовірність щільності ґрунту оберненої засипки $p\rho_{gr}$, за якою визначається квантиль-значення щільності ґрунту ρ_{gr} .

Задається випадкова рівномірно розподілена від 0 до 1 імовірність коефіцієнта внутрішнього тертя $p_{tg\phi_g}$, по якій визначається квантиль-значення коефіцієнта внутрішнього тертя $tg\phi_g$.

За значеннями ρ_g і $tg\phi_g$ визначається сила бічного тиску ґрунту оберненої засипки на стінку камери шлюзу.

За імовірнісними залежностями щорічних максимально низьких середньомісячних температур за нормальним розподілом, а також щорічних максимальних амплітуд середньомісячних температур зовнішнього повітря за нормальним розподілом у місцях розташування гідровузлів визначається реактивний тиск ґрунту оберненої засипки [26].

В інтервалі від 0 до 1 задається випадкова величина імовірності зважуючого протитиску в основі шлюзу pW_f . За значенням імовірності визначається квантиль-величина сили вертикального протитиску W_f , кН.

На території України землетруси відбуваються унаслідок сейсмічної

активності Карпат, Вранча, Криму. Для гідровузлів Дніпровського каскаду вони є статистично незалежними осередками землетрусів. Статистичні дані про їх сейсмічну активність опрацьовано в роботі [27]. За інтенсивністю землетрусу в його осередку можна визначити його інтенсивність у районі розташування гідровузла за аналітичними виразами роботи [28].

Під час виконання одного статистичного випробовування, враховуючи статистичну незалежність осередків землетрусів, задаються випадкові щорічні імовірності сейсмічних впливів pJr , розподілені від 0 до 1 у Карпатах, Вранчі, Криму. За значенням pJr визначаються квантилі-бальність землетрусів Jr , бал. Здійснюється перерахунок бальності землетрусів у районі розташування гідровузла і обирається найбільше значення для даного гідровузла. Виконується уточнення бальності землетрусу з урахуванням мікрорайонування місця розташування шлюзу [29].

Виконується перерахунок ординат кривої розподілу щорічного максимального сейсмічного впливу Jr у криву розподілу максимального сейсмічного впливу J за призначений строк служби. Будується імовірнісна крива розподілу розрахункової амплітуди прискорення основи в частках g від максимальної бальності землетрусів J , бали за призначений строк служби. Сейсмічний вплив на шлюз задається у вигляді сукупностей таких навантажень: інерційні сили, сейсмічний гідродинамічний тиск води в обернених засипках, сейсмічний тиск ґрунту обернених засипок. Інерційні сейсмічні навантаження відповідно до роботи [30] визначено лінійно-спектральним методом. Будується імовірнісна крива розподілу горизонтального інерційного сейсмічного навантаження S , кН, від розрахункової амплітуди прискорення основи (у частках g) камери шлюзу. Визначається сейсмічний гідродинамічний тиск води. Будується

імовірнісна крива розподілу горизонтальної проекції сейсмічної гідродинамічної сили тиску води E_{psg} , кН, від розрахункової амплітуди прискорення основи (у частках g) камери шлюзу.

Визначаються рівнодіючі вертикальних сил V і W і горизонтальних сил F , що діють на камеру шлюзу. При цьому враховуються як випадкові, так і детерміністичні навантаження.

Характеристики ґрунту основи задані випадковими величинами відповідно до норм проектування основ гідротехнічних споруд [31-32]. Коефіцієнт внутрішнього тертя $tg\varphi$ і питоме зчеплення c задані за нормальним законом як випадкові корельовані величини. Такі корельовані величини підкорюються нормальному закону, який визначається п'ятьма параметрами: математичні очікування $m_{tg\varphi}$, m_c , середньоквадратичні відхилення $\sigma_{tg\varphi}$, σ_c , коефіцієнт кореляції $r_{tg\varphi c}$. Визначається кореляційний момент $K_{tg\varphi c}$. Коефіцієнт варіації прийнято $C_v = 0,122$.

Задається випадкова імовірність величини кута внутрішнього тертя $p_{tg\varphi}$, розподілена від 0 до 1. За нормальним законом розподілу з наведеними вище параметрами $m_{tg\varphi}$, $\sigma_{tg\varphi}$ визначається квантиль-значення кута внутрішнього тертя $tg\varphi$. Визначаються параметри умовного закону розподілу $m_{tg\varphi c}$, $\sigma_{tg\varphi c}$. За відомою імовірністю величини питомого зчеплення pc із використанням умовного закону розподілу визначається квантиль-значення величини питомого зчеплення c , кПа.

Розглядається схема плоского поступального зсуву по горизонтальній поверхні. Обчислюється значення коефіцієнта стійкості на зсув, спливання, коефіцієнта міцності за формулами (3)-(5).

При кожному випробовуванні камера шлюзу вважається ненадійною при досягненні хоча б одного граничного стану. Розрахунок виконується методом статистичних випробовувань N разів. Кількість випробовувань, при яких $k < 1$, віднесена до загальної кількості

випробовувань N і визначає величину ризику настання граничного стану камери шлюзу за весь строк служби.

Значення щорічної імовірності ризику руйнування камери шлюзу обчислюється за формулою

$$p = 1 - (1 - pr)^{\frac{1}{T}}, \quad (6)$$

де p – щорічна імовірність настання граничного стану;

pr – імовірність настання граничного стану за призначений строк служби;

T – призначений строк служби, р.,

і виконується порівняння з допустимою величиною.

Результати розрахунків ризику виникнення аварій шлюзів гідровузлів Дніпровського каскаду наведені в таблиці.

Таблиця 1

Результати комплексної оцінки імовірності вичерпання міцності, втрати стійкості, спливання камер шлюзів на нескельовій основі гідровузлів Дніпровського каскаду

Клас споруди	Кількість статистичних випробовувань	Розрахункове значення імовірності настання граничного стану за призначений строк служби T , р.	Розрахункове значення щорічної імовірності настання граничного стану, p . ⁻¹	Допустиме значення імовірності настання граничного стану, p . ⁻¹
Камера шлюзу Київського гідровузла				
СС2-1	$1,53 \times 10^5$	$9,95 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-4}$	5×10^{-4}
Камера шлюзу Канівського гідровузла				
СС2-1	$1,56 \times 10^5$	$1,01 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^{-4}$	5×10^{-4}
Камера шлюзу Дніпродзержинського гідровузла				
СС2-1	$2,84 \times 10^5$	$5,20 \times 10^{-3}$	$1,05 \times 10^{-4}$	5×10^{-4}
Камера шлюзу Каховського гідровузла				
СС-3	$5,40 \times 10^5$	$2,5 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^{-5}$	5×10^{-5}

Необхідна кількість статистичних випробовувань знаходиться в межах довірчого інтервалу. Межі довірчого інтервалу обчислені за формулами роботи [33].

Висновок з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Удосконалено методику оцінки надійності камер шлюзів на нескельовій основі за критеріями втрати стійкості

проти зсуву, міцності і спливання. Ураховано імовірнісний характер навантажень і впливів, механічних властивостей основи. Методика апробована на прикладі камер шлюзів гідровузлів Дніпровського каскаду. Результати можуть застосовуватись при імовірнісних розрахунках надійності гідротехнічних споруд і каскадів гідровузлів.

Список використаних джерел

1. ДБН В.2.4–3:2010. Гідротехнічні споруди. Основні положення [Текст]. – К.: Мінрегіонбуд України, Державне підприємство “Укрархбудінформ”, 2010. – 37 с.
2. ДБН В.1.2–14–2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]. – К.: Мінрегіонбуд України, Державне підприємство “Укрархбудінформ”, 2009. – 37 с.
3. Вайнберг, А. И. Надежность и безопасность гидротехнических сооружений [Текст] / А. И. Вайнберг. — Харьков: Тяжпромавтоматика, 2008. — 304 с.
4. Финагенов, О. М. К вопросу оценки эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений [Текст] / О. М. Финагенов, С. Г. Шульман // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. — 1999. — Т. 234. — С. 7-15.
5. Дзюбанов, Е. М. Системный анализ надежности водопроводящих трактов ГЭС [Текст] / Е. М. Дзюбанов, Н. Ю. Дмитриев, М. П. Левина [и др.] // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. — 1997. — Т. 233. — С. 47-54.
6. Лентяев, Л. Д. Обеспечение надежности водосбросных и водопропускных сооружений крупных гидроузлов [Текст] / Л. Д. Лентяев, Л. В. Смирнов // Гидротехническое строительство. — 1983. — № 8. — С. 40-42.
7. Мирцхулава, Ц. Е. Анализ безопасности и надежности водопропускных сооружений [Текст] / Ц. Е. Мирцхулава // Материалы конференций и совещаний по гидротехнике. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. — 1985. — С. 81-84.
8. Стефанишин, Д. В. К оценке надежности водопропускных сооружений гидроузлов [Текст] / Д. В. Стефанишин // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. — 2000. — Т. 236. — С. 77-82.
9. Векслер, А. Б. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений [Текст] / А. Б. Векслер, Д. А. Ивашинцов, Д. В. Стефанишин. — СПб.: Изд-во ОАО ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2002. — 589 с.
10. Arunraj, N.S. Modeling uncertainty in risk assessment: An integrated approach with fuzzy set theory and Monte Carlo simulation [Text] / N.S. Arunraj, S. Mandal, J. Maiti / Accident Analysis & Prevention. — 2013. — Vol. 55. — P. 242-255.
11. Methodology for estimating the probability of failure by sliding in concrete gravity dams in the context of risk analysis [Text] / L. Altarejos-García, I. Escuder-Bueno, A. Serrano-Lombillo [and others] // Structural Safety. — 2012. — Vol. 36–37. — P. 1-13.
12. Methodology for a probabilistic analysis of an RCC gravity dam construction. Modelling of temperature, hydration degree and ageing degree fields [Text] / A. Gaspar, F. Lopez-Caballero, A. Modaressi-Farahmand-Razavi [and others] // Engineering Structures. — 2014. — Vol. 65. — P. 99-110.
13. Lupoi, Alessio A probabilistic method for the seismic assessment of existing concrete gravity dams [Text] / Alessio Lupoi, Carlo Callari // Structure and Infrastructure Engineering. — 2012. — Vol. 8. — Is. 10. — P. 985-998.
14. A continuous Bayesian network for earth dams' risk assessment: methodology and quantification [Text] / O. Morales-Nápoles, D. J. Delgado-Hernández, D. De-León-Escobedo [and others] // Structure and Infrastructure Engineering. — 2014. — Vol. 10. — Is. 5. — P. 589-603.
15. Su, H. Z. Optimization of reinforcement strategies for dangerous dams considering time-average system failure probability and benefit–cost ratio using a life quality index [Text] / H. Z. Su, J. Hu, Z. P. Wen // Natural hazards. — 2013. — Vol. 65. — Is. 1. — P. 799-817.

16. Probability-based assessment of dam safety using combined risk analysis and reliability methods—application to hazards studies [Text] / L. Peyras, C. Carvajal, H. Felix [and others] // *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. — 2012. — Vol. 16. — Is. 7. — P. 795-817.
17. A reliability-based approach to evaluating the stability of high rockfill dams using a nonlinear shear strength criterion [Text] / Z. Y. Wu, Y. L. Li, J. K. Chen [and others] // *Computers and Geotechnics*. — 2013. — Vol. 51. — P. 42-49.
18. Penalty function-based method for obtaining a reliability indicator of gravity dam stability [Text] / Y. Li, Y. Sun, B. Li [and others] // *Computers and Geotechnics*. — 2016. — Vol. 81. — P. 19-25.
19. Cho, S. E. Probabilistic analysis of seepage that considers the spatial variability of permeability for an embankment on soil foundation [Text] / S. E. Cho // *Engineering Geology*. — 2012. — Vol. 133-134(0). — P. 30-39.
20. Calamak, M. Probabilistic assessment of slope stability for earth-fill dams having random soil parameters [Text] / M. Calamak, A. M. Yanmaz // *11th National Conference on Hydraulics in Civil Engineering & 5th International Symposium on Hydraulic Structures: Hydraulic Structures and Society-Engineering Challenges and Extremes*. Engineers Australia: 2014. — P. 34.
21. Alembagheri, M. Seismic performance sensitivity and uncertainty analysis of gravity dams [Text] / M. Alembagheri, M. Seyedkazemi // *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. — 2015. — Vol. 44. — Is. 1. — P. 41-58.
22. Мозговий, А. О. Дослідження кореляційної залежності максимальних витрат р. Дніпро за статистичними даними спостережень у створах гідровузлів Дніпровського каскаду [Текст] / А. О. Мозговий // *Науковий вісник будівництва*. — Харків: ХДТУБА, 2011. — Вип. 65. — С. 364-370.
23. Мозговий, А. О. Основні передумови оцінки безпечності і надійності каскадів гідровузлів [Текст] / А. О. Мозговий // *Науковий вісник будівництва*. — Харків: ХДТУБА, 2009. — Вип. 54. — С. 272-277.
24. Мозговий, А. О. Загальні підходи щодо керування ризиком втрати надійності каскаду гідровузлів під час проходження катастрофічного паводку [Текст] / А. О. Мозговий // *Науковий вісник будівництва: матеріали VI Міжнар. наук. конф. "Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд"*. — Харків: ХНУБА, 2013. — Вип. 73. — С. 531-536.
25. Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду [Текст] / А. В. Яцик, А. І. Томільцева, М. Г. Томільцев [та ін.]; за ред. А. В. Яцика. — К.: Генеза, 2003. — 176 с.
26. Мозговий, А. О. Аналіз статистичних даних температурних впливів по гідровузлах Дніпровського каскаду. Вибір параметрів функції розподілу температурних впливів за статистичними даними [Текст] / А. О. Мозговий // *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. праць*. — Рівне: Вид-во НУВГП, 2011. — Вип. 39. — С. 98-102.
27. Мозговий, А. О. Аналіз статистичних даних сейсмічної активності на території України. Вибір параметрів функції розподілу інтенсивності землетрусів за статистичними даними [Текст] / А. О. Мозговий // *Науковий вісник будівництва*. — Харків: ХДТУБА, 2010. — Вип. 58. — С. 264-270.
28. Idriss, I. M. Evaluating Seismic Risk In Engineering Practice [Text] / I. M. Idriss // *Proc. Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. — San Fransisco, 1985. — Vol. 1. — P. 255-320.
29. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України [Текст]. — К.: Мінрегіон України, Державне підприємство "Укрархбудінформ", 2014. — 110 с.
30. СНиП II-7-81. П 17-85. Учет сейсмических воздействий при проектировании гидротехнических сооружений. Пособие к разд. 5: Гидротехнические сооружения [Текст]. — Л.: Типография ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1986. — 310 с.

31. СНиП 2.02.02-85. Основания гидротехнических сооружений [Текст]. – М.: Госстрой СССР, ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 48 с.

32. Проектирование оснований гидротехнических сооружений. Пособие к СНиП II-16-76. П 13-83 [Текст]. – Л.: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, Типография ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1984. – 402 с.

33. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст]: учеб. для вузов / Е. С. Вентцель. — 5-е изд., стер. — М.: Высшая школа, 1998. — 576 с.

Мозговий Андрій Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри гідротехнічного будівництва, Харківський національний університет будівництва та архітектури. Тел.: (057)706-18-99. E-mail: mozgovoyandrey@i.ua.

Andriy O. Mozgovuy Ph.D, Associate Professor, Department of Hydro Construction, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057)706-18-99. E-mail: mozgovoyandrey@i.ua.

Стаття прийнята 05.10.2016 р.

УДК 656.212.5

АНАЛІЗ ВІДОМИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ОДНОСТОРОННІХ І ДВОСТОРОННІХ СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ

Канд. техн. наук М. Ю. Куценко, інженери А. О. Повод, А. М. Денисенко, І. О. Певнева, З. М. Михалевич

АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОДНОСТОРОННИХ И ДВОСТОРОННИХ СОРТИРОВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

Канд. техн. наук М. Ю. Куценко, инженеры А. А. Повод, А. Н. Денисенко, И. А. Певнева, З. Н. Михалевич

ANALYSIS OF WELL-KNOWN RESEARCH ON THE APPROPRIATE USE UNILATERAL AND BILATERAL MARSHALLING YARDS

Ph. D. M. Kutsenko, engineers A. Povod, A. Denisenko, I. Pevneva, Z. Mikhalevich

Сортувальні станції відіграють вирішальну роль, забезпечуючи переробку і формування технічних маршрутів. Ключовою проблемою завжди була проблема вибору типу станції – одностороння чи двостороння.

Завдання обґрунтування сфер застосування односторонніх і двосторонніх сортувальних станцій необхідно розглядати з урахуванням динаміки зміни обсягів роботи.

Основною теоретичною прогалиною слід вважати відсутність обґрунтованих рекомендацій щодо закриття однієї з сортувальних систем на двосторонніх станціях внаслідок зниження обсягу переробки.

Ключові слова: одностороння сортувальна станція, двостороння сортувальна станція, етапність розвитку сортувальної станції.

Сортировочные станции играют решающую роль, обеспечивая переработку и формирование технических маршрутов. Ключевой проблемой всегда была проблема выбора типа станции – односторонняя или двусторонняя.

Задачу обоснования сфер применения односторонних и двусторонних сортировочных станций необходимо рассматривать с учетом динамики изменения размеров работы.

Основным теоретическим пробелом следует считать отсутствие обоснованных рекомендаций по закрытию одной из сортировочных систем на двусторонних станциях вследствие снижения объема переработки.

Ключевые слова: односторонняя сортировочная станция, двусторонняя сортировочная станция, этапность развития сортировочной станции.

In railway transport freight yards play a crucial role, ensuring the processing and forming the technical routes. The theory and practice of designing freight yards testify to the usefulness of the construction of both one way and two way freight yards. It depends on the volume and the nature of a processing wagon flow, the technical equipment of freight yards and the dynamics of the work volume change.

At all stages the key issue of the development of freight yards and the theory of designing was the problem choice of the type station - one-way or two-way. The task of justification of the areas advisability of both one way and two way freight yards must be considered, taking into account the changes in the size of the work.

The main theoretical gap in the designing of the freight yards should be considered the absence of evidence-based recommendations on the closure of one of the sorting systems at two way stations, due to the decrease in the volume of the car processing.

Key words: one way yard, two way yard, the stages of the development of the freight yard.

Вступ. У наш час відбувається реформування залізничного транспорту, метою якого є підвищення якості надаваних послуг при безпечній та ефективній організації виробничого процесу [1, 11, 12]. При здійсненні перевезень на залізничному транспорті вирішальну роль відіграють сортувальні станції. Вони забезпечують реалізацію найбільш складної частини системи організації вагонопотоків, а саме: переробку та формування технічних маршрутів. Від успішної роботи сортувальних станцій залежить стійкість перевізного процесу на цілих напрямках і полігонах мережі залізниць.

Ключовою проблемою на всіх етапах розвитку сортувальних станцій і теорії їх проектування була проблема вибору типу станції – одностороння або двостороння.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою статті є проведення докладного аналізу відомих досліджень щодо доцільності застосування

односторонніх і двосторонніх сортувальних станцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, основна частина. За роботою [2], вперше питання щодо потужності пристроїв і створення умов для розвитку сортувальних станцій було поставлено у 1929 році в роботі В. М. Образцова «Основные данные для проектирования железнодорожных станций» [3]. У цій роботі було запропоновано запас потужності для крупних станцій розраховувати на зростання вантажообороту протягом 25 років. А вже в 1930-ті роки В. М. Образцовим були остаточно сформульовані вимоги щодо етапного розвитку станцій, які увійшли до ТУПС-33 та підручника по станціях та вузлах [4]. У цій роботі вказувалося, що подальший розвиток сортувальної станції повинен проходити без складних перебудов і зносу капітальних споруд.

У роботі П. В. Бартенєва [5] при розгляді перспектив розвитку сортувальних станцій були відмічені три основні моменти, які суттєво змінюють схему станції:

- перехід від роботи на маневрових витяжках до роботи на напівгірці, а потім і на гірці;

- перехід від паралельної схеми до послідовної або комбінованої;

- перехід від односторонньої до двосторонньої схеми станції.

У вказаних роботах рекомендації з розвитку сортувальних станцій мали здебільшого якісний характер. Це пояснюється відсутністю математичного апарату, який дозволив би розглядати динаміку зміни експлуатаційних показників станцій при поступовому зростанні обсягів переробки вагонів.

Одне з найбільш глибоких досліджень щодо методики вибору односторонніх і двосторонніх сортувальних станцій було виконано М. С. Глікманом [6]. Його результати дають повне уявлення про якісні переваги та недоліки схем односторонніх і двосторонніх сортувальних станцій. Але головною перевагою виконаного дослідження є глибокий і всебічний аналіз основних факторів, що впливають на вибір схеми сортувальної станції.

До цих факторів автор відносить:

- розміри і характер вагонопотоків, що переробляються (прямі, кутові, транзитні і місцеві);

- кількість призначень за планом формування і потрібну кількість підгіркових колій;

- пропускну спроможність найбільш завантажених горловин: передгіркової і вихідної відправного парку;

- переробну спроможність гірки з розформування і формування поїздів;

- переробну спроможність витяжних колій формування;

- додаткові пробіги і простої кутових вагонів на двосторонніх станціях;

- додаткову витрату маневрових годин на обробку кутових вагонопотоків;

- різницю в капіталовкладеннях на початкове облаштування дво- і односторонніх сортувальних станцій;

- різницю в експлуатаційних витратах на утримання додаткового штату, колійних пристроїв, маневрових локомотивів і простої вагонів;

- різницю в пробігах поїздів і поїзних локомотивів у межах станції.

Крім того, до факторів, що впливають на вибір схеми станції, належать і такі, які не піддаються грошовій оцінці: положення станції на мережі залізниць, перспективи подальшого зростання роботи станції за межами розрахункового періоду, маневреність у роботі станції, поточність технологічного процесу, безпека поїзної і маневрової роботи, та ін. Ряд факторів, які можуть вплинути на вибір проектного рішення, пов'язані з місцевими умовами. До них належать топографія місцевості, яка визначає обсяг земляних робіт, розміри і вартість зносів існуючих пристроїв і споруд, необхідність будівництва штучних споруд і їх вартість.

Але головним недоліком методики слід вважати розгляд завдання у «статичі». Вибір схеми здійснюється на фіксовані розміри роботи розрахункового року, що не враховує реальну динаміку зміни обсягів переробки вагонів, а отже, і експлуатаційних витрат по роках розрахункового періоду, який до того ж перевищує значення розрахункового року, на який у запропонованій М. С. Глікманом методиці визначаються капітальні і експлуатаційні витрати. «Статичний» підхід не враховує і необхідності поетапного нарощування потужності основних пристроїв станції, що дозволяє знизити сумарні приведені витрати.

Істотний внесок у теорію обґрунтування сфер доцільності односторонніх і двосторонніх сортувальних станцій вніс О. М. Корнаков [7]. Досліджуючи загальну перспективу

розвитку великих односторонніх сортувальних станцій, автор провів детальний аналіз схем, рекомендованих ТУПС-61, і дійшов висновку, що схема односторонньої сортувальної станції підвищеної продуктивності, розрахована на застосування паралельного розпуску составів, як системи, вимагає спорудження колієпроводу під гіркою для пропускання поїзних локомотивів у депо і під состави, а також петльових підходу і виходу для напрямку, протилежного основному сортуванню. Це призводить до переходу кількісних змін у схемі односторонньої сортувальної станції в якісні: докорінно змінюється сама її схема, перетворюючись у схему двокомплектної станції, у якій другий сортувальний комплект парків з гіркою лише повернений у площині

креслення на 180° і впритул прилягає до першого (рис. а).

Розрахунки, виконані О. М. Корнаковим, показали, що схема односторонньої станції для систематичного паралельного розпуску, наведена на рис. а, значно дорожче як за будівельними, так і за експлуатаційними витратами порівняно зі звичайною двосторонньою станцією (рис. б) при однакових розмірах і переробній спроможності. Тому він вважав за доцільне утримуватися від застосування подібних схем «односторонніх» станцій і при будівництві сортувальних станцій з розрахунковою переробною спроможністю понад 8–10 тис. вагонів на добу проектувати їх стосовно таких схем, які дозволяють легко здійснювати етапний перехід від односторонньої до двосторонньої схеми.

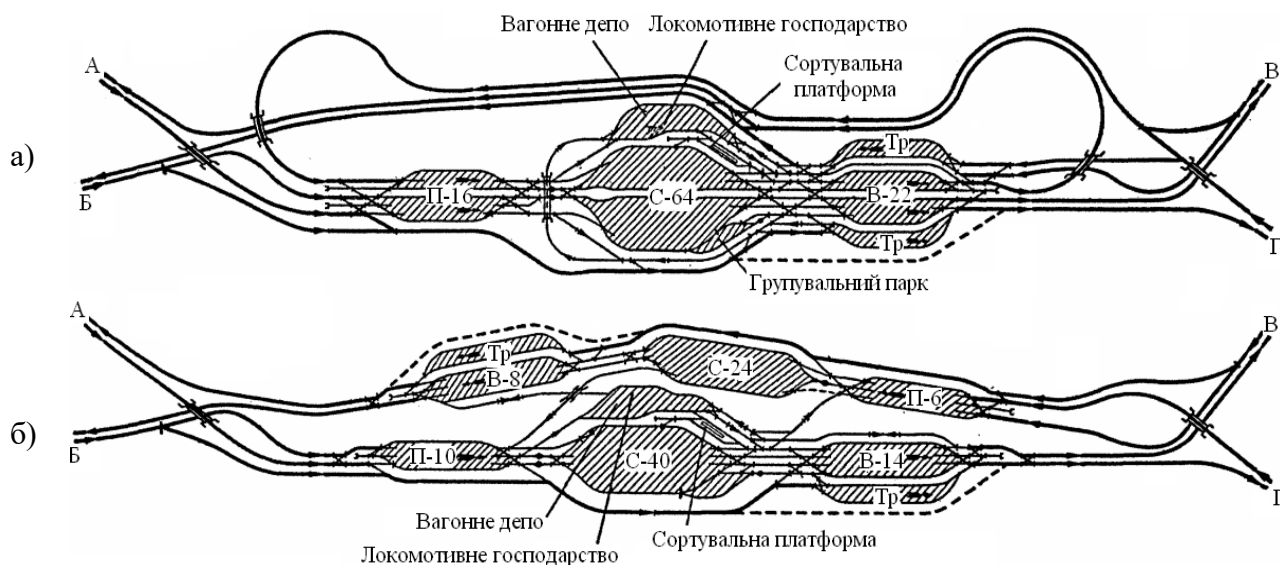


Рис. Схеми односторонньої (а) і двосторонньої (б) сортувальної станції

Окрема глава була присвячена розвитку сортувальних станцій у роботі Т. М. Федотової [8], у якій методом спрямованого пошуку був визначений оптимальний момент введення другої сортувальної системи. Розрахунок показав, що будівельні та експлуатаційні витрати

при розвитку односторонньої станції для паралельного розпуску більше, ніж при спорудженні другого комплекту за типовою схемою. При розвитку існуючого комплекту для паралельного розпуску доводиться повністю перевлаштувати горловини, що призведе до великих

ускладнень у роботі станції в період реконструкції і збільшення експлуатаційних витрат.

У роботі [8] були зроблені такі висновки. При переробці в середньому більше 5400 вагонів на добу односторонню сортувальну станцію необхідно розвивати у двосторонню. Момент переходу від односторонньої сортувальної станції до двосторонньої залежить від обсягу роботи в початковий період і темпу його зростання.

При обсязі роботи на 5-й рік експлуатації до 5000 вагонів спочатку необхідно будувати односторонню сортувальну станцію, а потім, коли потік досягне 5000 вагонів, треба вводити в експлуатацію другий комплект. При цьому другий комплект доцільно вводити в момент необхідного за темпом зростання посилення односторонньої станції. При обсязі роботи на 5-й рік експлуатації 5000 вагонів на добу і з подальшим зростанням треба відразу будувати двосторонню сортувальну станцію.

Спеціальне дослідження щодо встановлення сфер застосування односторонніх і двосторонніх сортувальних станцій було виконано на початку 1980-х років минулого століття в МПТі О. В. Мінеєвим і представлене у вигляді дисертації [9]. Автор розглядав два альтернативні варіанти підвищення потужності односторонніх сортувальних станцій, в одному з яких станція, залишаючись односторонньою, реконструюється для систематичного застосування паралельного розпуску, а в другому передбачається перехід до двосторонньої станції. Обидва ці варіанти вимагають великих капіталовкладень, ефективно використання яких визначається за мінімумом приведених будівельно-експлуатаційних витрат.

З урахуванням узагальнення наявних на той час пропозицій з підвищення переробної спроможності сортувальних комплексів при розробленні методики визначення сфер застосування

односторонніх і двосторонніх сортувальних станцій О. В. Мінеєвим розглянуто такі базові варіанти схем колійного розвитку і технічного оснащення станцій:

- одностороння сортувальна станція з послідовним розташуванням парків для застосування послідовного розпуску составів;

- одностороння сортувальна станція з послідовним розташуванням парків, наявністю колієпроводу під гіркою, петльового підходу в парк приймання та петльового виходу з парку відправлення для поїздів невантажного напрямку з застосуванням систематичного паралельного розпуску составів;

- двостороння сортувальна станція з послідовно розташованими парками в обох системах.

Значна частина роботи присвячена розробленню схем горловин парку приймання, але висновок про доцільність переходу від першого базового варіанта до другого за певних умов є недостатньо обґрунтованим. Головний недолік при цьому – неповний облік тих витрат, які будуть викликані необхідністю докорінної реконструкції передгіркової і гіркової горловин станції в умовах експлуатації. При цьому якщо за рахунок організації швидкісного будівництва колійна частина горловин може бути реалізована, то спорудження колієпроводу під гіркою дуже проблематичне.

Викладене свідчить про те, що якщо у віддаленій перспективі обсяг переробки вагонів не перевищить можливостей другого базового варіанта, то станцію слід відразу проектувати з розташуванням локомотивного господарства паралельно сортувальному парку, колієпроводом під гіркою, який буде потрібний при досягненні певного обсягу роботи, а конструкції передгіркової і гіркової горловин передбачати такими, щоб у перспективі вони легко розвивалися для застосування паралельного розпуску составів.

Якщо ж у перспективі буде потрібне спорудження другої сортувальної системи, то слід розглядати перехід від першого до третього базового варіанта з метою встановлення раціональних обсягів роботи і терміну такого переходу.

О. В. Мінєєв визначив такі межі переходу:

- при переробці 5000 вагонів на добу, незалежно від співвідношення і структури вагонопотоків, повинні будуватися односторонні сортувальні станції з послідовним розпуском составів;

- при переробці понад 4000 але менше 8000 вагонів на добу при співвідношенні вагонопотоків 0,5:0,5 і кутовому потоці до 10 % – односторонні сортувальні станції з паралельним розпуском составів;

- при переробці понад 8000 вагонів слід будувати двосторонні сортувальні станції;

- якщо все вищеперелічене не підходить і на 10-й рік експлуатації переробка складе більше 5500 вагонів на добу слід будувати двосторонню сортувальну станцію.

У кінці 1980-х років питання доцільності переходу від односторонньої до двосторонньої сортувальної станції досліджував у своїй роботі В. Г. Дзюба [10]. Маючи великий досвід проектування станцій і вузлів, автор справедливо стверджує, що при розгляді перспективи розвитку сортувальних станцій принциповим питанням стає встановлений режим роботи – одностороння або двостороння, за яким слід нарощувати потужність станції. При цьому він встановив, що за наявності достатньої площадки доцільність будівництва або розвитку станції за двосторонньою схемою при приблизно рівному співвідношенні вагонопотоків за напрямками настає раніше, ніж необхідність застосовувати паралельний розпуск, а саме при обсязі переробки 3500 вагонів на добу. При співвідношенні вагонів з переробкою за напрямками 0,67:0,33 межа доцільності

застосування двосторонніх станцій зміщується до 4000, а при співвідношенні 0,8:0,2 – приблизно до 5000 вагонів на добу.

Автором встановлено, що за таким показником, як питомі капіталовкладення (на 1 км корисної довжини колії або 1000 вагонів переробки на добу), реконструкція сортувальних станцій значно перевершує аналогічні показники інших видів будівництва: нове, розширення, технічне переозброєння. Це пояснюється тим, що на незначну перебудову колійного розвитку накладаються дорогі реконструйовані пристрої автоматики, телемеханіки, зв'язку та електропостачання. Питома вага цих пристроїв у середньому становить 45 %, що на 30 % більше, ніж за проектами нового будівництва.

Тому спорудження другої сортувальної системи, яке викликає порівняно невеликі обсяги перебудови колійних пристроїв існуючої системи, виявляється вигідніше за корінну реконструкцію горловин для організації паралельного розпуску составів на односторонній станції. Крім того, враховуючи, що паралельний розпуск составів на двосторонніх станціях організувати або складно, або взагалі неможливо через структури вагонопотоків, розвиток станції для паралельного розпуску, якщо в подальшому все одно знадобиться друга сортувальна система, призведе до нераціональних бросових робіт.

З точки зору авторів, найбільш прогресивною методикою визначення сфер застосування односторонніх і двосторонніх сортувальних станцій є методика Л. О. Олейникової [2]. У роботі [2] перехід від односторонньої до двосторонньої схеми сортувальної станції являє собою один з етапів адаптації принципової схеми станції до обсягів переробки вагонів, що має на меті досягнення мінімуму суми приведених витрат, грн,

$$E_{np} = \min \left(\sum_{t=0}^T K_t \alpha_t + \sum_{t=0}^T C_t \alpha_t \right), \quad (1)$$

де K_t, C_t – капітальні вкладення та експлуатаційні витрати у відповідному році t , грн;

T – горизонт розрахунку, р.;

α_t – коефіцієнт дисконтування (приведення) витрат.

У відповідності з роботою [2]

$$\alpha_t = \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (2)$$

де E – норма дисконту.

Ця адаптація забезпечується шляхом зміни технічного стану станції, яка вимагає певних капітальних вкладень, що дають у подальшому суттєве зниження експлуатаційних витрат. Найбільш розповсюдженим методом вирішення цього завдання є метод динамічного програмування.

Завдання оптимізації етапності зміни стану станцій на основі динамічного програмування полягає в такому. Проектована станція розглядається як фізична система S , стан якої S_j характеризується набором значень параметрів, які є показниками її технічного стану і технологічного забезпечення. Система взаємодіє з певним транспортним потоком $N(k)$, що складається в загальному випадку з кількох категорій поїздів. Розміри руху характеризуються нерівномірністю всередині розрахункового періоду і кроку розрахунку, змінюються по роках і не залежать від стану системи.

Система S_j є керованою, тобто є можливість впливати на параметри системи, надаючи їм нових значень.

Зміна або збереження стану станції в момент часу t називається переходом або управлінням $U_i^j(t)$, у результаті якого

станція переходить з одного стану в інший ($j \neq i$) або залишається без зміни ($j = i$) залежно від того відповідає наявна пропускна здатність N_n потрібній N_n чи ні.

Кожному стану станції S_j і року експлуатації t відповідає набір значень показників її роботи (пробіги і простої рухомого складу, витрати на маневрову роботу та ін.), сукупність яких являє собою річні експлуатаційні витрати $C_{t,j}$, що є частиною критерію ефективності (E).

Перехід станції з одного стану S_i в інший S_j ($i \neq j$) пов'язаний з необхідністю виконання певних робіт, що викликають капітальні вкладення $K_{i \rightarrow j}$, які складають другу частину критерію ефективності.

Під оптимізацією етапності зміни технічного стану і технологічного забезпечення на основі методу динамічного програмування розуміється пошук такого набору управління $U_i^j(t)$ ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, T$), який забезпечив би за розрахунковий період T мінімум критерію ефективності.

Покроковий розрахунок критерію ефективності та визначення умовно оптимальних переходів здійснюється на основі рекурентного співвідношення

$$E_{i,j}^{onm} = \min(E_{i-1,t}^{onm} + \Delta E_{i,j}(U_i^j)) \quad (t = 1, 2, \dots, T; j = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, j), \quad (3)$$

де $E_{i,j}^{onm}$ – мінімальне значення сумарних приведених витрат в рік t для досягнення в цьому році стану S_j , грн;

$E_{i-1,t}^{onm}$ – те саме в рік $t-1$ для стану S_i , грн;

$\Delta E_{i,j}(U_i^j)$ – приріст критерію ефективності в рік t при переході з технічного стану S_i в стан S_j , грн;
 n – загальна кількість варіантів технічного стану.

$$\Delta E_{i,j}(U_i^j) = K_{i \rightarrow j} \alpha_t + C_{t,i} \alpha_t, \quad (4)$$

де $K_{i \rightarrow j}$ – капітальні вкладення для переходу зі стану S_i в стан S_j , грн;
 $C_{t,i}$ – річні експлуатаційні витрати для стану S_i в рік t , грн.

Для вирішення поставленого завдання доцільно використовувати алгоритм «київський віник», що являє собою багатокроковий процес, на кожному кроці якого виробляється «відмітання» деякої безлічі варіантів, що не містить оптимального варіанта.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, до кінця 1980-х років остаточно встановлено, що питання обґрунтування переходу від односторонніх станцій до двосторонніх є складовою частиною проблеми етапного розвитку сортувальних станцій, одним з рішень, що якісно змінюють саму схему колійного розвитку станції. Це вимагає аналізу досліджень стосовно етапності розвитку сортувальних станцій.

Список використаних джерел

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс]: схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1555-р. – Режим доступу: [www/URL: http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html/](http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html) 10.12.2009. – Загол. з екрана.
2. Олейникова, Л. А. Сферы применения односторонних и двусторонних сортировочных станций при росте и спаде объемов переработки вагонов [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Л. А. Олейникова. – СПб., 2006. – 198 с.
3. Образцов, В. Н. Основные данные для проектирования железнодорожных станций [Текст] / В. Н. Образцов. – М.; Л., 1929. – 156 с.
4. Образцов, В. Н. Станции и узлы [Текст] / В. Н. Образцов. – М.: Трансжелдориздат, 1935. – 315 с.
5. Бартенев, П. В. Железнодорожные станции и узлы [Текст] / П. В. Бартенев. – М.: Трансжелдориздат, 1953. – 504 с.
6. Гликман, М. С. Методика выбора односторонних и двусторонних сортировочных станций [Текст] / М. С. Гликман. – М.: ВНИИ трансп. стр-ва, 1958. – 124 с.
7. Корнаков, А. М. Развитие крупных односторонних сортировочных станций [Текст] / А. М. Корнаков // Железнодорожный транспорт. – 1972. – №11. – С. 18 – 21.
8. Федотова, Т. Н. Этапы развития сортировочных станций [Текст]: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Т. Н. Федотова. – Л.: ЛРШЖТ, 1982. – 25 с.
9. Минеев, А. В. Сферы применения односторонних и двусторонних сортировочных станций [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / А. В. Минеев. – М.: МИИТ, 1983. – 24 с.
10. Дзюба, В. Г. Разработка и обоснование показателей и нормативов для проектирования сортировочных станций на перспективу [Текст]: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Дзюба В. Г. – М., 1989. – 24 с.

11. Zarecky, S. The newest trends in marshalling yards automation [Text] / S. Zarecky, J. Grun, J. Zilka // Transport problems. – 2008. – Т. 3, Vol. 4, Is. 1. – P. 33-38.

12. Yagar, S. An efficient sequencing model for humping in a rail yard [Text] / S. Yagar, F. Saccomanno, Q. Shi // Transportation Research Part A: General. – 1983. – N 17(4). – P. 251-262.

Куценко Максим Юрійович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: maksimus84@meta.ua.

Повод Анастасія Олександрівна, студентка магістратури, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

Денисенко Анастасія Миколаївна, студентка магістратури Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

Певнева Ірина Олександрівна, студентка магістратури Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

Михалевич Зоряна Миколаївна, студентка магістратури Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

Kutsenko Maxim Yriyovich Ph. D., associate professor department of train stations and nodes, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42 E-mail: maksimus84@meta.ua.

Povod Anastasia Oleksandrivna, graduate student, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42.

Denisenko Anastasia Mykolaivna, graduate student, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42.

Pevnyeva Irina Oleksandrivna, graduate student, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42.

Myhalyevych Zoryana Mykolaivna, graduate student, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42.

Стаття прийнята 07.10.2016 р.

УДК 629.4.014

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ПАРКУ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДІВ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ЛІНІЙ

Канд. техн. наук А. М. Зіньківський, А. А. Муха

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ПАРКА ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ

Канд. техн. наук А. Н. Зиньковский, А. А. Муха

ANALYSIS OF DEVELOPMENT TECHNICAL EQUIPMENT POOL DIESEL TRAIN

Cand. of techn. sciences A. Zinkivskiy, A. Mucha

Авторами статті проведено аналіз розвитку залізничного рухомого складу, який спеціалізується на швидкісних пасажирських перевезеннях. Визначено основні вимоги, що висуваються до тягових одиниць рухомого складу, наведено ряд основних технічних параметрів, яким повинен відповідати швидкісний рухомий склад.

Проведено аналіз доступних і адаптованих для залізниць типів рухомого складу, що може задовольняти вимоги і виконувати перевізну роботу з високими швидкостями, запропоновано оптимальний варіант.

Ключові слова: дизель-поїзд, високошвидкісний рухомий склад, пасажирські перевезення, удосконалення конструкції вагонів, технічне оснащення поїздів, вимоги до рухомого складу.

Авторами статті проведено аналіз розвитку залізничного подвижного складу, спеціалізованого на швидкісних пасажирських перевезеннях. Визначено основні вимоги, пред'явлювані до тягових одиниць подвижного складу, наведено ряд основних технічних параметрів, яким повинен відповідати швидкісний подвижний склад.

Проведено аналіз доступних і адаптованих для залізничних доріг типів подвижного складу, що може задовольняти вимоги і виконувати перевізну роботу з високими швидкостями, запропоновано оптимальний варіант.

Ключеві слова: дизель-поезд, високошвидкісний подвижний склад, пасажирські перевезення, удосконалення конструкції вагонів, технічне оснащення поїздів, вимоги до подвижного складу.

Authors of this article analyzed the historical development of the railway rolling stock, which specializes in carriage of passengers on high-speed railway lines. Identified the main requirements applicable to traction units of rolling stock, give a number of the main technical parameters, to which should correspond to a high-speed railway rolling stock. Establishes the basic differences between conventional and high-speed rolling stock. The analysis of the dynamics of movement of trains and set the conditions under which complied with the conditions of comfort for passengers and ride.

The analysis of available and adapted for Ukrainian railways types of rolling stock that can meet the requirements and perform transport operations with high speeds. Propose an optimal variant.

Keywords: diesel train, high-speed rolling stock, passenger services development the design of wagons, technical equipment of trains for rolling stock requirements.

Вступ. З розвитком залізничного транспорту поїзди були єдиною формою громадського транспорту дальнього та ближнього сполучення. Світові залізниці для боротьби з прогресуючим авіатранспортом використовували високошвидкісні паровози зі швидкістю понад 120 км/год.

Із загальних вимог до механічної частини стосовно високошвидкісного рухомого складу (ВШРС) домінуючими стали вимоги безпеки руху та комфорту без зниження техніко-економічної ефективності.

На перший план вийшли проблеми забезпечення динамічної стійкості візка, зменшення реакцій на збурення кінематичного характеру, а також здатність ВШРС довго зберігати свої динамічні характеристики в процесі експлуатації.

Щодо комфорту пасажирів, то разом з необхідністю забезпечити плавність ходу і низький рівень шуму в умовах збурень, що

зросли, виникла проблема захисту пасажира від перепадів тиску повітря при входженні поїзда в тунель і проходженні зустрічних поїздів.

Для ВШРС особливе значення має ресурсозбереження, що диктує необхідність пошуку досконаліших аеродинамічних форм кузова з метою зниження опору руху, зменшення трудомісткості ремонту. Це досягається шляхом використання ретельно відпрацьованих конструкцій вузлів і технології їх виготовлення [1-3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У публікації [1] проведено аналіз розвитку і становлення конструкції швидкісного залізничного рухомого складу в різних країнах світу і їх взаємодії з іншими видами транспорту для зручності користувачів. У роботах [2-10] проведено різного роду експериментальним дослідженням загальної конструкції рухомого складу, конструкції ходової частини, взаємодії рухомого складу з

коліями, виникаючих вібрацій і комфорту пасажирів. За результатами всіх досліджень були сформульовані пропозиції щодо удосконалення конструкції, покращення умов використання та умов розміщення пасажирів.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою та завданням дослідження є визначення залежностей робочих характеристик ВШРС від швидкості руху та обробка результатів випробувань елементів ВШРС і на основі їх зробити рекомендації щодо покращення конструкції дизельного пасажирського рухомого складу.

Основна частина дослідження. Розвинуті країни світу для досягнення оптимальних параметрів ВШРС, відпрацювання конструктивних рішень, що будуть задовольняти вимоги комфортності пасажирів і динамічних і аеродинамічних параметрів, постійно проводять різні види випробувань на новостворених прототипах рухомого складу. Розвиток нового рухомого складу направлений на підвищення швидкості руху до 250-350 км/год. Під час створення нового типу рухомого складу експертами оцінюється ступінь ризику різними математичними та емпіричними способами або за даними, отриманими при експлуатації аналогічних типів ВШРС у цілому та по окремих системах або вузлах.

При проектуванні ВШРС і його складових частин повинні використовуватися технічні рішення, що забезпечують:

- безпеку пасажирів і обслуговуючого персоналу при посадці і висадці, при стоянці і русі ВШРС;
- безпеку обслуговуючого персоналу при експлуатації, у тому числі під час навантаження та розвантаження, і ремонті ВШРС;
- розмір ВШРС;
- стійкість від сходу колеса з рейки;
- стійкість ВШРС від перекидання в криволінійних ділянках шляху;
- запобігання самовільного виходу з місця стоянки;

- зчеплення ВШРС у поїздах для передачі динамічних зусиль на режимах тяги і гальмування;

- неперевикнення погонних навантажень, гранично допустимих сил з впливу на колію, розрахункових осьових навантажень;

- запобігання потрапляння складових частин ВШРС на залізничну колію;

- неперевикнення допустимих сил тяги, гальмування і величин прискорення, зазначених у технічній документації;

- екологічну та гідрометеорологічну безпеку;

- електромагнітну сумісність електрообладнання в частині забезпечення безпеки роботи приладів і обладнання;

- електромагнітну сумісність електрообладнання з пристроями залізничної автоматики і телемеханіки, залізничного електрозв'язку залізничної лінії;

- виконання вимог пожежної безпеки відповідно до Федерального закону «Технічний регламент про вимоги пожежної безпеки»;

- відсутність пластичних деформацій при додаткових поздовжніх і вертикальних розрахункових динамічних навантажень;

- міцність від утоми при циклічних режимах навантаження;

- безпеку електрообладнання у всьому діапазоні експлуатаційних режимів (при номінальних і граничних режимах електропостачання);

- відсутність торкання складових частин ВШРС, не передбаченого конструкторською документацією;

- зчіплюваність ВШРС у криволінійних ділянках залізничної колії;

- підвищення енергетичної ефективності.

Основна відмінність ВШРС від звичайного полягає в його малій масі. Зниження маси пов'язано зі зменшенням силового впливу на залізничну колію, яка зростає зі збільшенням швидкості, і потрібні великі витрати на його

модернізацію або побудову нового. Для виконання цієї умови необхідні нові конструкції кузовів з максимальним полегшенням конструкції.

Метою виготовлення вагонів швидкісних поїздів цільнонесучої конструкції є зниження вартості виготовлення, скорочення енергетичних витрат, а також підвищення рівня комфорту і безпеки руху. Зазвичай пасажирський вагон має салон відкритого типу, два тамбури по кінцях вагона, туалет, міжвагонні переходи. Електрообладнання високої напруги і пневматичне обладнання встановлені під кузовом вагона.

При русі кузов вагона, який спирається на ресорне підвішування візків, зазнає бічних коливань. При дуже гнучкому ресорному підвішуванні кути бічних коливань можуть досягати великих значень, що призведе до виходу вагона за межі габариту рухомого складу. Бічний нахил у кривій компенсується відцентровою силою, що виникає при проходженні вагоном підвищення зовнішньої рейки.

Відцентрова сила, прикладена до центра кузова, становить $1/5 - 1/4$ його маси, але ця величина може змінюватися залежно від висоти і бічного відхилення центра ваги за рахунок бічної гнучкості зв'язку кузова з кузовом і візком, а також за рахунок бічного нахилу на ресорах центрального підвішування.

Для забезпечення рівномірного статичного розподілу сил, переданих від коліс на рейки, для рухомого складу виконують статичне розважування. При цьому визначають таке взаємне розташування обладнання екіпажа, а також опор кузова на візки, при якому нерівномірність розподілу сил натискання ведучих осей не перевищує $\pm 3\%$: коефіцієнт використання зчіпної маси. Статична сила 2Π передається від колісної пари на рейку, змінюється при розвитку локомотивом сили тяги. Ця зміна викликана тим, що сила тяги поїзда

$F_k = n \cdot F_{kn}$ (F_{kn} – дотична сила однієї осі, n – кількість рушійних осей) прикладена в зоні контакту колеса і рейки, а сила реакції поїзда діє на осі автотзчеплення на висоті h_a від головки рейки. Внаслідок цього утворюється пара сил з моментом $M = n \cdot F_{kn} \cdot h_a$, який прагне повертати кузов навколо поперечної осі Y і викликає зміну сил натискання колісних пар на рейки на величину $\Delta\Pi$:

$$n \cdot F_{kn} \cdot h_a = \Delta\Pi \cdot 2a_k. \quad (1)$$

Отже, сила натискання на колію передньою по ходу руху колісною парою зменшується на величину $\Delta\Pi$, а задньою зростає на таку саму величину. Через це умови зчеплення колісних пар виявляються різними, і реалізований коефіцієнт зчеплення ВШРС буде менше від розрахункового. Це означає, що зчіпна маса ВПС недовикористовується на величину $\Delta m = \Delta\Pi/g$. Оцінку цього виконують за допомогою коефіцієнта використання зчіпної маси:

$$\eta_n = \frac{m - \Delta m}{m} = \frac{2\Pi - \Delta\Pi}{2\Pi} = 1 - \frac{\Delta\Pi}{2\Pi}. \quad (2)$$

У режимі гальмування також відбувається перерозподіл сил натискання коліс на рейки, причому найбільш завантаженою виявляється задня колісна пара. Величина η_n визначається конструкцією механічної частини. Для її підвищення застосовують спеціальні заходи. У сучасних візкових поїздах середнє значення η_n досягає величини $0,86 \div 0,94$.

Розвиток автономних вагонів дизель-поїздів, як і моторних електровагонів, являє собою поєднання в одній поїзній одиниці локомотива (паровоз, тепловоз або

аккумуляторний електровоз) і вагона для перевезення пасажирів, рідше для перевезення вантажів. Більшість автовагонів мали запас палива, хімічна енергія якого перетворювалася в механічну роботу в паровій установці (котел або парова машина), як у паровоза, або у двигуні внутрішнього згоряння, як у тепловоза. Були й автономні вагони, обладнані аккумуляторною батареєю, хімічна енергія якої перетворювалася спочатку в електричну, а потім у механічну. Автономні вагони з паровими установками спочатку називалися паровозовагонами, а потім вагонами-самоходами, автономні вагони з двигунами внутрішнього згоряння – автомотрисами, а автономні вагони з аккумуляторними батареями – аккумуляторними моторними вагонами або аккумуляторними електровагонами. Поїзди, складені з декількох автомотрис із дизелями, а найчастіше й причіпних вагонів, що мали електричне встаткування, необхідне для керування всіма зчепленими автомотрисами з кабін машиніста, які розташовувалися, як правило, по кінцях складу, одержали назву дизель-поїздів.

На залізницях Росії після 1917 р. експлуатувалися паровозовагони, автомотриси, аккумуляторні моторні вагони. У їхньому проектуванні й випуску брали участь і закордонні виробники, і російські машинобудівні заводи: Російсько-балтійський, Брянський, Сормовський, Митіщенський, Коломенський, Калужський та ін.

Виробництво вагонів дизель- і електропоїздів у Радянському Союзі було зосереджено тільки в Латвії. Крім того, дизель-поїзди Д1 поставлялися з Угорщини. Слід зазначити, що вагони дизель- і електропоїздів вироблялися різних габаритів. Вагони дизель-поїзда Д1 (Угорщина) мали габарит 1Т, дизель-поїздів постійного і змінного струму будувалися в габариті Т.

Широке застосування в СРСР дизель-поїздів почалося в 1945 р. Перші з них були виготовлені в Угорщині й довоєнній Німеччині й експлуатувалися на Ашгабатській, Ташкентській і Закавказькій залізницях, а з 1949 р. – на залізницях Прибалтики.

У 1949 р. на лінії Мінськ – Вільнюс – Рига почав курсувати двовагонний дизель-поїзд ДП-11, виготовлений заводом MAN (Німеччина). Вагони мали ширину 2868 мм, висоту від головки рейки 3880 мм. Кожний кузов опирався на два двовісні візки, на яких з боку кабін розташовувалися дизелі типу MAN L 12V, який при частоті обертання вала дизеля 1400 об/хв розвивав потужність 420 к.с.; витрата палива дорівнювала 180 г/(к. с. × год). На поїзді була застосована механічна передача системи Міліус із п'ятиступінчастою коробкою передач. Для охолодження води дизеля служили чотири секції холодильника, розташовані над кабіною машиніста, по дві над кожною кабіною. Вентилятори холодильника мали електричний привод. Вода циркулювала в системі охолодження завдяки відцентровому насосу, який приводився в рух від колінчатого вала дизеля. Температура води регулювалася термостатом. Дизель-поїзд був виготовлений для роботи на гірських ділянках. Крім пневматичних і ручного гальм, він був обладнаний електромагнітними, установленими на підтримуючих візках. Пісочниці працюють як у ручному, так і автоматичному режимі.

З 1940 р. у Німеччині було побудовано двовагонний дизель-поїзд ДП13. Він був розрахований на рух з максимальною швидкістю 160 км/год. Кузов кожного з вагонів дизель-поїзда, що мали довжину по буферах 22240 мм, опирався на два двовісних візки, з яких тільки перший (з боку кабін машиніста) мав одну рушійну колісну пару (крайня з боку кабін машиніста). Обидва вагони мали силові установки, розташовані під

вагонами. Гальмування поїзда здійснювалося пневматичними гальмами, причому колодки притискалися до спеціальних дисків, укріплених на осях колісних пар; був і ручний привод гальм. Діаметр нових коліс поїзда 900 мм. Буксові підшипники - дворядні роликові. Вагони з'єднувалися гвинтовим автозчепом. Під кузовами вагонів на прикріплені до них рами були встановлені дизелі типу "Боксер" DWK, які мали невелику висоту й легко розміщалися під кузовом, збільшуючи його корисний обсяг для пасажирів. При частоті обертання 1500 об/хв дизель розвивав потужність 275 к. с., витрата палива – 220 г/(к. с. × год). Крутний момент передавався на гідродинамічну передачу "Фойт", що складалася з двох гідротрансформаторів (у комбінації з зубчастими колесами), карданного вала і осьового редуктора дизель-поїзда. У поїзді було 70 м'яких місць для сидіння, поштові й багажні відділення й туалети.

У середині лютого 1946 р. на базу автомотрис прибули з Німеччини два тривагонні дизель-поїзди ДП14 і ДП15, побудовані фірмою Лінке-Гофман у Бреслау.

Дизель-поїзд ДП14 мав електричну передачу. Дизелі на моторних вагонах були чотиритактними, дванадцятициліндровими, при частоті обертання колінчатого вала 1400 об/хв дизель розвивав потужність 600 к. с. з витратою 185 г/(к. с.×год). Кожен дизель пускав у хід генератор постійного струму з чотирма головними полюсами, потужність генератора складала 400 кВт. Збудник головного генератора мав потужність 15 кВт. Головний генератор моторного вагона живив два тягові електродвигуни, установлені на другому візку цього вагона. Електродвигуни з самовентиляцією мали потужність 180 кВт і приводили в рух колісні пари через зубчасті редуктори. Підвішування двигунів було опорно-осьовим. Довжина кузова вагонів ДП 14 складала 23120 мм (моторні)

і 21935 мм (причіпні), а загальна довжина поїзда по зчіпках 70205 мм. Поїзд було спроектовано для руху зі швидкістю 160 км/год.

Дизель-поїзд ДП15 був коротше й легше від дизель-поїзда ДП14. Він мав довжину 59650 мм і масу тари 121 т; загальна кількість місць для сидіння в ньому дорівнювала 139. На цьому дизель-поїзді була застосована гідравлічна передача де вал кожного дизеля був з'єднаний із ведучим валом гідропередачі. Ведений вал гідропередачі був зв'язаний через карданний вал і осьовий редуктор з колісними парами візка. Гідропередача складалася з підвищувального редуктора, двох гідротрансформаторів, відцентрового масляного насоса й реверсивного механізму.

У світовій практиці до залізничного транспорту завжди висувалися високі вимоги щодо швидкості й плавності ходу. Пошук прогресивних технічних рішень часто пов'язаний з розробленням і впровадженням нових матеріалів, а також освоєнням сучасних методів з'єднання елементів конструкції з цих матеріалів.

Перші пасажирські вагони були дерев'яними. У конструкції використали принцип карети. Більш високі швидкості й відповідно підвищені навантаження, застосовані з 1850 р., викликали необхідність у металевій нижній рамі, зібраній із застосуванням холодних способів у з'єднанні деталей. Проте дерево продовжували використовувати досить широко. В основному це стосувалося кузовів вагонів. Витиснення дерева сталлю знаменувало перший етап технічної революції. Відбулася заміна матеріалів, але не з'явилися нові технології з'єднання елементів конструкції. В основному застосовувалися холодні методи з'єднання – заклепувальні й болтові.

Хоча електрозварювання було винайдено ще в 1885 р., у вагонобудуванні його вперше застосували в 1920 р. при виготовленні вагонів-цистерн. Перехід від

заклепувальної технології виготовлення каркасів кузова до зварювального забезпечило значне зниження маси вагонів. Кузов, що складається зі зварного каркаса й обшивки з тонкого сталевго листа, являють собою класичну диференціальну конструкцію, що дотепер застосовується досить широко.

На початку 1930 р. за заклепувальною технологією вперше виготовили вагони з кузовами з алюмінієвих сплавів. Наприкінці 1960-х рр. почали випускати екструдовані алюмінієві профілі невеликого поперечного перерізу. Надалі, у 1980-1990 р., з'явилися великі екструдовані профілі, з яких за допомогою поздовжніх напрямних і вертикальних стояків формували кузова інтегральної конструкції для пасажирських вагонів. Нова технологія

дозволила широко використати алюмінієві сплави. Це стало можливим завдяки зниженню витрат на виготовлення кузовів за рахунок інтеграції функцій і автоматизації процесів (використання програмувальних зварювальних роботів).

На рис. 1 показано етапи розвитку вагонобудування, впровадження нових матеріалів і технологій. На рисунку видно, що вже кілька років існує метод, що одержав назву гібридного. Він полягає у використанні різних технологій, наприклад обробка нових матеріалів (полімерів, у тому числі армованих скловолокном, пінопластів і ін.), з'єднання елементів конструкції (лазерне зварювання, клейова технологія), а також принципів конструювання (модульний, комбінований).

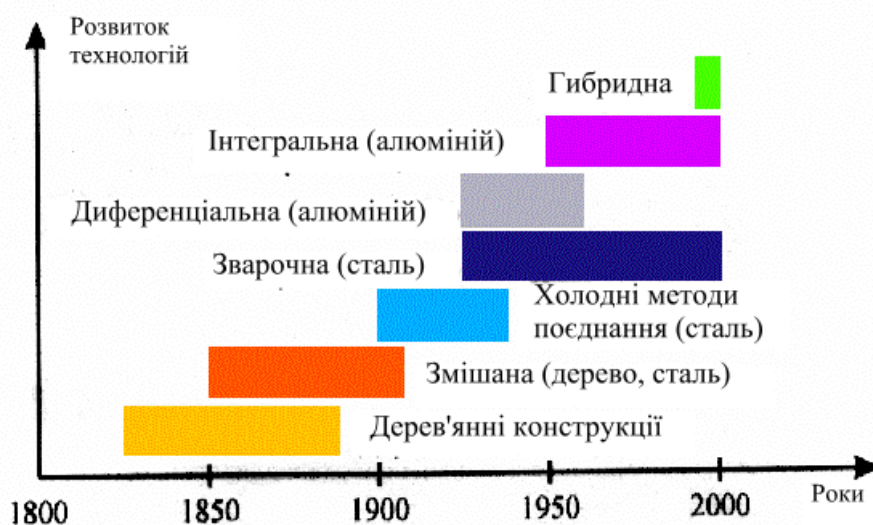


Рис. 1. Етапи розвитку технологій вагонобудування

Протягом десятиріч сталь залишалася домінуючим матеріалом у виробництві залізничного рухомого складу. Яскравим прикладом традиційної зварної сталевго конструкції є кузова двоповерхових вагонів DWA (нині Bombardier) і вагонів дизель-поїзда VT628 компанії Siemens TS. Слід зазначити, що високий ступінь полегшення конструкції забезпечується використанням

спеціально підібраних сортів сталі й застосуванням сучасних технологій, що включають такі, як точкове зварювання, спеціальні методи штампування стояків бічних стінок, лазерне зварювання листів зовнішньої обшивки й т. д. Незважаючи на це, з 1980 рр. при створенні пасажирського рухомого складу все більше

використовуються алюмінієві сплави й полімери, армовані скловолокном.

При цьому сталь залишається одним з найбільш зручних матеріалів для створення полегшених конструкцій. Вона має такі якості: відносно невисока вартість; необхідна міцність, гарна оброблюваність і зварюваність; ремонтпридатність; екологічність й утилізованість; високий потенціал створення полегшених конструкцій.

Сталь і надалі буде відігравати провідну роль у конструкції рухомого складу. Глобалізація й зростаюча мобільність населення ставлять перед залізничною промисловістю нові завдання з подолання існуючих розходжень у стандартах шляхом раціонального підходу до вирішення проблем і використання відповідних загальнодоступних матеріалів, до яких належить сталь.

Прикладом може служити перспективна нержавіюча сталь, що має надзвичайно високу міцність, що підвищується навіть при невеликих деформаціях у холодному стані. Сталь має гарну зварюваність, особливо при використанні лазерного зварювання. Високі показники границі текучості при розширенні звичайно вимагають великого зусилля деформації, а також обліку й компенсування віддачі.

При створенні дизель-поїзда для приміського сполучення в Україні враховувався пасажиропотік у різних регіонах, можливість оперативної зміни складеності, створення комфортних умов для пасажирів, підвищення пасажировмісності. Виходячи з цього була обрана довжина вагона і проектні обриси кузова Т.

На підставі проведених досліджень була обрана основна складеність дизель-поїзда з чотирьох вагонів, що може працювати за системою двох одиниць. Таким чином, передбачена можливість оперативної зміни складеності від двох до восьми вагонів, тобто 2, 4, 6, 8. Дизель-

поїзд може використовуватися як на напружених пасажиропотоках, так і на малодіючих лініях.

При розробленні конструкторської документації в основу покладено такі принципи:

1. Конструкція дизель-поїзда повинна задовольняти вимоги ПТЕ залізниць.

2. Вагони мають бути розраховані на граничний стиск 1,5 Мн (150 т.с.) і максимальне навантаження від маси пасажирів.

3. Пасажиромісткість поїзда повинна відповідати реальним пасажиропотокам на ділянках експлуатації.

4. Габарит поперечної будови має відповідати Т за ДСТУ 9238.

5. Будова вагонів повинна допускати посадку і висадку пасажирів на високих (1100 мм) і низьких (200 мм) платформах (відносно головки рейки).

6. Будова тамбурів і накопичувальних площадок повинні забезпечувати прискорену і зручну посадку і висадку пасажирів.

7. Довжина вагонів за умовами постановки в стійла депо не повинна перевищувати по кузову 25 м.

8. Будова ходових частин вагонів повинна забезпечувати вписування в деповські криві мінімального радіуса.

9. У конструкції вагонів дизель-поїздів повинні повною мірою враховуватися безпека перевезення пасажирів, протипожежний захист і вимоги екології.

10. Рівень шуму в кабіні машиніста і місцях пасажирів має задовольняти вимоги ОСТ 24.050.18-82.

11. При проектуванні повинні бути враховані «Санітарні норми вібрацій у кабіні машиніста тягового рухомого складу» № 4249-87 від 20.01.1987 р., норми вібрацій на сидіннях у пасажирських салонах за ОСТ 24.050.28-81.

12. Дизель-поїзд повинен відповідати вимогам охорони навколишнього середовища:

- не допускати втрат дизельного палива, мастильних матеріалів і мастил;
- параметри димності відпрацьованих газів дизелів мають відповідні ДСТ 24585-81;
- рівень зовнішнього шуму, обмірюваного на відстані 25 м від осі шляху зі швидкістю 60 км/год, не повинен перевищувати 84 дБ.

13. Ергономіка робочих місць і устаткування кабіни машиніста повинна задовольняти вимогам ДСТ 12.2.056-81.

Розроблення технічного завдання на створення дизель-поїзда велось з урахуванням вимог ПАТ «Укрзалізниця», положень стандартів і нормованих документів щодо залізничного рухомого складу.

З метою більш швидкого вирішення проблеми забезпечення пасажирських перевезень у приміському сполученні на неелектрофікованих ділянках було прийнято рішення про розроблення дизель-поїзда з локомотивною тягою (тепловози 2М62 і 2ТЕ116). Дизель-поїзд із тепловозом 2М62 умовно одержав позначення ДТМ, а з тепловозом 2ТЕ116 – ДТЛ2. Виготовлено два дизель-поїзди з тепловозом 2М62, у складі яких по 8 вагонів і по кінцях – по секції тепловоза, і п'ять дизель-поїздів з тепловозом 2ТЕ116, у яких по 4 вагони і по секції тепловоза.

У ситуації, яка склалася на сьогодні щодо пасажирського рухомого складу з автономною тягою, існує досить широкий

спектр варіантів рішення. Розглядаються варіанти придбання нових дизель-поїздів закордонного та вітчизняного виробництва. Серед закордонних виробників розглядалися заводи таких країн, як Польща, Росія та Хорватія, серед вітчизняних виробників виділено лише два заводи, потужності та науково-виробничий потенціал яких може випускати необхідну продукцію.

Продукція польської фірми «ПЕСА» на залізницях України вже себе зарекомендувала автотрисою типу 610М та рейковими автобусами типу 620М (рис. 2, а), як досить комфортний, надійний і сучасний рухомий склад, передбачається придбання двовагонних рейкових автобусів (дизель-поїздів) типу 630М. Продукція російського заводу «Метровагонмаш» представлена двома типами рухомого складу: тривагонним РА-2 (рис. 2, б) і шестивагонним ДПМ. Серед рухомого складу виробництва Хорватії було вибрано дизель-поїзд ТŽV Gredelj, який за параметрами відповідає сучасним вимогам і близький за характеристиками для порівняння. Українською продукцією є дизель-поїзди серії ДЕЛ-02 (рис. 2, в) виробництва ПАО «Луганськтепловоз» та ДПКр-2 (рис. 2, г), виробництва Крюківського вагонобудівного заводу.

Технічні характеристики дизель-поїздів, які порівнюються між собою, для вибору найоптимальнішого варіанта подано в таблиці.

Таблиця

Порівняння характеристик дизель-поїздів виробництва різних країн

Параметр	Тип дизель-поїзда			
	2	3	4	5
Серія рухомого складу	ДПКр-2	ДЕЛ-02	630М	РА-2
Країна-виробник	Україна		Польща	Росія
Кількість вагонів у поїзді	3	3	2	3
Габарит вагонів за ДСТУ 9238	Т	Т	1-Т	Т

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
Потужність силової установки (по дизелю), кВт	2×390	2×550	2×382	2×350
Тип передачі потужності	Гідродинамічна, Voith	Електрична, змінного струму	Гідродинамічна, Voith	Гідродинамічна, Voith
Кількість приводних візків	2 (по одному на кожен вагон)	2 (по одному на головному вагоні)	2 (по одному на кожен вагон)	2 (по одному на кожен вагон)
Максимальна населеність поїзда, люд.	667 (у тому числі 2 в інвалідних візках)	672	372	600
Максимальна експлуатаційна швидкість, км/год	140	120	120	100
Кількість входних дверей у поїзді	14	14	8	8
Система забезпечення мікроклімату	Автоматична	Тільки в кабінах машиніста	Автоматична	Тільки в кабінах машиніста
Наявність краш-системи	Є	Відсутня	Відсутня	Відсутня
Матеріал кузова	Нержавіюча сталь	Конструкційна вуглеводна сталь	Нержавіюча сталь	Нержавіюча сталь
База вагонів, мм	17000	17000	19250	15000
Довжина кузова по осях автотягачу, мм: головний вагон проміжний вагон	24448 -	25250 25250	27350 -	23223 -
Ширина кузова, мм	3500	3500	3000	3500
Загальна довжина поїзда, мм	48900	75750	51600	69670

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. З проведеного аналізу розвитку та застосування дизель-поїздів у світі стає зрозумілою необхідність такого рухомого складу з точки зору попиту на

нього з боку пасажирів на різних напрямках пересування. Для залізниць України стало очевидним, що досить велика кількість існуючого рухомого складу Укрзалізниця залишилася після розпаду СРСР, однак даний моторвагонний рухомий склад на

сьогодні повністю відпрацював свій ресурс і потребує негайної заміни. Роботи зі створення дизель-поїздів спочатку виконувались тільки на одному машинобудівному підприємстві. Спроби створити новий для вітчизняних підприємств тип рухомого складу мали кілька невдалих результатів, однак після цього було створено сучасний ДЕЛ-02. Даний тип дизель-поїзда у своїй конструкції має електричну передачу, що підвищує його ціну та частково знижує надійність через застосування великої

кількості електроніки в системі привода. Для заміни даного типу дизель-поїзда та інших, які вже мають бути списаними відповідно до вимог щодо технічного стану і бути замінені, необхідно провести аналіз нових типів дизель-поїздів закордонного та вітчизняного виробництва, які відповідають сучасним вимогам щодо зовнішнього вигляду і технічних характеристик і можуть забезпечувати пасажирські перевезення на високошвидкісних ділянках колії зі швидкістю руху до 160 км/год.



Рис. 2. Види сучасних серій дизель-поїздів:

а – одновагонний дизель-поїзд (рейковий автобус) («Песа», Польща); б – тривагонний дизель-поїзд («Метровагонмаш», Росія); в – тривагонний дизель-поїзд («Луганськтепловоз», Україна); г – тривагонний дизель-поїзд («Крюківський вагонобудівний завод», Україна)

Список використаних джерел

1. Костромина, И. Японские поезда – симбиоз высоких технологий и комфорта [Текст] / И. Костромина // Вагонный парк. – 2011. – № 1. – С. 46–48.
2. Ride comfort of a high-speed train through the structural upgrade of a bogie suspension [Text] / C.-M. Lee, V. N. Goverdovskiy, C.-S. Sim, J.-H. Lee // Journal of Sound and Vibration. – 20 January 2016. – Vol. 361. – P. 99-107.
3. Skirts and barriers for reduction of wayside noise from railway vehicles—an experimental investigation with application to the BR185 locomotive [Text] / A. Frid // Journal of Sound and Vibration. – 23 October 2003. – Vol. 267, Is. 3. – P. 709-719.
4. Dynamic response of underpasses for high-speed train lines [Text] / J. Vega, A. Fraile, E. Alarcon, L. Hermanns // Journal of Sound and Vibration. – 5 November 2012. – Vol. 331, Is. 23. – P. 5125-5140.
5. A multi-stage high-speed railroad vibration isolation system with “negative” stiffness [Text] / C.-M. Lee, V. N. Goverdovskiy // Journal of Sound and Vibration. – 13 February 2012. – Vol. 331, Is. 4. – P. 914-921.
6. Ground-borne vibration due to static and dynamic axle loads of InterCity and high-speed trains [Text] / G. Lombaert, G. Degrande // Journal of Sound and Vibration. – 23 January 2009. – Vol. 319, Is. 3–5. – P. 1036-1066.
7. Experimental and numerical analysis of a composite bridge for high-speed trains [Text] / K. Liu, E. Reynders, G. De Roeck, G. Lombaert // Journal of Sound and Vibration. - 6 February 2009. – Vol. 320, Is. 1–2. – P. 201-220.
8. Experimental analysis of a high-speed railway bridge under Thalys trains [Text] / H Xia, G De Roeck, N Zhang, J Maeck // Journal of Sound and Vibration. – 13 November 2003. – Vol. 268, Is. 1. – P. 103-113.
9. Measurements of noise from high speed electric trains in the united states Northeast Railroad Corridor [Text] / C. E. Hanson // Journal of Sound and Vibration. – 8 October 1979. – Vol. 66, Is. 3. – P. 469-471.
10. Indirect measurement of main bearing loads in an operating diesel engine [Text] / Q. Leclère, C. Pezerat, B. Laulagnet, L. Polac // Journal of Sound and Vibration. – 23 August 2005. – Vol. 286, Is. 1–2. – P. 341-361.

Зінківський Артем Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99.

E-mail: kumasiktem@gmail.com.

Муха Андрій Анатолійович, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту.

Тел.: (057) 730-19-99.

Zinkivskyi Artem, Cand. of techn. Sciences, associate professor in "Maintenance and repair of rolling stock."

Tel.: 057-730-1999. E-mail: kumasiktem@gmail.com.

Mucha Andrey master of Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-99.

Стаття прийнята 10.10.2016 р.

УДК 624.012:53.09

ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ФРАГМЕНТОВ КОКСОВЫХ БАТАРЕЙ ЧИСЛЕННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ В НЕЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Д-р техн. наук С. Л. Фомин, А. М. Кравченко

ВЕРИФІКАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ФРАГМЕНТІВ КОКСОВИХ БАТАРЕЙ ЧИСЕЛЬНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ У НЕЛІНІЙНІЙ ПОСТАНОВЦІ

Д-р техн. наук С. Л. Фомін, О. М. Кравченко

VERIFICATION OF THE RESULTS OF EXPERIMENTS FRAGMENTS COKE BATTERIES NUMERICAL MODELING IN NONLINEAR STATEMENT

Dr. Sciences S. Fomin, A. Kravchenko

Проведена аппроксимация экспериментального температурного поля по всем конечным элементам моделей исследуемых фрагментов коксовых батарей с боковым подводом отопительного газа, по результатам которой реализовано температурное воздействие при исследовании напряжённно-деформированного состояния численными методами в нелинейной постановке. Выявленные разрушения показали соответствие полученным в опытах, что доказывает достоверность разработанной методики.

Ключевые слова: *фундаменты коксовых батарей, аппроксимация температурного поля по замеренным температурам в отдельных точках, моделирование напряжённно-деформированного состояния методом конечных элементов в нелинейной постановке.*

Проведена апроксимація експериментального температурного поля по всіх скінчених елементах моделей досліджуваних фрагментів коксових батарей з бічним підведенням опалювального газу, за результатами якої реалізовано температурний вплив при дослідженні напружено-деформованого стану чисельними методами в нелінійній постановці. Виявлені руйнування показали відповідність отриманим в дослідях, що доводить достовірність розробленої методики.

Ключові слова: *фундаменти коксових батарей, апроксимація температурного поля по заміряних температурах в окремих точках, моделювання напружено-деформованого стану методом скінчених елементів у нелінійній постановці.*

Approximation of experimental temperature field was done for all finite element models of the studied fragments of coke oven batteries with gun flue inlet of heating gas. Its results were used to reveal temperature impact in the study of stress-strain state by numerical methods in nonlinear statement. The found destructions showed correspondence to the destructions received during experiments which proves the accuracy of the developed method.

Keywords: *foundations of coke oven batteries, approximation of temperature field measured at discrete points, modeling of stress-strain state of the finite elements method in nonlinear statement.*

Введение. Актуальность научных разработок по проблеме обусловлена необходимостью совершенствования

конструктивных решений фундаментов коксовых батарей с боковым подводом отопительного газа. В работе [1] приведены

результаты экспериментального исследования фрагментов монолитных железобетонных фундаментов коксовых батарей с боковым подводом отопительного газа при статической нагрузке и нагревании.

Исследования выполнены на новой установке для проведения огневых испытаний [2], опытные образцы, моделирующие фрагменты фундамента, выполнены в натуральную величину. Получены новые сведения о работе железобетонных конструкций, что позволило усовершенствовать характер армирования, доказать целесообразность конструктивных решений фундаментов из жаростойкого бетона без футеровки борцов.

В данном исследовании проведена верификация результатов этих исследований на основе детальной обработки полученных температурных полей и применения нелинейных численных моделей при анализе напряженно-деформированного состояния фрагментов.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ переноса тепла в фундаментах коксовых батарей проведён в работе [3], нелинейная модель ввода-вывода для коксовой батареи рассмотрена в работе [4], расчёт потерь тепла фундаментной плиты при неравномерных температурных профилях внутренней температуры – в работе [5], расчёту потери тепла в плите с неоднородными внутри профилями температурами воздуха посвящена работа [6], прочности жаростойкого бетона на сжатие при нагреве, кубиковой и призмной прочности бетона при повышенных температурах – работы [7, 8].

В актуализированных нормативных документах [9-14] приведены требования, принципы, правила расчёта и проектирования бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для работы в условиях повышенных и высоких температур. В работе [14] рассмотрены температурные поля в конструкциях фундаментов коксовых батарей, в работе

[15] – проблемы, опыт, возможные решения и рекомендации, компьютерные модели железобетонных конструкций, в работе [16] – экспериментальная модель фрагмента коксовых батарей.

Определение цели и задачи исследования. Целью экспериментальных исследований ставилась верификация результатов экспериментальных исследований на основе детальной обработки полученных температурных полей и применения нелинейных численных моделей при анализе напряженно-деформированного состояния фрагментов.

Задачами являлись:

- разработка методики аппроксимации распределения температуры в экспериментальной модели фрагмента фундамента коксовых батарей;
- определение двумерных температурных полей в элементах образцов;
- выявление влияния температурных моментов на перераспределение усилий;
- определение характера образования разрушения в процессе нагружения и нагревания;
- определение особенностей напряженно-деформированного состояния при наличии и отсутствии футеровки борцов.

Основная часть исследования. Для решения поставленных задач построена расчётная геометрическая модель из прямоугольных элементов, которая будет использована для аппроксимации температурного поля и нелинейного численного анализа напряженно-деформированного состояния фрагментов коксовых батарей при статической нагрузке и температурном воздействии.

Задача в первой части состоит в восстановлении с определённой мерой близости значений температуры во всех элементах модели по экспериментальным значениям в отдельных сечениях, которая называется аппроксимацией (сглаживанием). Расчётная модель представлена на рис. 1.

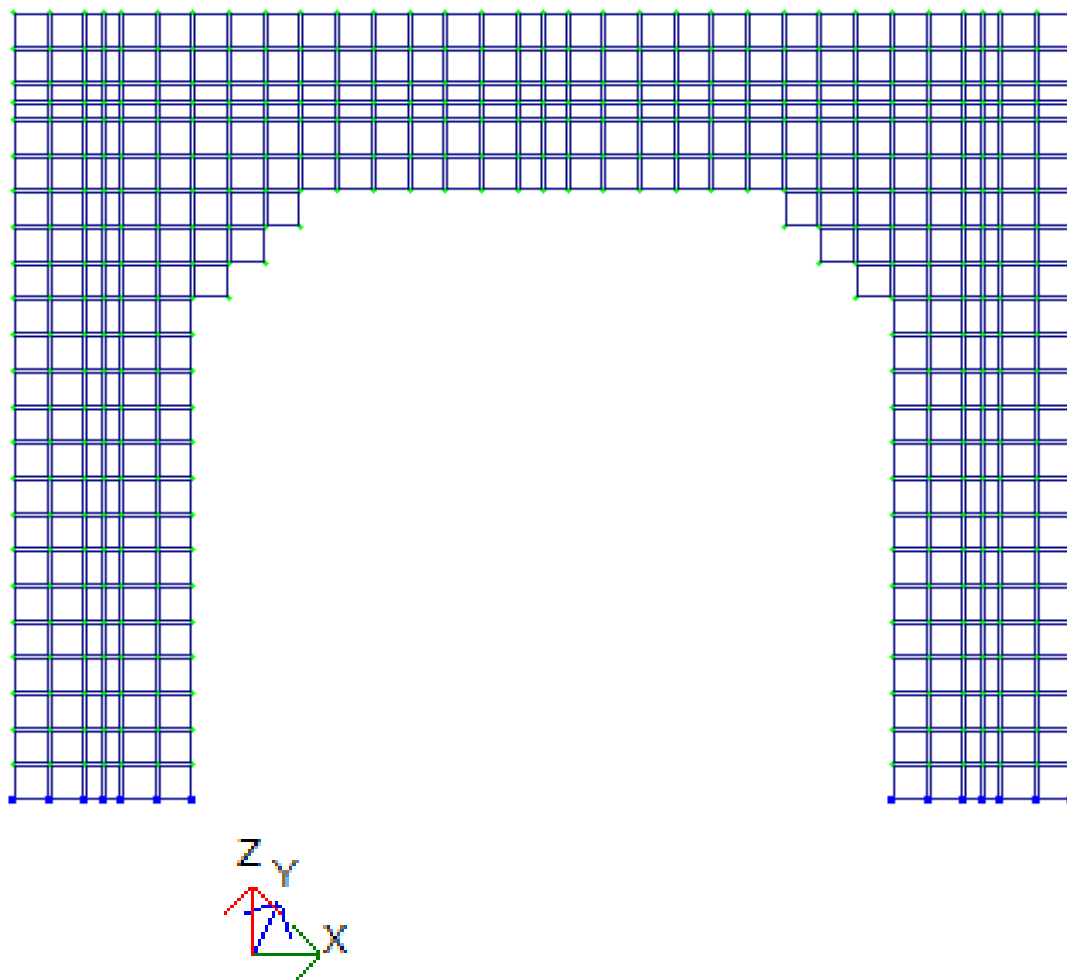


Рис. 1. Расчётная геометрическая модель фрагмента коксовой батареи

Высота модели составляет 2200 мм, ширина – 1940 мм, ширина стоек – 500 мм, высота ригеля – 500 мм. Размеры квадратных элементов 10x10 см и 5x5 см, прямоугольных 5x10 см.

Термопары в опытных образцах заложены в двух сечениях стоек на расстоянии от низа 700 мм и 1430 мм, в двух сечениях по диагонали верхних углов и в сечении посередине ригеля (рис. 2).

Проведение обработки результатов испытания образцов-фрагментов фундаментов коксовых батарей. Несмотря на большое количество термопар (45 шт.), для корректного анализа этого недостаточно, поскольку при расчёте

напряжений и деформаций необходимо задать температуру в каждый элемент. Аппроксимация проводилась следующим образом. В первом сечении левой стойки, расположенной на расстоянии 70 мм, методом линии тренда подбиралась зависимость температуры от X, с началом координат на левой грани колонны, используя табличный процессор Excel, которая с максимальной степенью близости приближается к опытной зависимости и оценивается коэффициентом детерминации R^2 .

Значения опытных температур в первой стойке приведены в табл. 1.

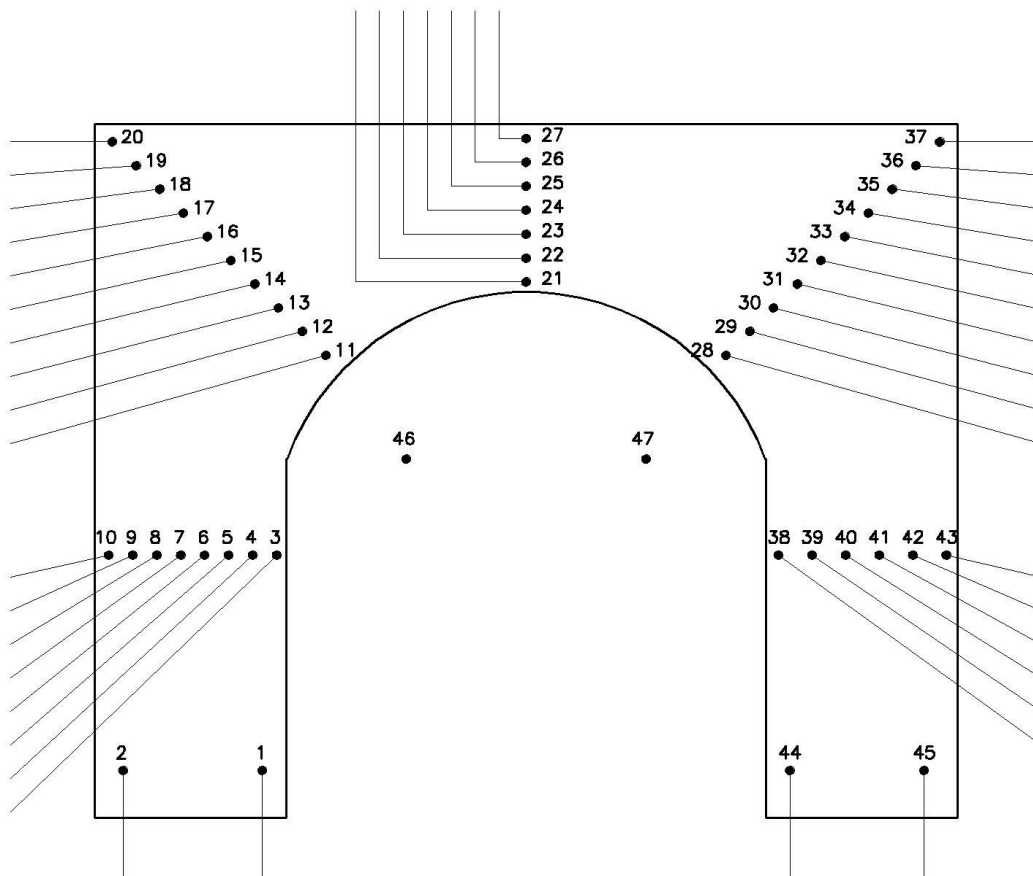


Рис. 2. Расположение термопар на фрагменте фундамента

Для первого сечения (№1-2 термопар) получим формулу

$$T=49,16X + 23,15 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad R^2 = 1. \tag{1}$$

По этой формуле определяем средние температуры в шести столбцах первого сечения:

X, м	0.05	0.15	0.225	0.25	0.35	0.45
T, °C	25.608	30.524	34.211	35.44	40.356	45.272
Z, м	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

Для второго сечения при Z=0,75 м (№3-10) формула имеет вид

$$T=2005 \cdot X^2 - 387 \cdot X + 99,79 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad R^2 = 0.994. \tag{2}$$

По этой формуле определяем средние температуры в шести столбцах второго сечения:

X, м	0.05	0.15	0.225	0.25	0.35	0.45
T, °C	85.4525	86.8525	114.2181	128.3525	209.9525	331.6525
Z, м	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

Таблица 1

Значения опытных температур в первой стойке

Z, м	0.07	0.07	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
X, м	0.430	0.070	0.040	0.100	0.150	0.200	0.265	0.325	0.380	0.440
T, °C	44.3	26.6	80.4	86	105.3	105.3	127.2	182.6	243.8	320.5
№№ Тп	1	2	10	9	8	7	6	5	4	3
Z, м	2.095	2.024	1.953	1.883	1.812	1.741	1.677	1.589	1.540	1.497
X, м	0.155	0.200	0.297	0.367	0.438	0.509	0.573	0.661	0.710	0.753
T, °C	58.8	71.7	129.7	96.3	104.5	112.4	113.7	176.8	220	221.9
№№ Тп	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11

В диагональном сечении температуры зависят от X и Z. По оси X имеем формулу

$$T=446,8 \cdot X^2 - 109,9 \cdot X + 67,53 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad R^2 = 0,98. \quad (3)$$

По этой формуле определяем средние температуры в ячейках шести столбцов диагонального сечения:

X м	0.05	0.15	0.225	0.25	0.35	0.45
T, °C	61	61.098	65.42175	67.98	83.798	108.552
Z, м	2.1	2	1.95	1.9	1.8	1.7

Таким образом, для каждого столбца первой стойки получены средние температуры в трёх точках по высоте. По этим значениям тем же методом находим эмпирические формулы распределения температуры вдоль оси Z.

Для первого столбца температура распределяется по следующей зависимости:

$$T=30,41 \cdot Z^3 - 136,8 \cdot Z^2 + 170,8 \cdot Z + 23,9 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad R^2 = 1, \quad (4)$$

по которой вычисляем все значения температуры по вертикали.

Для второго столбца

$$T=31,69 \cdot Z^3 - 140,3 \cdot Z^2 + 169,9 \cdot Z + 28,81 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad R^2 = 1. \quad (5)$$

Для третьего столбца

$$T=55,91 \cdot Z^3 - 233,4 \cdot Z^2 + 260 \cdot Z + 31,62 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad R^2 = 1. \quad (6)$$

Для четвёртого столбца

$$T=79,1 \cdot Z^3 - 309,8 \cdot Z^2 + 321,9Z + 32,21 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad R^2 = 1. \quad (7)$$

Для пятого столбца

$$T=126,2 \cdot Z^3 - 526 \cdot Z^2 + 526 \cdot Z + 34,8 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad R^2 = 1. \quad (8)$$

Для шестого столбца

$$T=239,2 \cdot Z^3 - 964,3 \cdot Z^2 + 991,2 \cdot Z + 35,48 \text{ }^\circ\text{C}, \quad R^2 = 1. \quad (9)$$

Аналогичные процедуры применяются для аппроксимации температур в ригеле.

На рис. 3 показано температурное поле во фрагменте № 1 коксовой батареи с боковым подводом газа и футеровкой шамотной кладкой.

61	61	69	83	76	96	98	100	102	104	105	106	107	108	108	108
61	60	66	74	70	80	91	101	109	117	124	129	133	136	138	139
62	61	65	69.61	70.4	74	94	112	128	141	153	163	170	176	179	181
62	62	66	68	72	75	100	121	141	157	172	184	193	200	204	205
63	62	66	68	75	78	107	133	156	176	193	207	218	226	231	233
65	65	69	69	84	90	129	163	194	220	243	261	276	287	293	296
68	68	74	73	95	109	210	200	220							
72	71	79	78	109	133	275	280								
75	75	85	85	125	160	302									
78	77	91	93	141	189										
82	82	98	101	158	220										
84	85	104	109	173	250										
87	88	110	117	188	277										
88	90	114	123	200	302										
89	91	117	129	209	321										
89	91	119	132	215	334										
87	90	118	133	216	339										
84	87	116	131	212	335										
79	83	110	126	202	320										
72	76	102	116	185	293										
64	68	90	103	160	256										
53	57	75	85	128	197										
40	44	55	62	86	125										

	футеровка
	бетон

Рис. 3. Температурное поле во фрагменте № 1 коксовой батареи с боковым подводом газа и футеровкой шамотной кладкой

На рис. 4 представлен общий вид расчетной модели фрагмента №1 железобетонного фундамента с футеровкой из шамотной кладки.

По разработанной методике проведено численное исследование напряженно-деформированного состояния фрагмента фундамента коксовых батарей с

боковым подводом отопительная газа в нелинейной постановке на ПК Лира с целью верификации результатов экспериментов.

Расчетная модель плиты собрана из физически нелинейных четырехугольных конечных элементов плоской задачи КЭ230 (балка-стенка).

Стойки представлены 6 столбцами: трех бетонных (первый шириной 10 см, второй 10 см, третий 5 см) и трех из футеровки шамотной кладкой (четвёртый 5 см, пятый и шестой по 10 см). По такой же схеме построен ригель (рис. 4).

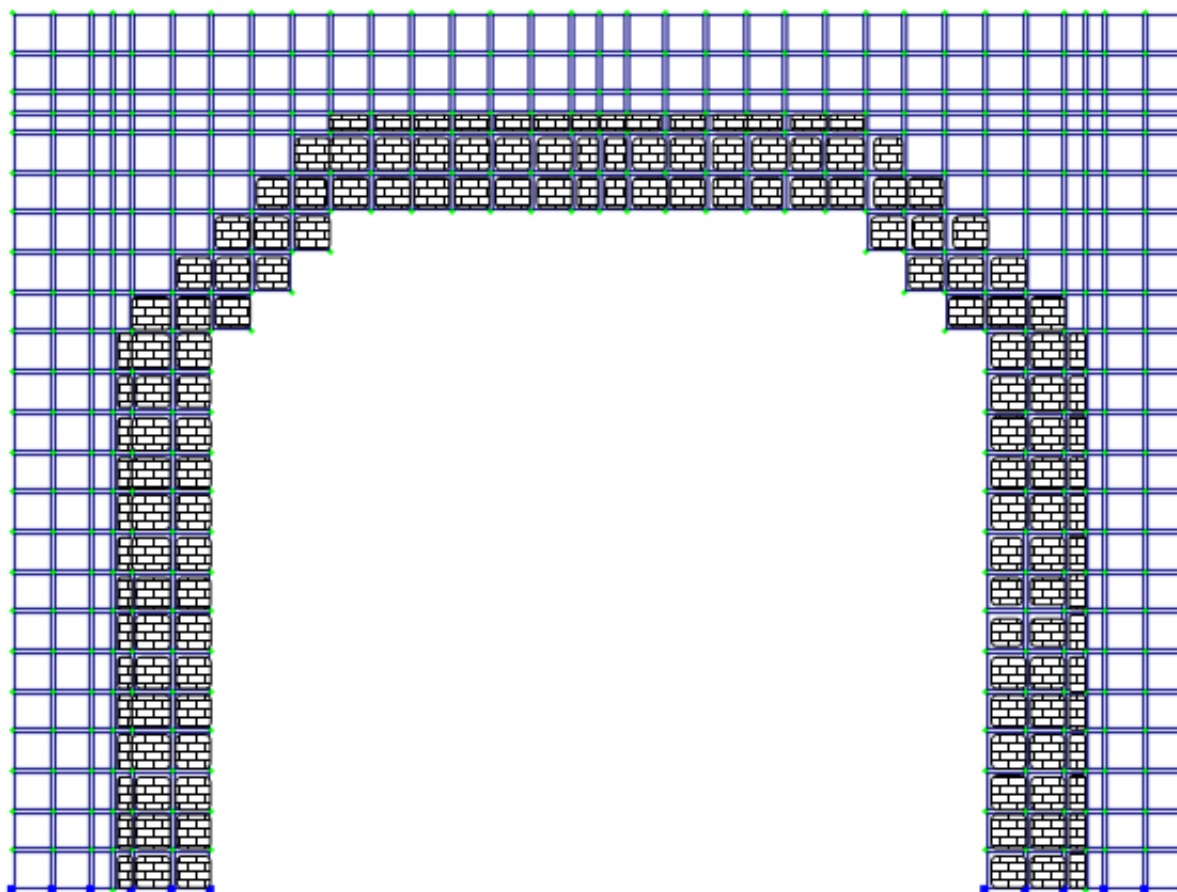


Рис. 4. Расчетная модель фрагмента №1 железобетонного фундамента с футеровкой из шамотной кладки

Характеристики нелинейности для КЭ230 основного материала - бетона класса С25/30 по прочности на сжатие, класса 7 (700 °С) по предельно допустимой температуре применения следующие. Закон нелинейного деформирования принят по экспоненциальной зависимости 11 с учётом влияния температуры нагрева на

прочностные и деформационные характеристики путём введения понижающих коэффициентов условия работы на модуль упругости, прочность и предельные относительные деформации бетона. Закон нелинейного деформирования футеровки принят по 13 зависимости – трёхлинейный закон (рис. 5).

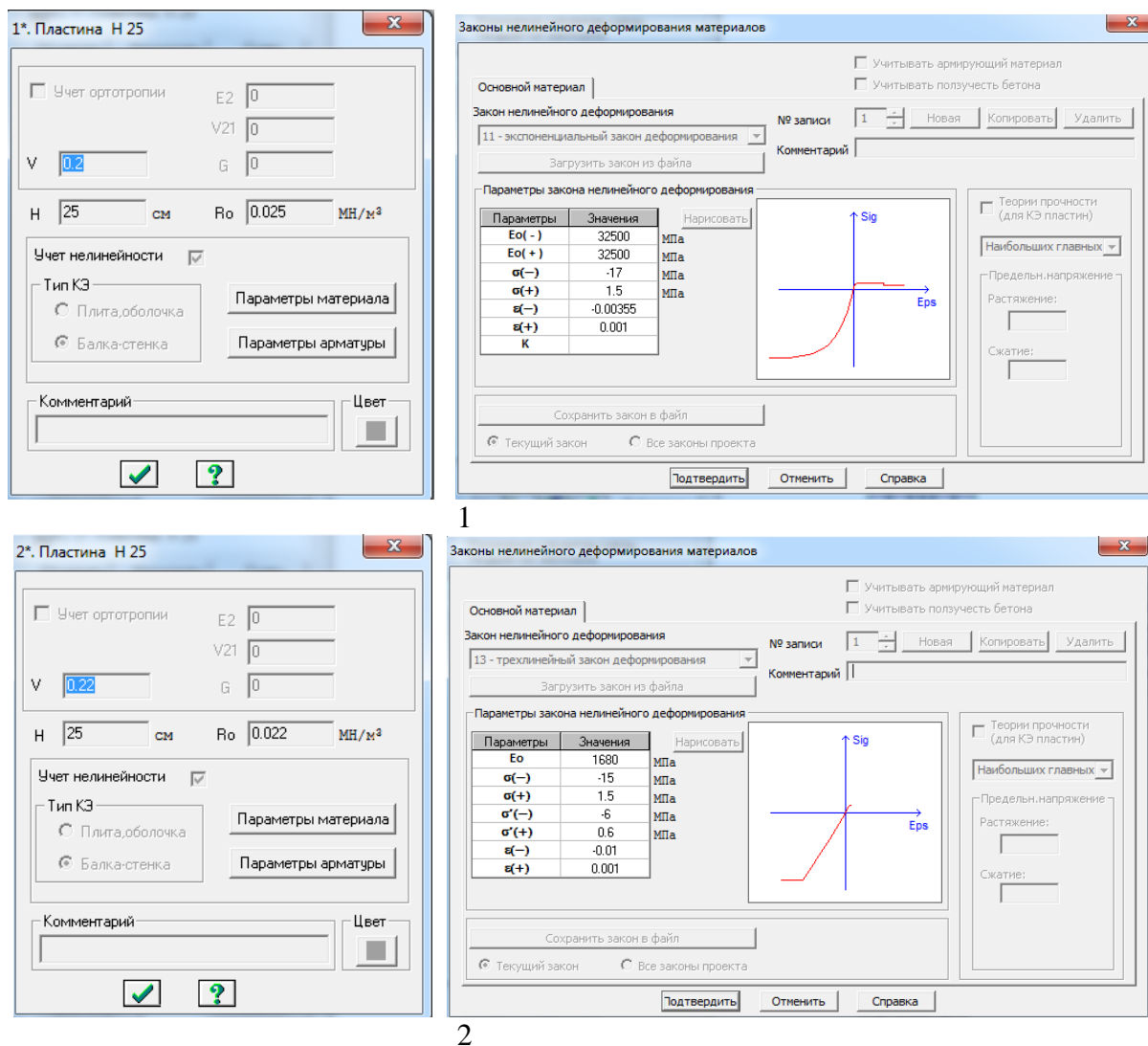


Рис. 5. Законы нелинейного деформирования материалов:
1 – бетонная зона; 2 – зона футеровки

Задание связей. Во всех нижних узлах стоек наложен запрет перемещений по Z и X.

Задание жесткостных параметров элементов. Для бетона – **1*. Пластина Н25:** $E = 32500$ МПа, $\nu = 0,2$, $R_0 = 0,025$ Мн/м³, $H=25$ см. Параметры материалов: $E_0(-) = 32500$ МПа, $E_0(+)$ = 32500 МПа, $\sigma(-) = -17$ МПа, $\sigma(+)$ = 1,5 МПа, $\varepsilon(-) = -0,00355$, $\varepsilon(+)$ = 0,001.

Для футеровки – **2*. Пластина Н25:** $E=1680$ МПа, $\nu=0.22$, $R_0=0,022$ Мн/м³, $H=25$ см. Параметры материалов: $E_0(-) = 1680$ МПа, $E_0(+)$ = 1680 МПа,

$\sigma(-)=-15$ МПа, $\sigma(+)=1,5$ МПа, $\sigma'(-)=-6$ МПа, $\sigma'(+) = 0,6$ МПа, $\varepsilon(-)=-0,01$, $\varepsilon(+)=0,001$.

Задание нагрузок. **Загружение 1.** Собственный вес (в зоне бетона $R_0=0,025$ Мн/м³, в зоне футеровки - $R_0 = 0,022$ Мн/м³). Для этого отмечаем элементы зоны бетона, устанавливаем как текущий тип **1*. Пластина Н25** и задаём собственный вес, добавляя его только на выделенные элементы. Аналогично задаём собственный вес в зоне футеровки с установкой как текущий тип **2*. Пластина Н25**.

Загружение 2. Равномерно распределённая нагрузка от давления кладки КБ $q=19,7 \text{ т/м}^2$, нагрузка на 1 пог. м при ширине фрагмента 0,25 м составляет $q \times 0,25=4,925 \text{ т/м}$ или $0,04925 \text{ т/см}$. Для реализации этой загрузки в эксперименте на верхней поверхности фрагмента расставлялись 3 домкрата с распределительными траверсами с расстоянием 60 см, между траверсами расстояние 28,5 см, и прикладывалась нагрузка в 6 точках путём закачивания масла в домкраты с помощью насосной

станции. Общие усилия определялись по манометру насосной станции, максимальное значение которой $P=0,04925 \times 294=14,4795 \text{ т}$ (т. е. для каждой точки $F=2,41 \text{ т}$).

При расчёте второго нагружения удобнее использовать нагрузку на 1 пог. м $4,925 \text{ т/м}$ или $0,04925 \text{ т/см}$ (табл. 2).

Загружение 3. Температурное воздействие. Температуры задавались в каждый конечный элемент на основании результатов аппроксимации опытных данных (рис. 3).

Таблица 2

Значения сил в узлах верхней поверхности фрагмента № 1

Узел	24	48	72	96	120	144	168	
P, МН	0.0024625	0.004925	0.00369375	0.0024625	0.00369375	0.004925	0.004925	
Узел	178	187	195	202	208	215	223	230
P, МН	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925
Узел	237	244	251					
P, МН	0.00418625	0.0034475	0.00418625					
Узел	258	265	272	279	286	294	303	313
P, МН	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925
Узел	337	361	385	409	433	457	481	
P, МН	0.004925	0.004925	0.00369375	0.0024625	0.00369375	0.004925	0.0024625	

Моделирование нелинейных нагружений произведено при формировании последовательности локального нагружения 1 (собственный вес), локального нагружения 2 (нагрузки от веса кладки) и локального нагружения 3 (температурных воздействий) выбором простого шагового метода расчёта при числе максимальных итераций 300 и 10 равномерных шагов расчёта, учёта предыстории нагружений и вывода на печать перемещений и усилий после каждого шага.

Результаты расчёта представлены серией скриншотов (картин разрушения) и изополей перемещений и напряжений.

При локальном нагружении 1 собственным весом разрушений не произошло. При втором локальном нагружении от собственного веса и веса кладки на 6 шаге возникли трещины в бетоне конечных элементов посередине ригеля на стыке с футеровкой (рис. 6).

На десятом шаге второго локального нагружения трещинообразование распространилось ещё на 6 элементов и периферийные элементы, на стойках также получили трещины (рис. 7), что и подтверждено экспериментом.

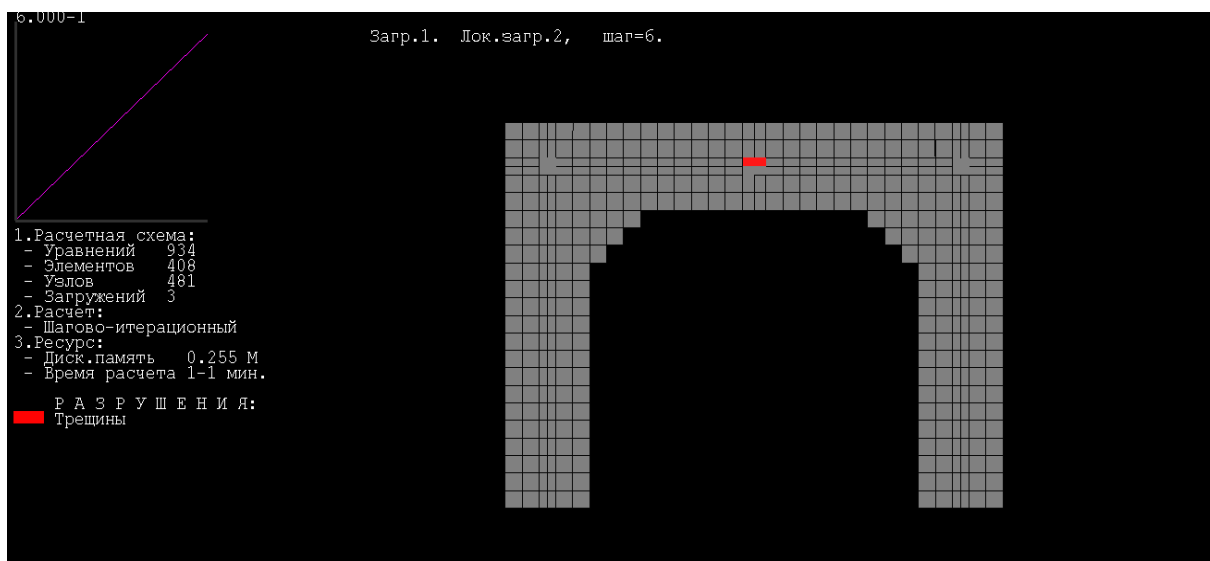


Рис. 6. Картина разрушения на 6 шаге локального нагружения 2 от собственного веса и веса кладки

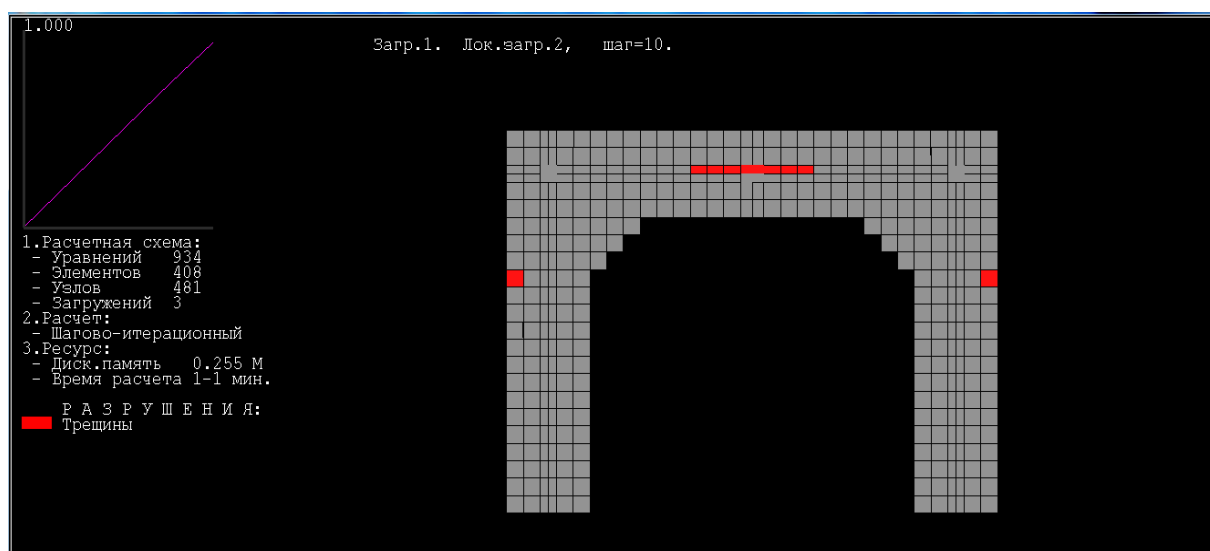


Рис. 7. Картина разрушения на 10 шаге локального нагружения 2 от собственного веса и от веса кладки

При третьем локальном нагружении (воздействие температуры) картина разрушений сменилась на противоположную. Разрушения в виде растяжений и трещин появились в верхней части ригеля, в наружных зонах бетона стоек и в местах стыка с основанием (рис. 8).

Линейный расчёт показал, что при приложении загрузки происходит прогиб

ригеля (рис. 9) и возникают большие растягивающие напряжения в средней зоне ригеля, которые привели к трещинообразованию (рис. 10).

При нагреве происходит выгиб ригеля (рис. 11) и возникают большие напряжения в верхних волокнах бетона ригеля (рис. 12).

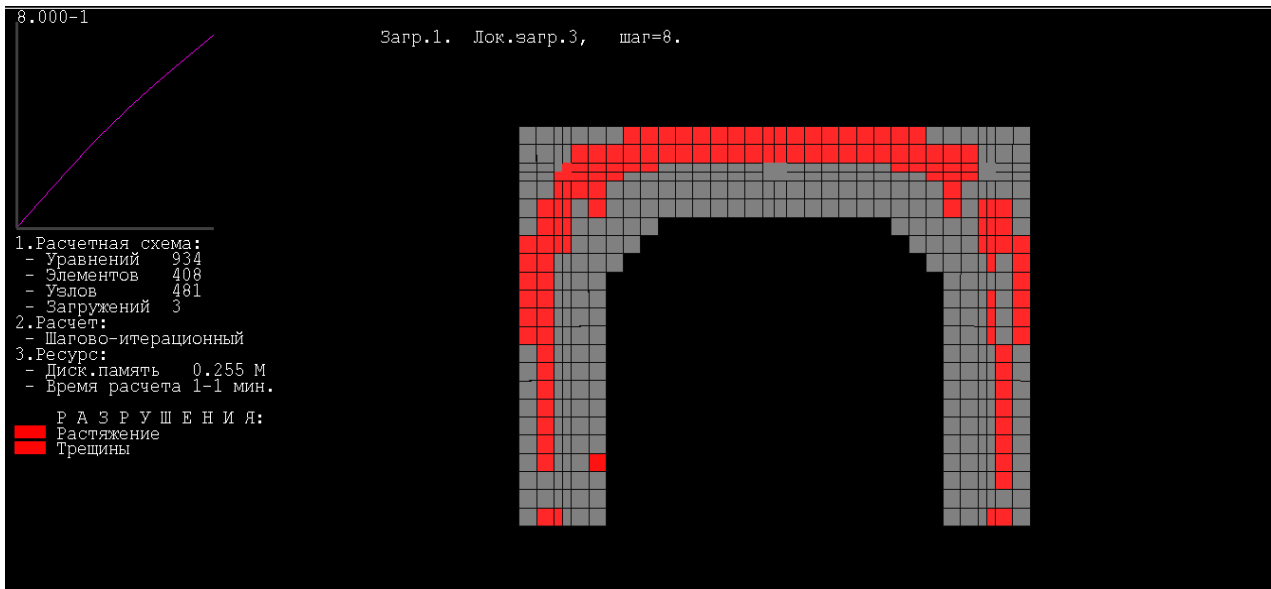


Рис. 8. Картина разрушения на 10 шаге локального нагружения 3 от нагрузки и температурного воздействия

Линейный расчёт фрагмента №1 с футеровкой из шамотной кладки

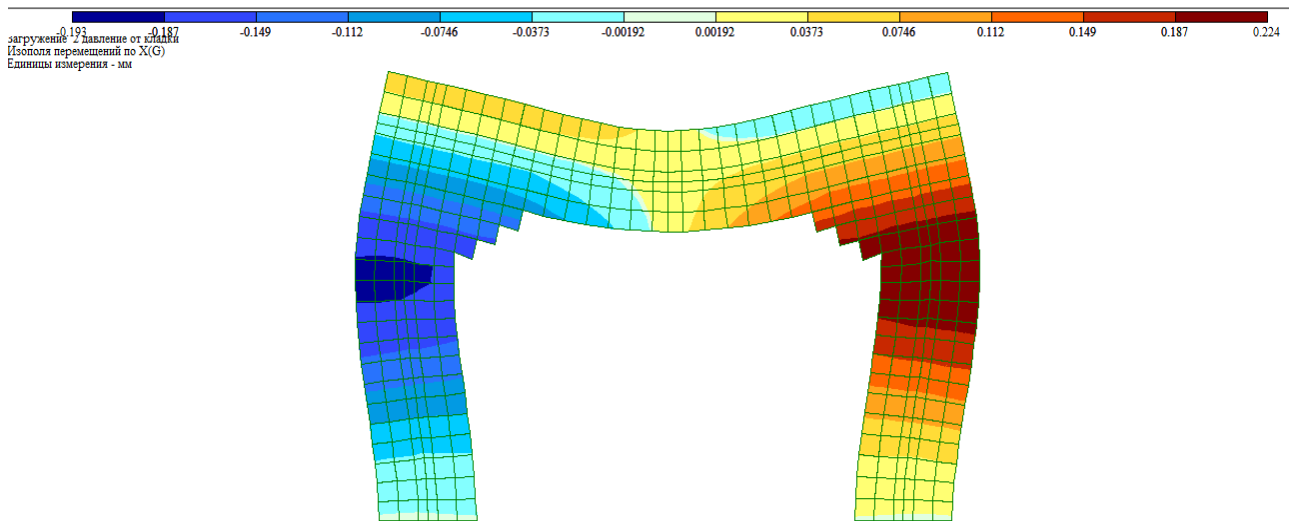


Рис. 9. Изополя перемещений по Z, мм, при приложении нагрузки

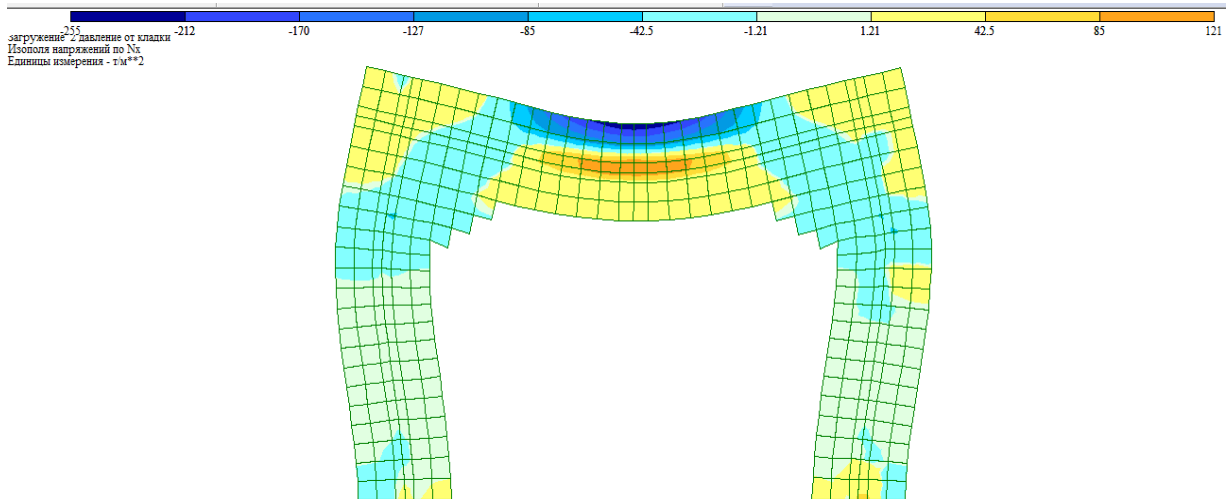


Рис. 10. Изополя напряжений по NX, т/м2, при приложении нагрузки

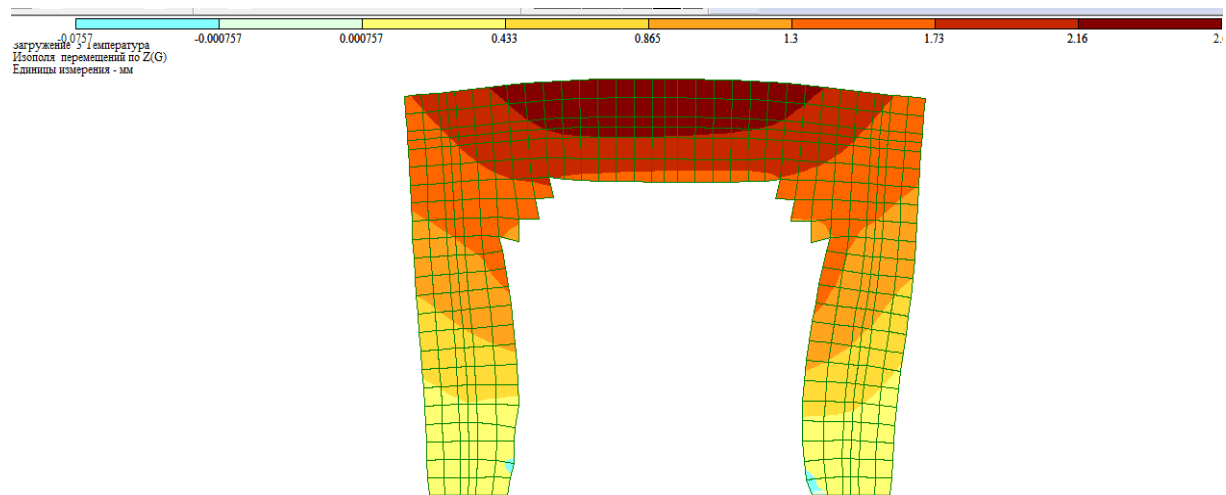


Рис. 11. Изополя перемещений по Z, мм, при температурном воздействии

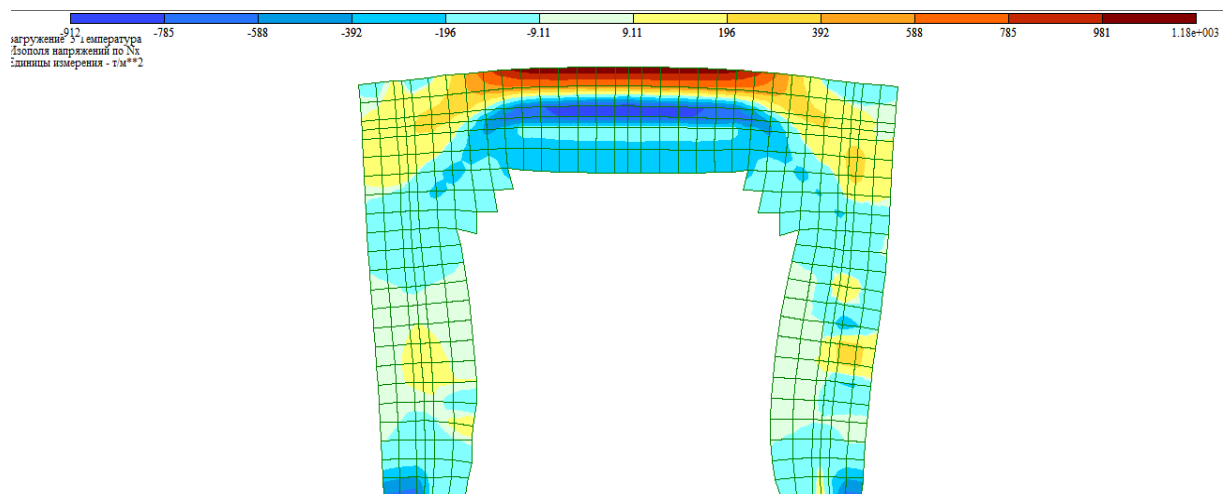


Рис. 12. Изополя напряжений по NX, т/м2, при температурном воздействии

Железобетонный фрагмент фундамента №2 без футеровки борова

Нелинейный расчёт

Проведены нелинейные и линейные и расчёты фрагмента фундамента без футеровки. Расчёты выполнены по той же разработанной методике, но при замене футеровочной зоны на бетонную путём смены жёсткости **-2***. **Пластина Н25** на жёсткость **1***. **Пластина Н25** и замены закона нелинейного деформирования материалов для футеровки законом для бетона.

При втором локальном загрузении от собственного веса и веса кладки на 10 шаге возникли трещины в нижней зоне посредине ригеля (рис. 13). При этом максимальная общая нагрузка равнялась $P=14,1$ т.

На рис. 14 показана картина разрушения на 1 шаге локального загрузения 3 от нагрузки и температурного воздействия. Одной десятой части воздействия температур оказалось достаточным для возникновения трех видов разрушения. По мере увеличения интенсивности воздействия увеличивалось количество разрушенных элементов (рис. 15, 16).

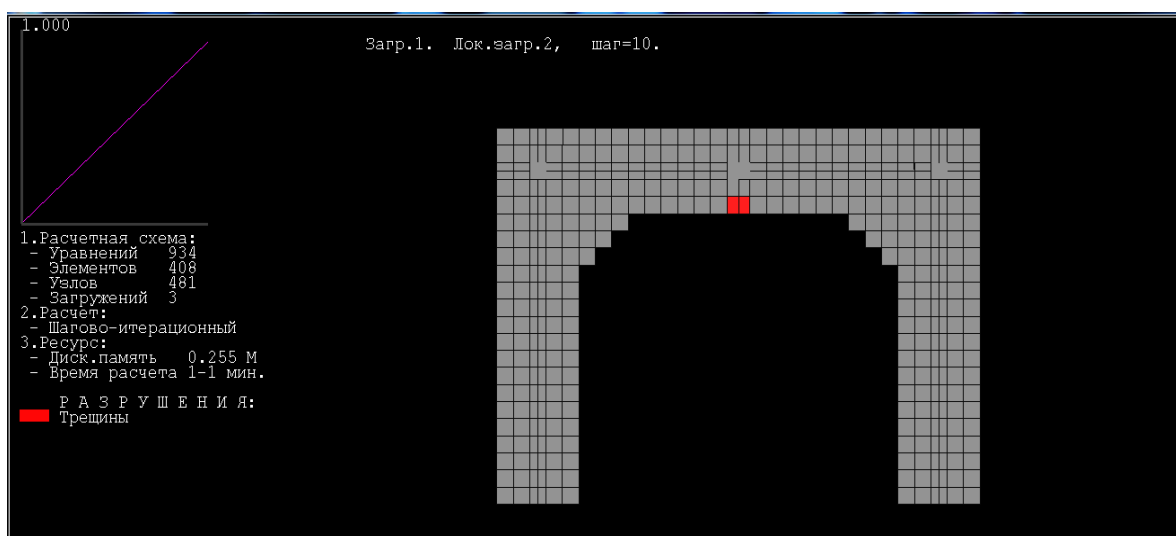


Рис. 13. Картина разрушения на 10 шаге локального загрузения 2 от собственного веса и веса кладки

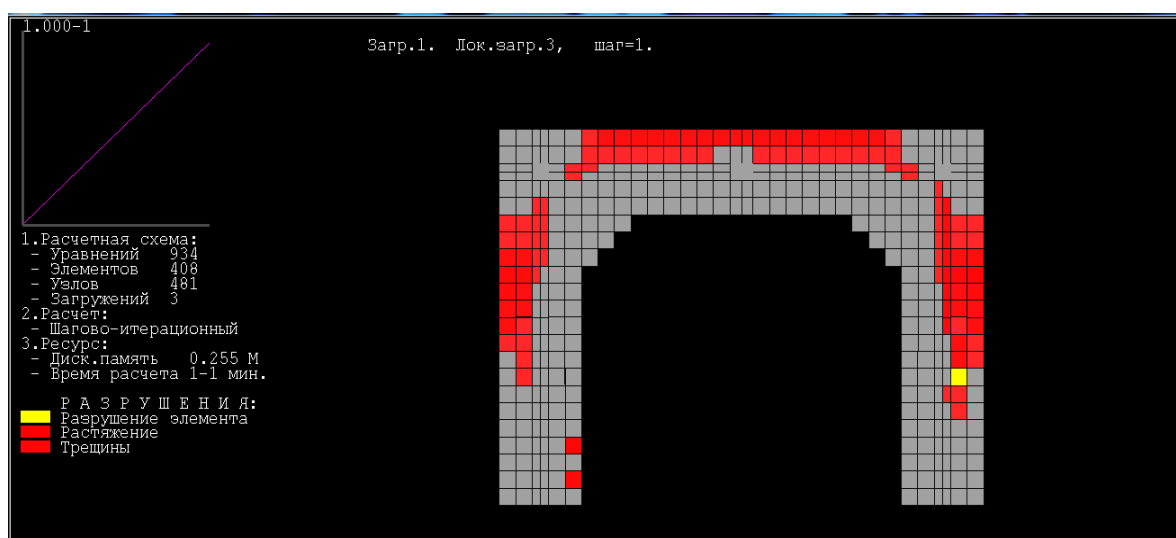


Рис. 14. Картина разрушения на 1 шаге локального загрузения 3 от нагрузки и температурного воздействия



Рис. 15. Картина разрушения на 5 шаге локального нагружения 3 от нагрузки и температурного воздействия



Рис. 16. Картина разрушения на 10 шаге локального нагружения 3 от нагрузки и температурного воздействия

Линейный расчёт фрагмента №2 (без футеровки)

Расчёт показал, что при приложении нагрузки растягивающие напряжения возникли в нижней зоне ригеля, которые и

привели к образованию трещин (рис. 17). При нагреве происходит выгиб ригеля и возникают большие напряжения в верхних волокнах бетона ригеля (рис. 18).

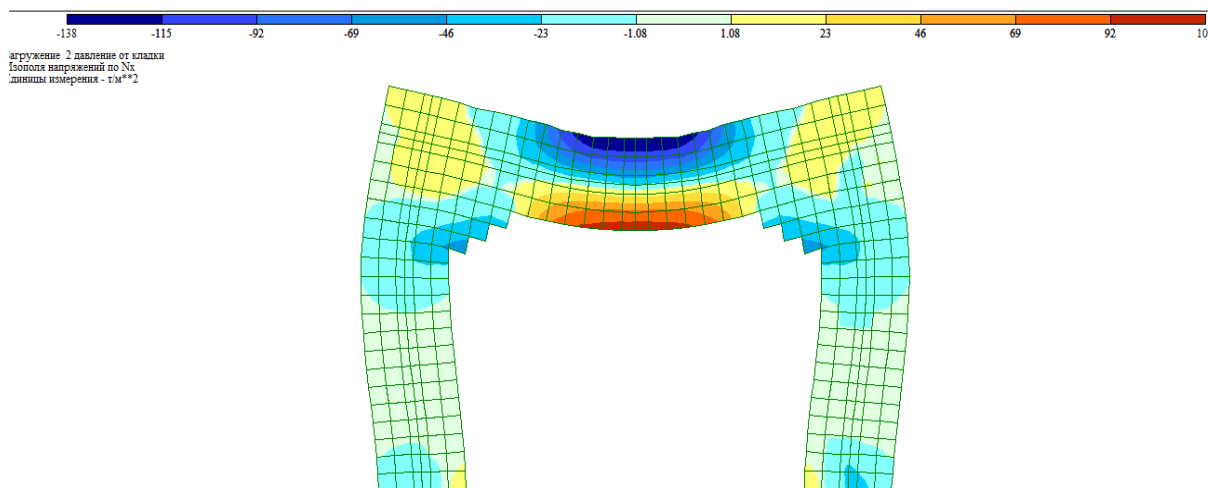


Рис. 17. Изополю напряжений по N_x , т/м^2 , при приложении нагрузки

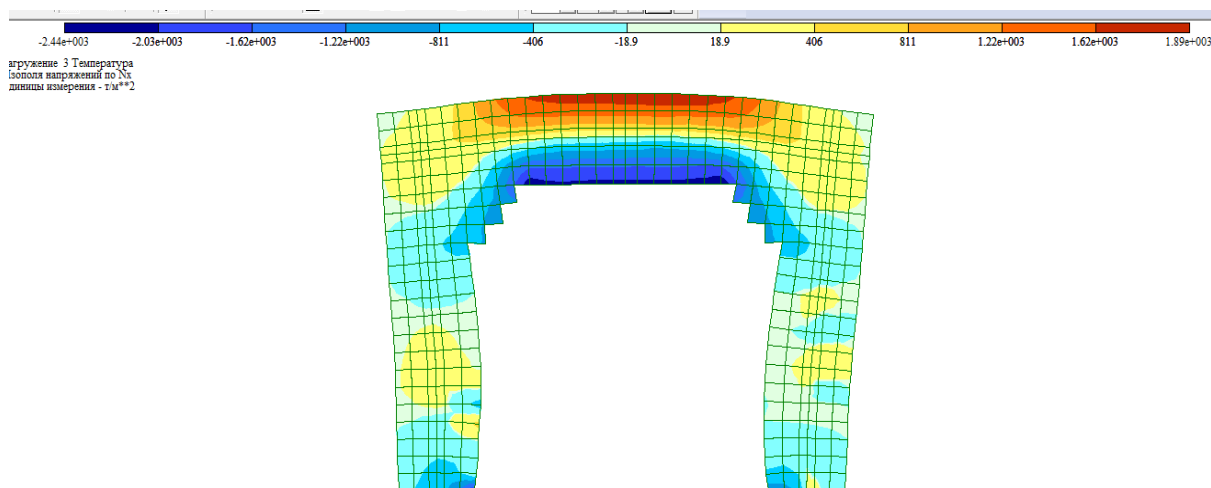


Рис. 18. Изополю напряжений по N_x , т/м^2 , при температурном воздействии

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении

1. Проведённые исследования подтвердили результаты натурных экспериментов, изложенных в работе [1]. Применение компьютерных технологий численного моделирования с использованием нелинейной теории железобетона позволило выявить особенности протекания процессов формирования напряжённо-деформированного состояния в конструкциях фундаментов коксовых

батарей на всем протяжении приложения нагрузок и температурного воздействия. Подтверждена достоверность гипотезы о целесообразности конструктивных решений фундаментов из жаростойкого бетона без футеровки бортов.

2. Дальнейшее развитие предложенного подхода может быть использовано при расчётах различных железобетонных конструкций, работающих в условиях воздействия повышенных и высоких температур.

Список использованных источников

1. Фомин, С. Л. Экспериментальное исследование фрагментов монолитных железобетонных фундаментов коксовых батарей: [Текст] / С.Л. Фомин, А. М. Кравченко // 36. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 162. – С. 82-94.
2. Установка для випробування залізобетонних виробів на прикладі фрагментів фундаментів коксових батарей [Текст]: пат. на корисну модель № 108834 Україна, МПК G01N 3/30 (2006.01) / Кравченко О. М., UA, Фомін С. Л., UA. власник: державне підприємство «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості» - № u 201603449; заявл. 04.04.2016; опубл. 25.07.2016, Бюл. №14. – 4 с.
3. 98/03564 Technical trends in the redesign and construction of coke oven batteries and units for dry quenching of coke. Fuel and Energy Abstracts [Text]. – September 1998. – Vol. 39, Issue 5. – P. 336.
4. Input-output nonlinear model of a coke oven battery. Control Applications of Nonlinear Programming and Optimization [Text] / C. Bénard, S. Berekdar, C. Duhamel, M.-M. Rosset. – 1989, 1990. – P. 95-99.
5. CFD analysis of the thermal behaviour of heating walls in a coke oven battery. International Journal of Thermal Sciences [Text] / J. Smolka, L. Slupik, A. Fic, A. J. Nowak, L. Kosyrczyk. – June 2015. – Vol. 104. – P. 186-193.
6. Slab heat loss calculation with non-uniform inside air temperature profiles. Energy Conversion and Management [Text] / S. Choi, M. Krarti. – September 1996. – Vol. 37, Is. 9. – P. 1435-1444.
7. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення [Текст]. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. – 71 с.
8. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування [Текст]. – К.: Мінрегіонбуд України. – 2011. – 118 с.
9. ДСТУ-Н-П Б В.2.6-XX:20XX. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість [Електронний ресурс]: EN 1992-1-2:2004, MOD. – Режим доступу: Minregion.info.
10. СНиП 2.03.04-84. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях повышенных и высоких температур [Текст]. – М., 1985. – 54 с.
11. СП 52-110-2009. Бетонные и железобетонные конструкции, подвергающиеся технологическим повышенным и высоким температурам [Текст] / ФГУП «НИЦ «Строительство». – М., 2009. – 166 с.
12. СП 27.13330.2011. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур [Текст]: актуализированная редакция СНиП 2.03.04-84. – М., 2011. – 115 с.
13. СТО 36554501-006-2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций [Текст]. – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2006. – 81 с.
14. Фомин, С. Л. Температурные поля в конструкциях фундаментов коксовых батарей [Текст] / С. Л. Фомин, А. М. Кравченко. // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА: ХОТВ АБУ, 2013. – Вип. 73. – С. 436-444.
15. Городецкий, А. С. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона (проблемы, опыт, возможные решения и рекомендации,

компьютерные модели, информационные технологии) [Текст] / А. С. Городецкий, Л. Г. Батрак, Л. В. Лазнюк, С. В. Юсипенко. – К.: Изд-во «Факт», 2004. – 106 с.

16. Кравченко, А. М. Экспериментальная модель фрагмента коксовых батарей [Текст] // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА: ХОТВ АБУ, 2016. – Вип. 1(83). – С. 134-138.

Фомін Станіслав Леонідович, д-р техн. наук, професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, Харківський національний університет будівництва та архітектури. Тел.: (057) 700-01-63. E-mail: Sfomin@ukr.net.

Кравченко Олександр Михайлович здобувач наукового ступеня канд. техн. наук кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, Харківський національний університет будівництва та архітектури, заступник директора ДП «ГИПРОКОКС». Тел.: (057) 719-22-96. E-mail: kravchenko@giprokoks.com.

Fomin Stanislav Leonidovich, Dr. Sc., professor of chair of concrete and masonry structures at Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057) 700-01-63. E-mail: Sfomin@ukr.net.

Kravchenko Alexander Michailovich, applicant for scientific degree of candidate of technical sciences at chair of concrete and masonry structures in Kharkiv National University of Construction and Architecture. Deputy Director of SE "GIPROKOKS" Tel.: (057) 719-22-96. E-mail: kravchenko@giprokoks.com.

Стаття прийнята 11.10.2016 р.

УДК 629.424.4

ЕЛЕКТРИЧНИЙ МОТОРВАГОННИЙ РУХОМИЙ СКЛАД ПІДВИЩЕНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Магістри М. О. Задирака, О. В. Коваленко, В. Є. Табацький

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МОТОРВАГОННЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Магистры Н. А. Задирака, А. В. Коваленко, В. Е. Табацкий

MODERNIZED ELECTRIC TRAIN WITH HIGH POWER EFFICIENCY

Masters N. O. Zadiraka, O. V. Kovalenko, V. E. Tabatskyu

Мінімізацію впливу коливання рівня напруги в контактній мережі на величину тягового зусилля в області високих швидкостей пропонується забезпечити шляхом використання додаткового джерела живлення. Математичне моделювання режимів тяги та електричного гальмування підтвердили ефективність прийнятих рішень.

Ключові слова: електропривод, тягове зусилля, швидкість руху.

Минимизацию влияния колебания уровня напряжения в контактной сети на величину тягового усилия в области высоких скоростей предлагается обеспечить путем использования дополнительного источника питания. Математическое моделирование режимов тяги и электрического торможения подтвердили эффективность принятых решений.

Ключевые слова: электропривод, тяговое усилие, скорость движения.

Minimize the influence of fluctuations in the level of contact network voltage on the value of traction at high speeds is proposed by provide additional source of power supply. Proposed traction electric drive train type EPL9T, ER9T, additionally equipped with a power source, including its series with the main circuit. To improve mass-overall performance of additional equipment is proposed to increase the frequency of the output voltage additional power source. The way for additional energy sources proposed traction motors that operate in generator mode with the electric braking rheostat. The proposed circuit design solution contributes to the braking mode electric energy storage, and a significant expansion of effective braking. Determined that the value of the accumulated energy for proposed system depends on the initial voltage on capacitor. Mathematical modeling of the regimes of traction and braking confirmed the effectiveness of the decisions taken.

Keywords: electric drive, traction effort, speed of movement.

Вступ. Забезпечення конкурентоспроможності пасажирських перевезень залізничним транспортом потребує вирішення комплексу завдань, у тому числі завдань щодо підвищення маршрутних швидкостей руху та зниження витрат електроенергії на тягу.

Існуючий електричний моторвагонний рухомий склад (електропоїзди) залізниць України має подібні технічні характеристики за цілим рядом параметрів: конструкційна швидкість, прискорення при пуску та уповільнення при гальмуванні, швидкість сполучення на умовній ділянці, довжина умовної ділянки, кількість моторних осей, тип тягових двигунів та інше, і, як наслідок, швидкісні характеристики, характерною особливістю яких є те, що залишкове прискорення електропоїзда при швидкості руху 130 км/год дорівнює приблизно 0. Очевидно, що зазначене не сприяє забезпеченню підвищення маршрутних швидкостей руху та зниженню витрат електроенергії на тягу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У цілому підхід щодо формування вимог до електропоїздів приміського сполучення не зазнав значних змін [1-3]. Але вимоги часу, пов'язані з необхідністю забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту, потребують уточнення як цих вимог, так і бачення перспективи в застосуванні даного типу рухомого складу [4].

Безумовно, суттєве зниження сили тяги в області високих швидкостей, що характерно для електропоїздів, негативно впливає не лише на їх швидкісні характеристики, а і на рівень споживання електроенергії на тягу при забезпеченні високих значень маршрутних швидкостей [5]. Якщо прийняти до уваги той факт, що рівень напруги живлення в контактній мережі може коливатись у досить широкому діапазоні, то її зниження, тим більше, може призвести не лише до ускладнення в забезпеченні маршрутної швидкості, а і до суттєвих перевитрат електроенергії [6].

Вихід за цих умов вбачається в модернізації існуючого парку електропоїздів у плані реалізації заходів, які забезпечували б збільшення тягового зусилля електропоїзда в області високих швидкостей при одночасному зниженні витрат електроенергії [7-10].

Визначення мети та задачі дослідження. Основним завданням дослідження визначено необхідність розроблення заходів щодо модернізації електропривода електропоїздів змінного струму з метою мінімізації впливу коливання рівня напруги в контактній мережі на величину тягового зусилля в області високих швидкостей, а також зниження витрат електроенергії на тягу.

Основна частина дослідження. Мінімізацію впливу коливання рівня напруги в контактній мережі на величину

тягового зусилля в області високих швидкостей можна забезпечити шляхом використання додаткового джерела живлення. Пропонується тяговий

електропривод електропоїзда типу ЕПЛ9Т ЕР9Т додатково обладнати джерелом живлення, включивши його послідовно з основним (рис. 1).

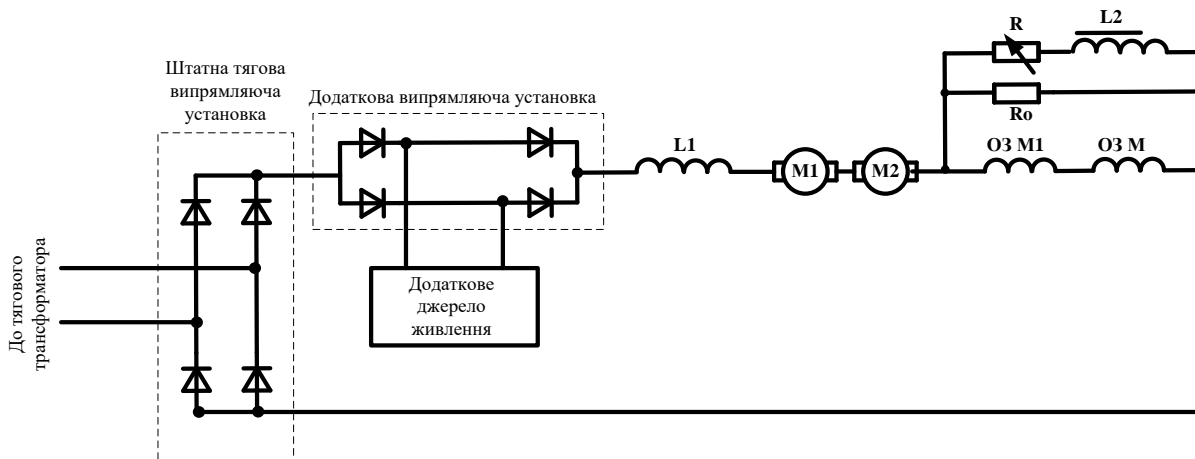


Рис. 1. Спрощена модернізована схема силової схеми електропоїзда змінного струму з додатковим джерелом живлення

Проведені дослідження режиму тяги при модернізованому електроприводі за допомогою імітаційної моделі, реалізованій у середовищі програмного забезпечення MATLAB, підтвердили ефективність прийнятого рішення.

Для поліпшення масо габаритних показників додаткового обладнання

запропоновано збільшити частоту вихідної напруги додаткового джерела живлення до $f = 1000$ Гц. Осцилограми напруг живлення тягових електричних двигунів (ТЕД) при зниженій напрузі живлення на пантографі і ввімкненому додатковому джерелі живленні подано на рис. 2.

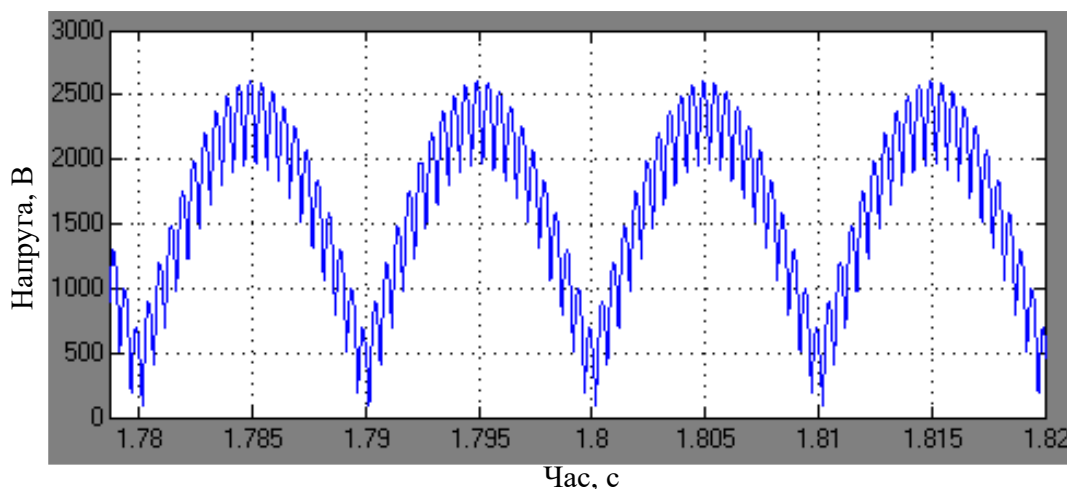


Рис. 2. Осцилограми напруг живлення ТЕД при зниженій напрузі в контактній мережі. Додаткове джерело ввімкнено ($f = 1000$ Гц)

Що стосується питання живлення додаткового джерела енергії, то основним джерелом енергії можуть бути ТЕД, які працюють у генераторному режимі при електричному гальмуванні. На рис. 3 показана спрощена структурна схема системи накопичення енергії при реостатному гальмуванні, де M1, M2 – тягові електричні двигуни ТЕД; O3 M1, O3 M2 – обмотки

збудження ТЕД моторного вагона, підключені до перетворювача UA2; R1, R2 – гальмівний резистор; UA – пристрій акумулювання енергії; UA1, UA2 – статичні перетворювачі; UA3 – статичний перетворювач, призначений для регулювання струму збудження ТЕД; Uy1, Uy2, Uy3 – сигнали управління статичними перетворювачами; L – дросель.

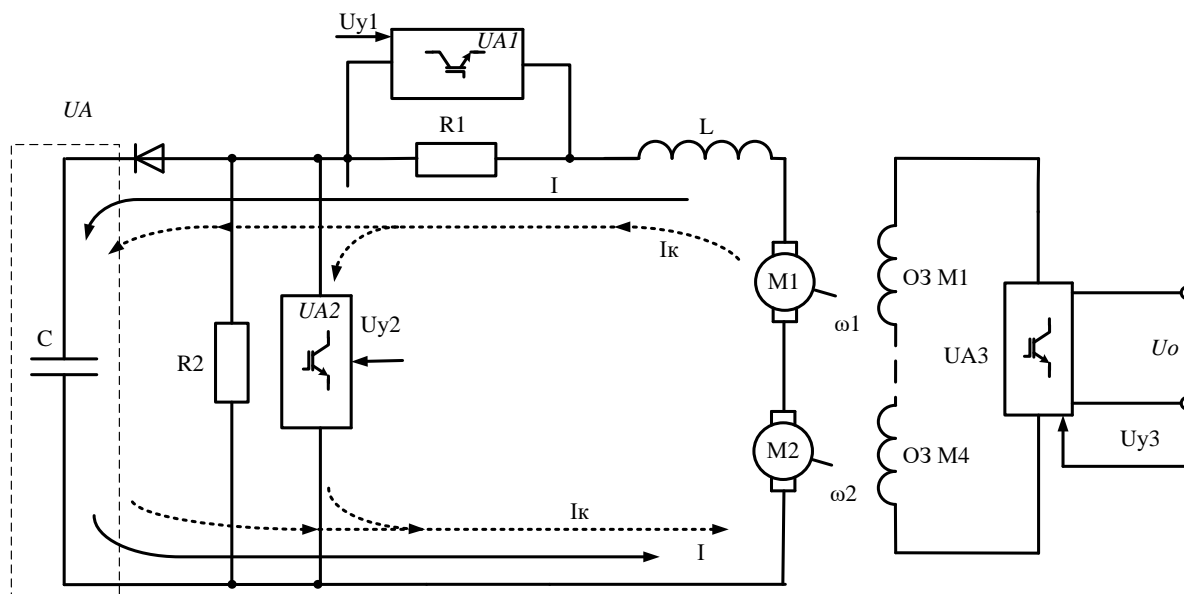


Рис. 3. Спрощена структурна схема системи накопичення енергії при реостатному гальмуванні

Запропоноване схемне рішення сприяє реалізації в режимі електричного гальмування акумулюванню енергії та значному розширенню області ефективного гальмування, що знайшло підтвердження при проведенні досліджень схеми модернізованого електропривода електропоїзда ЕПЛ9Т в режимі електричного гальмування при імітаційному моделюванні в програмному середовищі MATLAB (рис. 4).

При цьому слід зазначити, що, незалежно від початкового значення напруги на конденсаторі накопичуючого пристрою, забезпечується необхідна величина гальмівного зусилля. Що стосується величини накопиченої енергії,

то вона залежить від початкової напруги на конденсаторі – чим менше початкове значення напруги, тим менше енергії буде акумульовано.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Запропоноване рішення щодо модернізації електроприводу електропоїзду типу ЕПЛ9Т дозволяє зменшити витрати електроенергії на тягу за рахунок мінімізації впливу коливань рівня напруги в контактній мережі при високих швидкостей руху та повторного використання енергії, яка виділяється при гальмуванні.

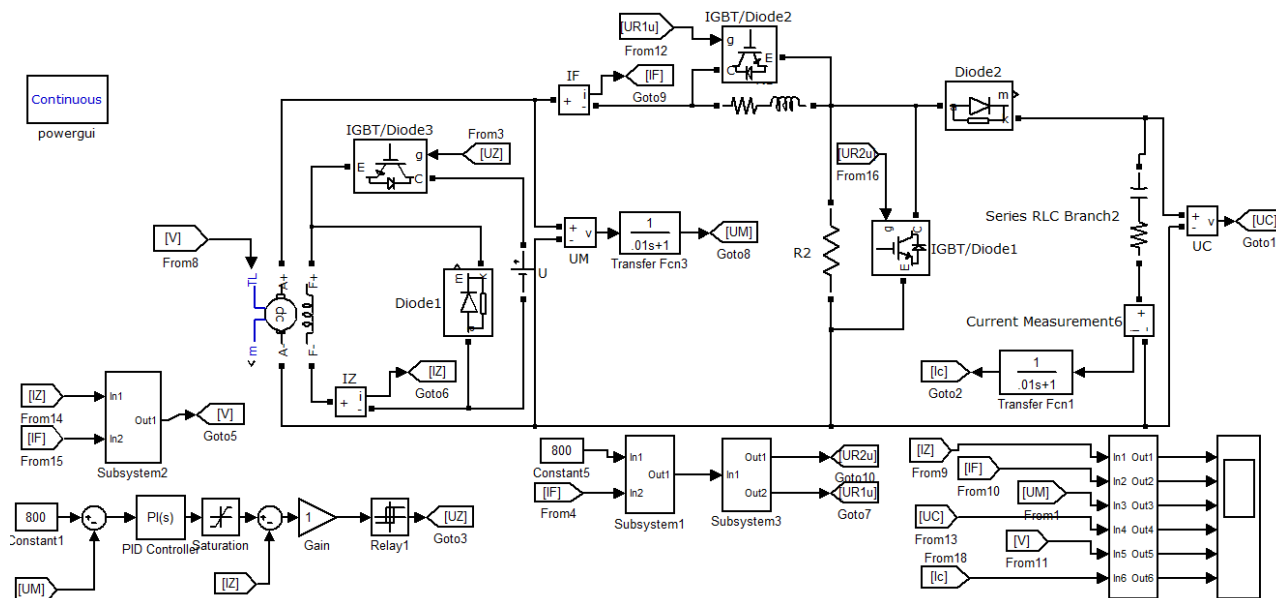


Рис. 4. Модель тягового електропривода в режимі електричного гальмування, реалізована в середовищі MATLAB.

Список використаних джерел

1. Проектирование систем управления электроподвижным составом [Текст] / Н. А. Романов, Д. Д. Захаров, А. В. Плакс, В. И. Некрасов, Ю. М. Иньков; под ред. Н. А. Ротанова. – М.: Транспорт, 1986. – 327 с.
2. Яцько, С. І. Основні напрямки підвищення конкурентоспроможності вітчизняного електричного моторвагонного рухомого складу [Текст] / С. І. Яцько // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 97. – С. 16-25.
3. Яцько, С. І. Розвиток наукових основ визначення характеристик перспективного моторвагонного рухомого складу [Текст] / С. І. Яцько // Матеріали докладів 24-й междунар. конф. «Перспективні комп'ютерні системи для залізничного транспорту України» (г. Алушта, Україна, 2011 г.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – № 5. – С. 103-105.
4. Басов, Г. Г. Розвиток електричного мотоввагонного рухомого складу [Текст] / Г. Г. Басов, С. І. Яцько. – Харків: «Апекс+», 2005. – Ч. 2. – 248 с.
5. Scheepmaker, G. Energy-efficient train control including regenerative braking with catenary efficiency [Text] / G. M. Scheepmaker, R. M. P. Goverde // Intelligent Rail Transportation (ICIRT). – 2016. – P. 515-522.
6. Emadi, A. Power electronics intensive solutions for advanced electric, hybrid electric, and fuel cell vehicular power systems [Text] / A. Emadi, S. S. Williams, A. Khaligh // IEEE Transactions on power electronics.–2006.–Vol. 21, N. 3. – P. 567-577.
7. Iannuzzi, D. Improvement of the energy recovery of traction electrical drives using supercapacitors [Text] / D. Iannuzzi // 13th International Power Electronics and Motion Control Conference. – 2008. – P. 1469-1474.
8. Choi, W. Fuel cell UPS Systems: Design Considerations [Text] / W. Choi, P. Enjeti, J. W. Howze // Power Electronics Specialist Conference IEEE 34th Annual. – 2003. – P. 385-390.

9. Zeraoulia, M. Electric motor drive selection issues for HEV propulsion Systems: a comparative study [Text] / M. Zeraoulia, M. H. Benbouzid, D. Diallo // IEEE Transactions on vehicular technology. – 2006. – Vol. 55, Is. 6. – P. 1756-1764.

10. Gu, Q. Energy efficient driving strategy for trains in MRT systems [Text] / Q. Gu, F. Cao // Intelligent Transportation Systems (ITSC). – 2012. – P. 427-432.

Задирака Микита Олександрович, магістр кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (068) 00-89-616.

Коваленко Олександр Васильович, магістр кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (099) 96-81-436.

Табацький Віталій Євгенійович, магістр кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (099) 96-81-436.

Zadiraka Nikita Oleksandrovyeh, master chair electricity, electrical and electro Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (068) 00-89-616.

Kovalenko Oleksandr Vasylovych, master chair electricity, electrical and electro Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (099) 96-81-436.

Tabatskyu Vitaly Evgenevich, master chair electricity, electrical and electro Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (099) 96-81-436.

Стаття прийнята 24.10.2016 р.

УДК 621.316.79

ІНДУКЦІЙНИЙ НАГРІВ ЯК СПОСІБ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ЗЧЕПЛЕННЯ КОЛЕСА З РЕЙКОЮ

Канд. техн. наук Н. Д. Чигирик, О. Є. Тимченко, асп. І. Р. Вихопень

ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ КАК СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СЦЕПЛЕНИЯ КОЛЕСА С РЕЛЬСОМ

Канд. техн. наук Н. Д. Чигирик, А. Е. Тимченко, асп. И. Р. Вихопень

INDUCTION HEATING PROCESS CONTROL AS A WAY CLUTCH WHEEL AND RAIL

Phd. tehn. N. D. Chigirik, O. E. Tymchenko, asp. I. R. Vyhopen

Запропоновано спосіб управління коефіцієнтом тертя пари колесо-рейка в експлуатації. У рамках розглянутої пропозиції проведено випробування розрахованого індуктора на лабораторному стенді. Результати випробувань підтвердили зміну коефіцієнта тертя від зміни температури й виявили ряд конструктивних недоліків у підведенні тепла в зону контакту.

Ключові слова: колесо-рейка, зона контакту, коефіцієнт тертя, тяговий рухомий склад.

Предложен способ управления коэффициентом трения пары колесо-рельс в эксплуатации. В рамках рассматриваемого предложения проведены испытания рассчитанного индуктора на лабораторном стенде. Результаты испытаний подтвердили

изменение коэффициента трения от изменения температуры и выявили ряд конструктивных недостатков в подведении тепла в зону контакта.

Ключевые слова: колесо-рельс, зона контакта, коэффициент трения, тяговый подвижной состав.

The text of this article carried out the algorithm description of the laboratory tests of friction pairs "wheel-rail". The results of tests, the purpose of which is confirmation of the possibility of changing the coefficient of friction by increasing the temperature in the contact zone of the wheel and the rail, finding constructive possibility of providing local warming of the contact zone by induction.

The loss of funds due to friction and wear in the developed countries reach 4 ... 5% of national income, and the frictional resistance absorbs worldwide 20 ... 25% of the produced energy for the year.

Friction management, the right choice of materials for friction and wear resistance criteria, the rational design of friction units and parts of machines and optimization of operating conditions can significantly prolong life and increase the efficiency of vehicles, reducing harmful environmental effects with a slight increase in value.

The detailed analysis of the latest research and publications on the subject.

To achieve this goal established laboratory bench, permitting the wheel to simulate a contact with the rail and provide a varying temperature conditions in the contact zone. For heating the surface layers of the surface of the rolling wheel is designed and manufactured the inductor.

The results of the test series with the calculated inductor are presented in tabular form in the main text of the article.

Tests were carried out with heating of the contact zone to the 800⁰C, is not expected for the actual operation, but only to determine the dynamics of change in the coefficient of friction.

In the course of the experiment revealed a number of difficulties in the issue of the nip temperature, it can be solved by changing the electrical parameters of the inductor, the inductor and the geometry of its placement on the heating zone.

Keywords: wheel-rail, contact area, friction, traction rolling stock.

Вступ. Втрати коштів від тертя й зношування в розвинутих державах досягають 4...5 % національного доходу, а подолання опору тертя поглинає в усьому світі 20...25 % вироблюваної за рік енергії.

Управління тертям, правильний вибір матеріалів за критеріями тертя й зносостійкості, раціональне конструювання вузлів тертя й деталей машин і оптимізація умов експлуатації можуть суттєво продовжити строк життя й підвищити ефективність машин, знизити шкідливі екологічні впливи при незначному збільшенні їх вартості [1].

У рідких випадках, коли тертя перетворюється з ворога на союзника, зокрема при рушанні тягового рухомого складу з місця й русі на підйом, глибоке

знання процесів у контакті пари тертя стає також необхідно, як і для боротьби з ним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченням фізичної природи зчеплення коліс із рейками протягом тривалого часу, особливо в другій половині ХХ століття займалися багато вітчизняних і закордонних вчених і фахівців (А.М. Бабічков, І.П. Ісаєв, А.Л. Лісцин, А.Л. Голубенко, Ю.М. Лужнов, А.Н. Долганов та ін.). Існують різні гіпотези фізичної взаємодії колеса й рейки, які не можуть бути повною мірою експериментально перевірені.

У наш час загальне визнання одержала теорія молекулярно-механічної взаємодії контактуючих поверхонь на основі вчення про фізику твердого тіла.

Механічна взаємодія проявляється в процесі деформації і тертя контактуючих поверхонь коліс і рейок, тісно пов'язаному з пружно-в'язкими властивостями матеріалу й мікрогеометрією шорстких поверхонь. Молекулярна складова зчеплення проявляється у вигляді явищ мікросхоплювання і фрикційних зв'язків між колесами і рейками, які виникають у результаті взаємодії неврівноважених молекул і атомів на поверхні твердих тіл, що стискаються [2, 5-7].

Визначення мети та задачі дослідження. Активним напрямком розвитку проблеми взаємодії колеса та рейки є створення умов щодо управління зміною коефіцієнта зчеплення. Метою проведеного дослідження зони контакту колесо-рейка є кількісне визначення коефіцієнта тертя залежно від зміни температури в зоні взаємодії твердих тіл, з'ясування конструктивної можливості забезпечити локальний прогрів зони контакту методом індукції.

Для досягнення поставленої мети створено лабораторний стенд, що дозволяє змодельовати контакт колеса з рейкою й забезпечити зміну температурних умов у зоні контакту. Для нагрівання поверхневих шарів поверхні кочення колеса розраховано і виготовлено індуктор [1].

Основна частина дослідження. До роботи вузла тертя кочення висувують вимоги щодо реалізації помірного постійного опору коченню й обмеженого (якомога меншого) взаємного зношування як колеса (бандажа), так і самої рейки.

Відповідно до першої тріади зовнішнього тертя І.В. Крагельського пари тертя «колесо-рейка» властива наявність звичайного фрикційного процесу з деформацією, тепловим впливом, руйнуванням, зміною властивостей поверхні і відділенням частинок поверхневого шару, а також взаємодія з повітрям, парою рідини (води і мастильних матеріалів), гідрозолями, твердими аерозольними частинками різної природи і

матеріалами, що заносяться в зону тертя (твердими і рідкими) із прилеглих до пари тертя поверхонь.

Як показали дослідження Ю.М. Лужнова, більший вплив на утворення специфічних поверхневих шарів, подібних до поверхонь тертя, має вільна поверхнева енергія тертьових тіл, молекулярні сили, адсорбція, фізичні і хімічні процеси, здатні протікати в зоні тертя в десятки і більше раз швидше, ніж на вільних від тертя поверхнях твердих тіл, трибомутаційні процеси та ін. [1].

У загальному випадку (рис. 1) сила тертя між колесом, що перекочується по поверхні рейки, покритої шаром забруднень, складається з таких компонентів:

$$F_T = F_{T.T} + F_{дисп} + F_{деф}, \quad (1)$$

де $F_{T.T}$ – складова сил тертя, що формується на виступах нерівностей твердого тіла;

$F_{дисп}$ – складова сил тертя, що формується в дисперсному середовищі;

$F_{деф}$ – деформаційна складова більш м'якого матеріалу.

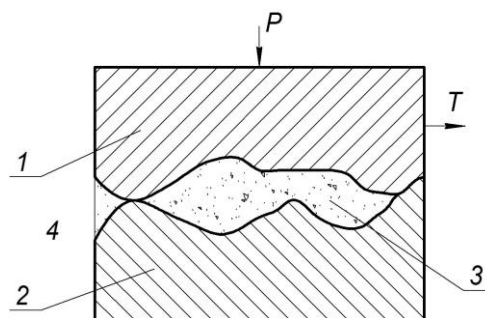


Рис. 1. Модель фрикційної взаємодії в умовах атмосферного і виробничого впливу: 1, 2 – тверде тіло і контртіло; 3 – поверхнєве дисперсне забруднення; 4 – навколишнє середовище (атмосфера)

Залежно від режиму навантаження контурна температура в зоні тертя може змінюватися від десятків градусів до 700 °С. Залежно від рівня температури у

великому діапазоні змінюються механічні властивості контактуючих матеріалів і шару забруднення, коефіцієнт їх тертя f_T і механізми фрикційної взаємодії (рис. 2). Найбільші коефіцієнти тертя (зчеплення)

колеса з рейкою, необхідні для більш успішного ведення поїздів, спостерігаються при температурах 400...450 °С.

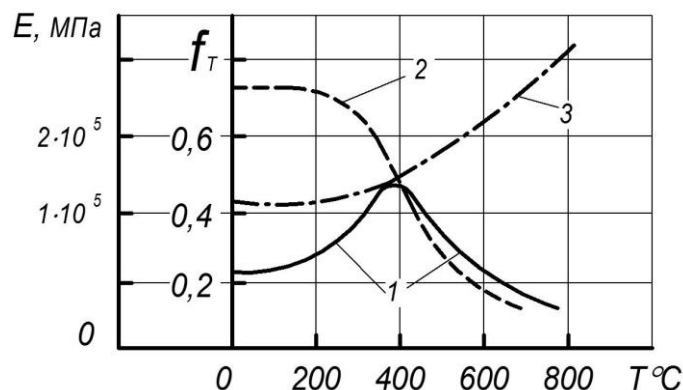


Рис. 2. Зміни параметрів пари тертя «колесо-рейка» від температури T : 1 – коефіцієнт тертя f_T запиленого тіла; 2 – модуль пружності E металу колеса і рейки; 3 – модуль пружності E поверхневого шару забруднення

Отже, зміна температури контактуючих тіл може бути чинником, за допомогою якого можливе управління коефіцієнтом тертя (зчеплення), що дозволить покращити тягові характеристики рухомого складу в моменти рушання та руху на підйом.

Для перевірки технічної можливості здійснення цієї пропозиції проводяться лабораторні дослідження на спеціальному стенді (рис. 3), який дозволив змодельювати навантаження локомотива на одне колесо [6, 7].

Алгоритм проведення випробувань такий:

– навантажують (115 кН) через шток натискний осі 5, тензодатчик електронного динамометра 4 і навантажувальну раму 3 вісь колеса, що відповідає половині припустимого навантаження на вісь локомотива (230 кН). Створено пляму контакту;

– на майданчик колодки 7, що закріплена на ободі колеса за допомогою болтів 13, через шток натискний зсуву 9,

тензодатчик 8 прикладається поступово сила до моменту початку прокручування колеса, про що буде свідчити зміна положення болтів (візуально), а чисельно – момент провалу величини прикладеного зусилля на індикаторі динамометра. Максимальна величина сили і є силою зсуву F_{c0} у даних (за температурою і вологістю) умовах.

Знаючи значення цієї сили, можна обчислити коефіцієнт тертя виходячи з того, що момент відносно точки контакту колеса і рейки буде дорівнювати добутку зовнішньої сили F_{c0} , що врівноважує силу тертя, на відстань від центра колеса до точки прикладання сили:

$$M_T = F_{c0} \cdot (R + l), \tag{2}$$

де M_T – момент сили тертя, Н·м;

$R + l$ – відстань від центра колеса до точки прикладання сили, м;

F_{c0} – зовнішня сила зсуву, Н.

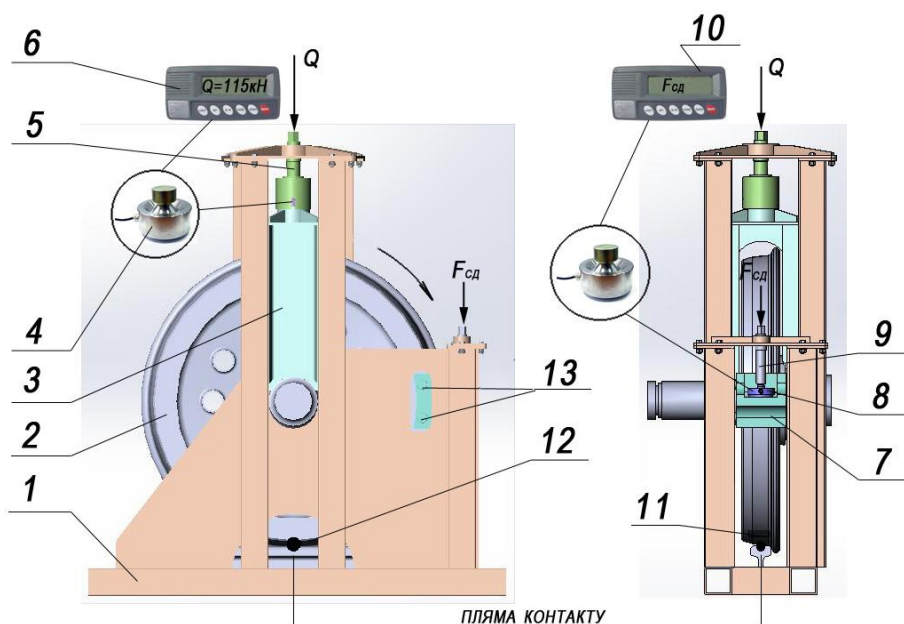


Рис. 3. Модель лабораторного станда з дослідження впливу температури в області контакту колеса з рейкою на коефіцієнт тертя: 1 – рама; 2 – колесо; 3 – навантажувальна рама осі; 4, 8 – тензометричний датчик динамометра АЦД/ІС вимірювання навантаження осі і сили зсуву відповідно; 5 – шток натискний осі; 6, 10 – блок індикації динамометра АЦД/ІС вимірювання навантаження осі і сили зсуву відповідно; 7 – колодка; 9 – шток натискний зсуву; 11 – індуктор; 12 – термодатчик; 13 – болти кріплення колодки

З іншого боку, момент тертя дорівнює моменту притискної сили на плече, довжина якого дорівнює коефіцієнту тертя кочення f :

$$M_{\tau} = f \cdot N, \quad (3)$$

де N – притискна сила, Н;
 f – коефіцієнт тертя, м.

З наведених рівнянь коефіцієнт тертя дорівнює

$$f = \frac{M_{\tau}}{N}; \quad (4)$$

– змінюючи параметри індуктора (струм, напругу, частоту), змінюємо температуру поверхні колеса в оптимальній, конструктивно обґрунтованій близькості від точки контакту,

контролюючи її за допомогою термодатчика 12. Крім того, заміряється час нагрівання. При різних температурах заміряємо силу зсуву і проводимо розрахунки коефіцієнта тертя.

Виходячи з рекомендацій з ремонту колісних пар [3], для поліпшення обточування бандажів колісних пар передбачено багатоступінчастий відпал верхніх шарів металу поверхні кочення: 810-930 °С і 700 °С. Твердість верхніх шарів знижується до НВ 300-320, на глибині 2,5-3,0 мм залишається вихідною, час відпалу – 5 хв.

Отже, оптимальна температура в зоні контакту колеса з рейкою (рис. 2), що дорівнює 400 °С, може бути використана в практиці без загрози порушення цілісності колеса. Застосування індукційного нагрівання ще більше знижує ризик об'ємного прогріву бандажа.

Змінюючи силу струму I , можна одержати будь-яку кількість тепла і, отже, будь-яку температуру і будь-яку швидкість нагрівання [4].

Виникаючі в деталі індукційні струми відтискуються до її поверхні. Щільність вихрового струму i_x біля поверхні максимальна і зменшується з наближенням до центра деталі, підкорюючись експонентному закону (поверхневий ефект):

$$i_x = \frac{i_0}{e^{x/\delta}}, \quad (5)$$

де i_x – щільність індукційного струму на глибині x від поверхні деталі, А/см²;

i_0 – щільність струму на поверхні деталі, А/см²;

e – основа натурального логарифма ($e = 2,718$);

x – відстань від поверхні деталі, см;

δ – глибина проникнення вихрового струму в метал, см.

Глибина проникнення вихрового струму в метал – це поверхневий шар виробу, що нагрівається, у якому виділяється основна кількість індукваного струму. Цю величину можна обчислити, користуючись такою формулою:

$$\delta_{хол} = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f_{стр}}}, \quad (6)$$

де $\delta_{хол}$ – глибина проникнення вихрового струму у феромагнітний (холодний) матеріал (деталь), см;

ρ – питомий електричний опір тіла, що нагрівається, Ом·см;

μ – магнітна проникність тіла, що нагрівається;

$f_{стр}$ – частота струму, що живить індуктор, Гц.

Оптимальний вибір частоти струму дозволить досягти необхідної температури за частки секунди і в тонких – від 0,2 до

0,5 мм шарах металу, що повинно бути достатнім, щоб змінити умови тертя, у тому числі й за рахунок процесів, що відбуваються в забрудненнях, що беруть участь у місці тертя.

Індукційне нагрівання металу відбувається в індукторі, який є одним з основних елементів високочастотної установки, значною мірою визначаючи ККД установки і форму шару, що нагрівається.

Для зменшення габаритних характеристик індуктора і значного зниження струмів і питомих потужностей обрано високочастотне нагрівання. Високочастотні індуктори можуть бути менш масивними ще і тому, що при високих частотах внаслідок зменшення струмів різко послаблюються електродинамічні взаємодії між усіма струмопровідними частинами.

У нашому випадку для нагрівання зони контакту колеса з рейкою застосуємо індуктор для нагрівання плоских поверхонь (рис. 4) і розмістимо на відстані 5 мм від поверхні бандажа згідно з ескізом (рис. 5).

Орієнтовний розрахунок індуктора для першої серії випробувань виконано за методикою [3].

З кривих рис. 3.8 [3] знаходимо значення часу нагрівання t_k і питомої потужності ρ_0 з урахуванням нагрівання до 400 °С: $t_k = 9,5$ с, $\rho_0 = 0,41$ кВт/см².

Визначаємо ширину паза в магнітопроводі

$$a = \frac{0,64 \cdot P_r}{l_H \cdot \rho_0}, \quad (7)$$

де a – ширина паза в магнітопроводі, см;

P_r – потужність генератора, кВт, $P_r = 100$ кВт;

l_H – довжина полоси, що нагрівається, приблизно дорівнює довжині магнітопроводу $L_{мн}$, см;

$$a = \frac{0,64 \cdot 100}{70 \cdot 0,41} = 2,3 \text{ см.}$$

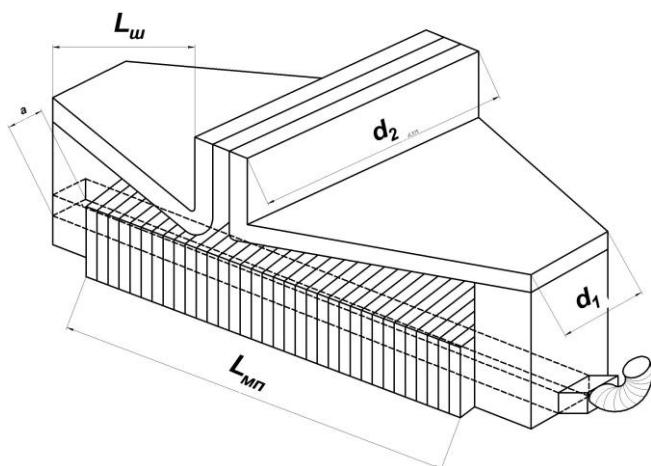


Рис. 4. Ескіз індуктора з магнітопроводом для нагрівання зони контакту колеса з рейкою: $L_{ш}$ – довжина однієї горизонтальної ділянки струмопровідних шин; $L_{мп}$ – довжина індукуючого проводу; d_1 – ширина шини біля кінця струмопроводу; d_2 – ширина шини на початку струмопроводу; a – ширина паза в магнітопроводі

Ширина проводу, що індуктує, визначається як

$$b = a - 2 \cdot \Delta b, \quad (8)$$

де b – ширина проводу, що індуктує, см;

Δb – товщина ізоляції, прийнята рівною 0,15 см з кожного боку, $b = 2,3 - 2 \cdot 0,15 = 2,0$ см.

Висоту проводу, що індуктує, вибрано з існуючого сортаменту і становить 3 см. Ширина башмака магнітопроводу C приймається рівною $C = (0,30 \dots 0,75) \cdot a = 0,69 \dots 1,73$ см. Прийнято $C = 1,5$ см.

Напруга на проводі, що індуктує,

$$U = l_n \cdot U_0 \sqrt{\rho_0}, \quad (9)$$

$$x_{ш} = 2,5 \cdot 10^{-8} f_{сmp} \cdot L_{ш} \left(2,31 \lg \frac{4L_{ш}}{d' + \Delta_1} + 0,5 \right), \quad (11)$$

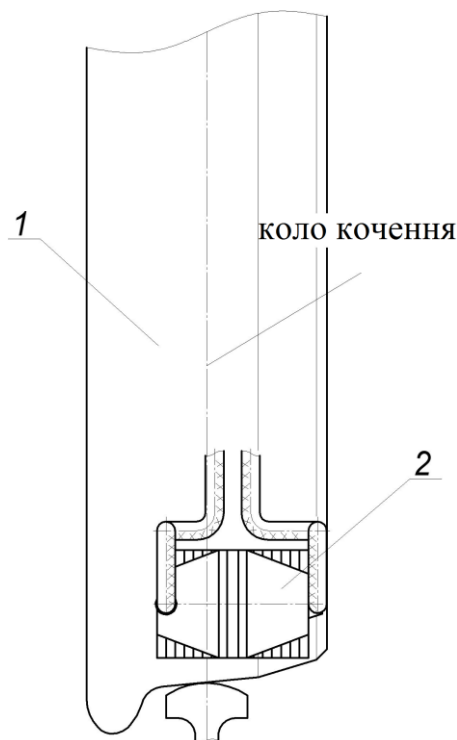


Рис. 5. Схема розміщення індуктора: 1 – колесо; 2 – індуктор

де U_0 – напруга на 1 см довжини паза, при 250 кГц $U_0 = 19,5$ В/см².

$$U = 70 \cdot 19,5 \sqrt{0,41} = 874 \text{ В.}$$

Струм в індукторі

$$I_n = a \cdot I_0 \sqrt{\rho_0}, \quad (10)$$

де I_0 – сила струму на 1 см довжини паза, при 250 кГц $I_0 = 500$ В/см².

$$I_n = 2,3 \cdot 500 \sqrt{0,41} = 736 \text{ А.}$$

Реактивний опір обох горизонтальних ділянок струмопровідних шин індуктора

де x_{III} – реактивний опір обох горизонтальних ділянок струмопровідних шин, Ом;

$f_{стр}$ – частота струму, Гц;

L_{III} – довжина однієї горизонтальної ділянки струмопровідних шин, см;

Δ_1 – глибина проникнення струму в мідь, що залежить від застосовуваної частоти струму, $\Delta_1 = 0,001$ см;

$d' = \frac{d_1 + d_2}{2}$ – еквівалентна ширина шини, см.

Розмір d_2 визначено довжиною контактної колодки знижувального трансформатора

$$d' = \frac{16,3 + 3,5}{2} = 10 \text{ см.}$$

$$x_{III} = 2,5 \cdot 10^{-8} \cdot 250000 \cdot 28,5(2,31g \frac{4 \cdot 28,5}{10 + 0,001} + 0,5) \approx 0,52 \text{ Ом.}$$

Падіння напруги на струмопровідних шинах

$$U_{III} = x_{III} \cdot I_{II} = 0,52 \cdot 736 = 382,7 \text{ В.}$$

Напруга на індукторі

$$U_{II} = U_{III} + U = 382,7 + 874 = 1256,7 \text{ В.}$$

Потужність, що підводиться до індуктора при ККД індуктора 0,8,

$$P_{II} = p_0 \cdot l_{II} \cdot a / \eta_{II} = 0,41 \cdot 70 \cdot 2,3 / 0,8 = 82,5 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт потужності індуктора

$$\cos \varphi_{II} = \frac{P_{II}}{U_{II} \cdot I_{II}} = \frac{82500}{1256,7 \cdot 736} = 0,09.$$

Результати серії випробувань, проведених з розрахунковим індуктором, подано в таблиці і на рис. 6.

Таблиця

Зміна коефіцієнта тертя від температури в зоні контакту «колесо – рейка»

$T, ^\circ\text{C}$	100	200	300	400	500	600	700	800
$f, \text{ см}$	0,157	0,187	0,228	0,235	0,215	0,168	0,147	0,12

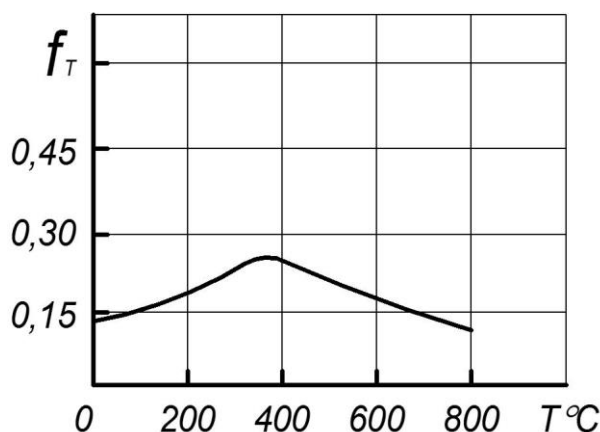


Рис. 6. Зміни коефіцієнта тертя f_T пари тертя «колесо-рейка» від температури T , °C

Випробування проведено з нагріванням зони контакту до 800 °C, що не передбачається для реальної експлуатації, а тільки для з'ясування динаміки зміни коефіцієнта тертя.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Проведені дослідження змогли підтвердити можливість зміни

коефіцієнта тертя від підвищення температури в зоні контакту колеса і рейки. Під час проведення експерименту виявлено ряд труднощів у питанні доставки температури в зону контакту, що може бути вирішено за допомогою зміни електричних параметрів індуктора, геометрії індуктора і місця розміщення його відносно зони нагріву.

Список використаних джерел

1. Основы трибологии (трение, износ, смазка) [Текст]: учеб. для технических вузов / А. В. Чичинадзе [и др.]; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.
2. Анисимов, В.А Тяговые расчеты [Электронный ресурс]: монография / В.А. Анисимов, В.В. Анисимов – Режим доступа: <https://sites.google.com/site/tagapoezd/monografia>.
3. Ремонт колесных пар [Электронный ресурс]: справочник технолога по ремонту электроподвижного состава. – Режим доступа: <http://locomo.ru/podvizhnoy-sostav/spravochnik-tehnologa-po-remontu-elektropodvizhnogo-sostava-11.html>.
4. Корягин, Ю. Д. Индукционная закалка сталей [Текст]: учеб. пособие / Ю.Д. Корягин, В.И. Филатов. – Челябинск: ЮУрГУ, 2006. – 52 с.
5. Pletz, M. Multi-scale finite element modeling to describe rolling contact fatigue in a wheel-rail test rig [Text] / W. Daves, W. Yao, W. Kubin, S. Scheriau // Tribology International. – 2014. – Vol. 80. – P. 147-155.
6. Wu, B. Analysis of thermal effect on high-speed wheel/rail adhesion under interfacial contamination using a three-dimensional model with surface roughness [Text] / Z. Wen, T. Wu, X. Jin // Wear. – 2016. – Vol. 362-368. – P. 347-369.

7. Guillermo Idarraga Alacron. Power dissipation modeling in wheel/rail contact: Effect of friction coefficient and profile quality [Text] / N. Burgelman, J. Meza Meza, A. Toro, Z. Li / Wear. – 2016. – Vol. 362-368. – P. 263-280.

Чигирик Наталія Дмитрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 730 19-99.

Тимченко Олексій Євгенійович, магістр Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: +38(099)-124-56-34.

Вихопень Іван Романович, аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 730 19-99.

Chigirik Nataliya Dmitrivna, tehnicnih Ph.D., assoc. of department " Maintenance and repair of rolling stock" Ukrainian state university of railway transport. Tel.: 730-19-99.

Tymchenko Oleksiy Evgenievich, assistant driver an electric locomotive depot TCH1 "Krasny Liman" Ukrainian state university of railway transport. Tel.: +38 (099) -124-56-34.

Vyhopen Ivan Romanovich, graduate student of "Maintenance and repair of of rolling stock" Ukrainian state university of railway transport. Tel.: 730 19-99.

Стаття прийнята 25.10.2016 р.

УДК 656.073.436

АНАЛІТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АКТИВНОГО СУПРОВОДЖЕННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ

Д-р техн. наук О. В. Лаврухін, канд. техн. наук Д. І. Мкртчян, асп. Д. О. Кульова

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ АКТИВНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПЕРЕВОЗКИ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ

Д-р техн. наук А. В. Лаврухин, канд. техн. наук Д. И. Мкртчян, асп. Д. А. Кулёва

ANALYTICAL PREREQUISITES OF AUTOMATED INTELLIGENT TECHNOLOGY OF ACTIVE OF ACCOMPANIMENT TRANSPORTATION OF DANGEROUS GOODS

Dr. sc. sciences O. V. Lavrukhin, phd. tehn. D. I. Mkrtychyan, sciences, pg. D. O. Kulova

Проведено аналіз статистичних даних і теоретичних досліджень у сфері перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом. Визначено, що рівень безпеки при перевезенні небезпечних вантажів доволі високий. Виявлено основні проблеми та запропоновано варіанти їх вирішення шляхом формування інтелектуальної автоматизованої системи активного супроводження перевезення небезпечних вантажів, яка ще починаючи зі стадії місячного та добового планування дозволить оцінити ризик виникнення певної транспортної події, обрати найбільш безпечний варіант реалізації транспортного процесу та в оперативних умовах надавати обґрунтовані техніко-економічні варіанти просування поїздів з небезпечними вантажами.

Ключові слова: небезпечні вантажі, транспортна подія, аварійна ситуація, людський фактор, інтелектуальна система.

Проведен анализ статистических данных и теоретических исследований в области перевозки опасных грузов железнодорожным транспортом. Определено, что уровень опасности при перевозке опасных грузов является довольно высоким. Выявлены основные проблемы и предложены варианты их решения путем формирования интеллектуальной автоматизированной системы активного сопровождения перевозки опасных грузов, которая еще начиная со стадии месячного и суточного планирования позволит оценить риск возникновения определенного транспортного происшествия, выбрать наиболее безопасный вариант реализации транспортного процесса и в оперативных условиях предоставить обоснованные технико-экономические варианты продвижения поездов с опасными грузами.

Ключевые слова: опасные грузы, транспортное происшествие, аварийная ситуация, человеческий фактор, интеллектуальная система.

The analysis of statistical data and theoretical research in the field of transport of dangerous goods by rail. Determined that the level of risk in the transportation of dangerous goods is rather high. The basic issues and proposed options to solve by creating intellectual automated system active support transport of dangerous goods, which are starting to stage monthly and daily planning to assess the risk of a traffic accident, to choose the most secure version of the implementation of the transport process and in operational terms provide reasonable technical - economic options for promotion of dangerous goods trains.

Keywords: danger goods, transport accident, emergency situation, human factor, intelligent system.

Вступ. На сьогодні сучасна промисловість не може обійтися без використання або виділення небезпечних для навколишнього середовища та життя людини речовин. Споживачами речовин, виробів і матеріалів, які мають небезпечні властивості, є всі галузі промисловості, що викликає необхідність у їх практично безперервному перевезенні мережею залізниць. За статистичними даними першого кварталу 2015 року, частка перевезень небезпечних вантажів у світовому вантажообігу вже перевищує 40 % [1, с. 497], а в Україні становить приблизно 20 %. Залізничний транспорт є основним видом транспорту, що перевозить небезпечні вантажі, частка перевезень яких у загальному вантажообігу країни становить близько 85 %. При таких темпах зростання найбільш актуальним питанням у сфері транспортування небезпечних вантажів є зниження рівня ризиків і загроз їх аварійності.

Визначення мети та задачі дослідження. Проаналізувати стан безпеки руху та аварійності на залізничному транспорті України. Провести аналіз вітчизняного досвіду у сфері перевезення небезпечних вантажів. Визначити основні технологічні шляхи подолання проблем, пов'язаних з перевезенням небезпечних вантажів.

Аналіз статистичних даних. Упродовж 2014 року в структурі ПАТ «Укрзалізниця» допущено 673 інциденти, у т. ч. 19 серйозних, проти 718 інцидентів, із яких 20 серйозних, за 2013 рік [2, с. 51]. Загальну кількість транспортних подій зменшено на 45 випадків, а кількість серйозних інцидентів зменшено на 1 випадок. При цьому приведений обсяг перевезень зменшився на 6,7 %, а питомий показник кількості транспортних подій до обсягів перевезень збільшився з 2,66 до 2,77 події на 1 млрд привед. ткм. Щодобово траплялось у середньому 1,8 випадка проти 1,97 у 2013 році (рис. 1, 2).

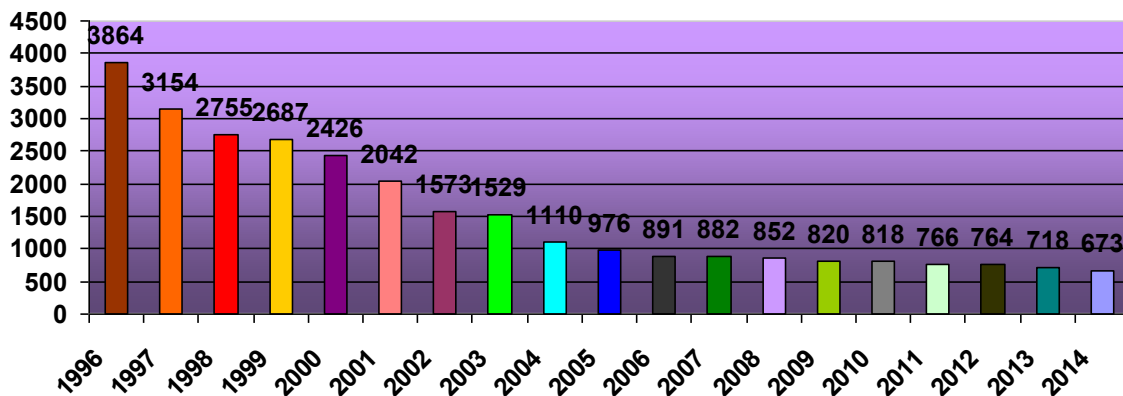


Рис. 1. Загальна кількість транспортних подій у структурі ПАТ «Укрзалізниця»

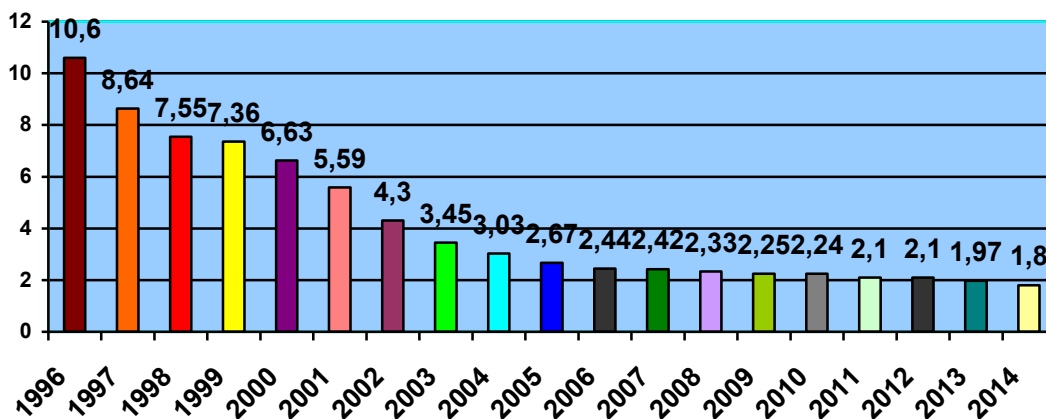


Рис. 2. Середня кількість транспортних подій за 2014 рік за добу

Матеріальні збитки від транспортних подій за 2014 рік становлять 6 млн 25 тис. грн, з яких лише 1 млн 13 тис. грн або 16,8 % відшкодовано. Найгірше відшкодовуються збитки на Донецькій

залізниці, із 3557 тис. грн відшкодовано лише 40111 (на Одеській із 1281 тис. грн відшкодовано 88 тис. грн (6,9 %) і Південно-Західній – із 469 тис. грн відшкодовано 75 тис. грн (16 %) (рис. 3, 4).

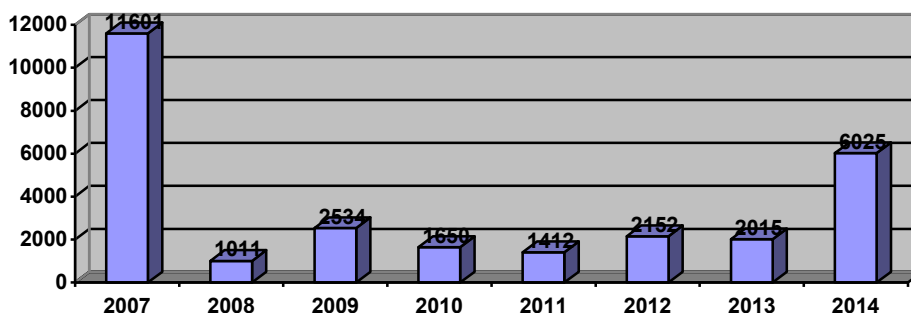


Рис. 3. Матеріальні збитки від транспортних подій у 2007-2014 роках

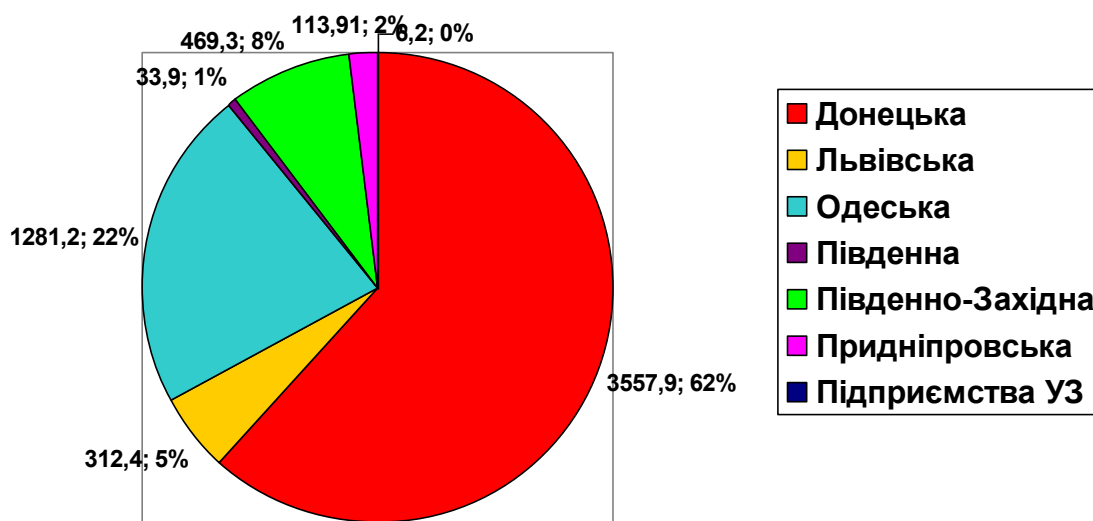


Рис. 4. Розподіл збитків від транспортних подій по залізницях за 2014 рік

Аналіз статистики інцидентів з небезпечними вантажами виявив коливання показників кількості подій з ними на

залізничних шляхах [3, с. 146]. Крім того, майже 100 % випадків припадає саме на залізничний транспорт (рис. 5).

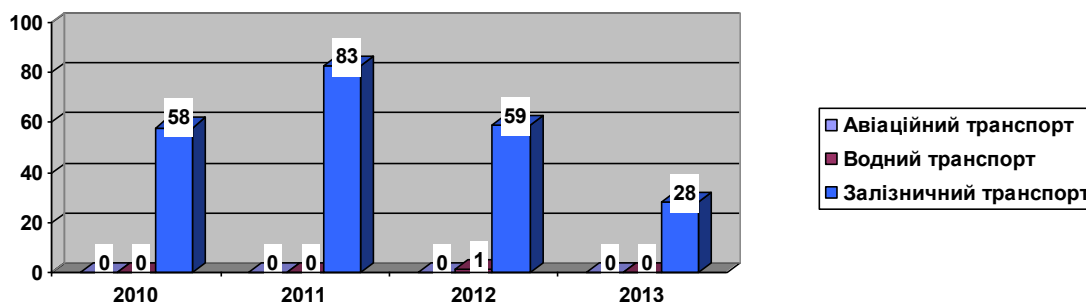


Рис. 5. Кількість подій при перевезенні небезпечних вантажів

Із загальної кількості транспортних подій 471 випадок або 70 % пов'язані з впливом «людського» чинника.

Аналіз останніх досліджень та виклад основного матеріалу. Через властивості небезпечних вантажів їх перевезення вимагає постійної уваги і безперервного контролю. Людині важко постійно зберігати увагу на високому рівні - тим більше, коли необхідно працювати зі значними потоками оперативних даних. У

цьому випадку на допомогу приходять інформаційні системи, адаптовані під конкретні завдання.

Відповідні методи були дослідженні такими вітчизняними та закордонними вченими та практиками: Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко, С. І. Музикіна, А. М. Котенко, В. М. Островський, Л. О. Гребенюк, R. Batta, С. ReVelle, Н. Kumamoto, A. V. Gheorghe.

У роботі [4, с. 20] спроектовано модель інформаційної системи «ліквідація аварійних ситуацій з небезпечними вантажами», яка дозволяє удосконалити схему оповіщення при виникненні аварійної ситуації з небезпечними вантажами.

У роботі [5, с. 59] розроблено першочерговий перелік небезпечних вантажів, зміна нормативів розпуску яких дозволяє при збереженні досить високого рівня безпеки перевізного процесу істотно підвищити інтенсивність переробки вагонів на великих залізничних станціях, прискорити просування вантажів і створити резерв переробної спроможності для освоєння зростаючих обсягів перевезень.

У роботі [6, с. 102] розроблено модель під назвою "максимально допустима модель ризику", яка містить у собі компроміс між зниженням аварійності і скороченням часу в дорозі при ситуації, яка може бути як безпечною, так і небезпечною.

У роботі [7, с. 25] розроблено методи управління безпекою перевезень небезпечних вантажів і екологічною безпекою на залізничному транспорті, які забезпечують якісно вищий рівень безпеки і створюють базу системи безпеки нового покоління.

У роботі [8, с. 14] сформовано модель оперативного управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами в підсистемі «технічна станція – прилегла дільниця» на базі нечіткої ситуаційної мережі, що дозволяє зменшити ризики виникнення потенційно можливої транспортної події й пов'язаних з нею збитків під час виконання поїзної або маневрової роботи шляхом інтелектуальної

підтримки планування на оперативному рівні. Розроблені основи дають можливість знизити кількість транспортних подій з причин організаційного характеру.

У роботі [9, с. 250] були визначені основні ризики виникнення аварійних ситуацій при перевезенні небезпечних вантажів з урахуванням просторових параметрів.

У роботі [10, с. 279] наведено розрахунки збитків від аварійних ситуацій при перевезенні небезпечних вантажів: прямі втрати транспортного підприємства, витрати на локалізацію і розслідування аварії, соціально-економічні витрати, побічні збитки, екологічний збиток, втрати від вибуття трудових ресурсів унаслідок загибелі людей або втрати ними працездатності.

Отже, на залізничному транспорті повинні удосконалюватися технології перевезень небезпечних вантажів, інформаційні системи, що дозволять в оперативних умовах надавати обґрунтовані варіанти вибору способу реалізації транспортного процесу за умови мінімізації ризиків виникнення транспортних подій, а також забезпечать швидке реагування відповідних служб про небезпеку при аварійних ситуаціях і технологію безпечної ліквідації наслідків аварій і відновлення руху поїздів.

Питання формування інтелектуальних систем організації транспортного процесу за умови мінімізації людського фактора досліджувались у роботі [11, с. 11]. У даній роботі була сформована оптимізаційна модель оперативного планування поїзної роботи на залізничній станції з елементами штучного інтелекту:

$$\Delta N(x_1, x_2, x_3, m, f, u_1, u_2, u_3) = \sum_{i=1}^l \sum_{p=1}^k |N_{ip}^{nl} - N_{ip}^{buk}| \longrightarrow \min, \quad (1)$$

де ΔN – параметр виконання плану;

N_{ip}^{nl} – запланована кількість поїздів для поїзної роботи станції, які будуть

перероблюватися на станції (прибуття, відправлення, формування маршрутів);

$N_{ip}^{вик}$ – реальне виконання поїзної роботи станції;

i – кількість станцій на дільниці, яка бере участь в оперативному плануванні;

p – параметр оперативного плану поїзної роботи (кількість відправлених, прибулих поїздів і сформованих маршрутів);

x_1 – час до відправлення поїзда зі станції формування (за наявності на станції формування вагонів у кількості, необхідній для формування поїзда), год;

x_2 – час проходження поїзда від станії формування до станції розформування (з урахуванням перегінних часів ходу, часів на схрещення, обгони тощо), год;

x_3 – час до закінчення доби, год;

m – кількість вагонів, що можуть бути включеними до одного складу поїзда, ваг;

f – час, що залишився до кінця доби, год;

u_1 – наявна кількість вагонів на станції і на підходах до неї для формування відправницького маршруту, ваг;

m_m – нормативна довжина маршруту на певному напрямку, ваг;

u_2 – наявна вивантажувальна спроможність підприємства, на яке призначено маршрут, ваг;

u_3 – кількість технічних станцій на шляху прямування маршруту.

Слід зауважити, що запропонована модель не відображує специфіку просування перевезення небезпечних вантажів, оскільки технологія перевезення таких вантажів ПАТ «Укрзалізниця» не передбачає розподіл руху поїздів з вантажами, небезпечними вантажами та пасажирськими поїздами. Внаслідок чого в процесі транспортування небезпечних вантажів підвищується ризик травмування громадян, які користуються послугами залізничного транспорту.

У роботі [12, с. 114] була сформована модель прогнозування наслідків виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті при перевезенні небезпечних вантажів. Сформована модель дозволяє заздалегідь визначити можливість виникнення транспортної події при перевезенні небезпечних вантажів і визначає напрямки подолання наслідків.

На рух поїздів, у тому числі з небезпечними вантажами впливають різні дестабілізуючі фактори [13, с. 41]. На практиці необхідно намагатися враховувати деякі з них з метою досягнення максимального рівня маршрутизації [14, с. 92] перевезення небезпечних вантажів.

Прикладом підтримки науки з питань ефективного функціонування транспортних систем є політика Європейського Союзу (ЄС), який вкладає значні фінансові кошти в реалізацію пріоритетних дослідницьких проектів [15, с. 28]. 27 вересня 2016 року в Міністерстві інфраструктури відбулась конференція, присвячена реалізації проекту Європейського Союзу Твіннінг «Підтримка у підвищенні безпеки перевезення небезпечних вантажів мультимодальним транспортом в Україні». Стратегічним завданням нового проекту Твіннінг є покращення системи перевезень небезпечних вантажів автомобільним, залізничним, морським, річковим транспортом, а також у мультимодальному сполученні відповідно до загальноєвропейських норм і стандартів. Також головною метою проекту є посилення спроможності Міністерства інфраструктури у формуванні та реалізації політики з питань дотриманням вимог у сфері забезпечення безпеки перевезення небезпечних вантажів вищевказаними видами транспорту відповідно до міжнародних правил [16].

Зважаючи на проведені дослідження статистичних та аналітичних даних у сфері перевезення небезпечних вантажів, постає науково-прикладне завдання формування автоматизованої технології оперативного

супроводження процесу формування та просування поїздопотоків з визначеною категорією вантажів.

Зазначена технологія повинна ґрунтуватися на засадах забезпечення максимальної безпеки та отримання максимальних прибутків при мінімізації експлуатаційних витрат від перевезень, починаючи від стадії процесу планування перевезення вантажів і закінчуючи моментом видачі їх вантажоотримувачу.

У даному аспекті необхідно розглянути всі ланки технологічного процесу ланцюга перевезення небезпечних вантажів, в основу якого повинні бути покладені сучасні інтелектуальні методи, що дозволять мінімізувати вплив людського фактора і водночас максимально використовувати потужність інтелекту оперативних працівників.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Аналіз статистичних даних і теоретичних досліджень у сфері перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом доводить, що

рівень безпеки при перевезенні небезпечних вантажів залишається доволі високим.

Основні дослідження в даній сфері в основному зосередженні на вирішенні питань прогнозу та ліквідації наслідків аварій і катастроф.

Відповідно до цього необхідним є зосередження науково-прикладного потенціалу у сфері перевезення небезпечних вантажів, які будуть максимально відповідати умовам безпеки та економічної доцільності залізничних перевезень.

Згідно з зазначеним було сформульовано науково-практичне завдання формування інтелектуальної автоматизованої системи активного супроводження перевезення небезпечних вантажів, яка починаючи зі стадії місячного та добового планування дозволить оцінити ризик виникнення певної транспортної події, обрати найбільш безпечний варіант реалізації транспортного процесу та в оперативних умовах надавати обґрунтовані техніко-економічні варіанти.

Список використаних джерел

1. Солдатова, М. В. Анализ состояния перевозок опасных грузов автомобильным транспортом [Текст] / М. В. Солдатова // Молодой ученый. – 2016. – № 1. – С. 497-499.
2. Аналіз стану безпеки руху польотів, судноплавства та аварійності на транспорті в Україні за 2014 рік [Текст] / Департамент безпеки на транспорті Міністерства інфраструктури України. – К., 2015. – 124 с.
3. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році [Текст] / МНС України. – К., 2012. – 359 с.
4. Гребенюк, Л. А. Совершенствование управления безопасностью перевозок опасных грузов с использованием информационных технологий [Текст]: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Л. А. Гребенюк [Сибирский государственный университет путей сообщения]. – Новосибирск, 2006. – 26 с.
5. Островский, А. М. Проблемы перевозки опасных грузов [Текст] / А. М. Островский, В. И. Медведев, И. О. Тесленко // Транспорт Российской Федерации. – 2006. – № 2. – С. 57-60.
6. Kumamoto, H. Traffic accident human error quantification considering "yes-no" type and "unknown" type danger [Text] / H. Kumamoto, K. Okabe, T. Hiraoka, O. Nishihara // Proceedings of 12th World Congress on Intelligent Transport Systems CD-ROM Nov 2005; The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. – 2006. – P. 100 – 109.
7. Медведев, В. И. Методы управления безопасностью перевозочного процесса опасных грузов и пути повышения экологической безопасности на железнодорожном

транспорте [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.01 / В. И.Медведев; [Сибирский государственный университет путей сообщения]. – Новосибирск, 2001. – 40 с.

8. Бутько, Т. В. Формування моделі оперативного управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами в підсистемі “технічна станція – прилегла дільниця” на базі нечіткої ситуаційної мережі [Текст] / Т.В. Бутько, А. В. Прохорченко, С. І. Музикіна // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: наук.-техн. журнал. – Харків, 2012. – Вип. 5. – С. 13-16.

9. Comprehensive risk assessment for rail transportation of dangerous goods: a validated platform for decision support [Text] / A. V. Gheorghe [et al.] // Reliability Engineering & System Safety. – June 2005. – Vol. 88, Ts.s. – P. 247–272.

10. Котенко, А. М. Методики визначення втрат від аварійних ситуацій з небезпечними вантажами [Текст] / А. М. Котенко, Д. С. Козодой, А. В. Світлична, П. С. Шилаєв // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 141. – С. 272 – 280.

11. Лаврухін, О. В. Формування моделей і методів інтелектуальної технології оперативного управління поїздопотоками [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.01 / О. В. Лаврухін. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – 40 с.

12. Музикіна, С. І. Формування моделі прогнозування наслідків виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті при перевезенні небезпечних вантажів [Текст] / С. І. Музикіна // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.– Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 156. – С. 109 – 116.

13. Evaluation of the transition to the organization of freight trains traffic by the schedule [Text] / D. Kozachenko, R. Vernigora, V. Balanov, N. Berezovy, L. Yelnikova, Yu. Germanyyuk // Transport problems = Problemy transportu. – 2016. – Vol. 11, Is. 1. – P. 41-48.

14. Improving the Methods of Estimation of the Unit Train Effectiveness [Text] / D. Kozachenko, R. Vernigora, V. Balanov, N. Sannytskyy, N. Berezovy, T. Bolvanovska // Transport problems = Problemy transportu. — 2016. — Vol. 11, Is. 3. — P. 91-101.

15. European Commission. Increasing the sustainability of air transport. Communicating transport research and innovation [Electronic resource]. – EU: Transport Research and Innovation Portal, 2013. – P. 28. – Access mode: www.transport-research.info.

16. Матеріали конференції Міністерства інфраструктури, від 27.09.2016 р. щодо реалізації проекту Європейського Союзу Твіннінг «Підтримка у підвищенні безпеки перевезення небезпечних вантажів мультимодальним транспортом в Україні» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mtu.gov.ua/news/27655.html>.

Лаврухін Олександр Валерійович, д-р техн. наук, професор кафедри управління вантажною та комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (099) 495-14-99. E-mail: tilavalval@gmail.com.

Мкртичян Дмитро Ігорович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною та комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (067) 571-70-69. E-mail: katran0018@gmail.com.

Кульова Дар'я Олександрівна, аспірант кафедри управління вантажною та комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (095) 897-86-85. E-mail: d.coolava@gmail.com.

Lavrukhin Oleksandr, Dr. Sc. Science, Department Control of cargo and commercial work, Ukrainian state university of railway transport. Tel: (099) 495-14-99. E-mail: tilavalval@gmail.com.

Mkrtychyan Dmytro, PhD. Sc. Associate Professor, Department Control of cargo and commercial work, Tel: (067) 571-70-69. E-mail: katran0018@gmail.com.

Kulova Daria, graduate student, Department Control of cargo and commercial work, Ukrainian state university of railway transport. Tel: (095) 897-86-85. E-mail: d.coolava@gmail.com.

Стаття прийнята 26.10.2016 р.

УДК 625.03

ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ НА ЧЕТВЕРТІЙ ФАЗІ ПРОХОДЖЕННЯ ВАГОНОМ СТИКОВОЇ НЕРІВНОСТІ

Д-р техн. наук В. П. Шпачук, кандидати техн. наук О. О. Чупринін, А. О. Гарбуз,
інженер Т.О. Супрун

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ЧЕТВЕРТОЙ ФАЗЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ВАГОНОМ СТЫКОВОЙ НЕРОВНОСТИ

Д-р техн. наук В. П. Шпачук, кандидаты техн. наук А. А. Чупрынин, А. О. Гарбуз,
инженер Т. О. Супрун

FEATURES OF DYNAMIC INTERACTIONS IN THE FOURTH PHASE OF THE PASSAGE OF THE WAGON BUTT ROUGHNESS

Dr. sc. sciences V. Shpachuk, the candidate tehn. sciences A. Chuprynin, A. Garbuz,
engineer T. Suprun

Досліджено динамічну взаємодію рейкової колії та вагона в момент проходження стикової нерівності на четвертій фазі руху. Запропоновано модель транспортного механічного комплексу "вагон-рейкова колія". Визначено прогин віддавальної рейки під першою шпалою при різноманітних швидкостях та завантаженні вагона.

Ключові слова: вагон, рейкова колія, стикова нерівність, фаза руху, багатопрогонова балка, жорсткість балки, пружні опори.

Исследовано динамическое взаимодействие рельсовой колеи и вагона в момент прохождения стыковой неровности на четвертой фазе движения. Предложена модель транспортного механического комплекса "вагон-рельсовый путь". Определен прогиб под первой шпалой принимающего рельса при различных скоростях и загрузке вагона.

Ключевые слова: вагон, рельсовая колея, стыковая неровность, фаза движения, многопролетная балка, жесткость балки, упругие опоры.

The carried research is aimed at the establishment and analysis of the laws of the mechanical interaction in transport mechanical complex "train - rail track" through deflection of the receiving rail for the first railway sleeper considering the motion phases of the car in the place of a butt joint, as well as operational, mechanical and vehicle construction parameters and the top permanent way.

To achieve this goal the following tasks were solved: with the help of modeling methods considered mechanical system is represented as a multi-span beam on elastic supports. Splice-piece is elastic element at the end of the receiving or donating rail, the spring constant of which is determined in the view of its plane stress. Also, considering the impact interaction of the fourth wheel in the wheelset with the receiving end of the rail car, which interacts with the receiving rail, considered as the sprung mass shown. At the same time the current height level of interface roughness is determined by taking into account the static interaction of a tram with a rail track on the fourth phase of the car movement, which is equivalent to finding of a wheelset receiving end of the rail car and three-wheeled set - at the receiving rail junction.

There was investigated the dynamic interaction between the track and the car at the time of passing the butt bumps in the fourth phase of the movement. We suggested a model of the complex

mechanical transport "train track". The deflection under the first sleeper of the receiving rail at different speeds and load the car was calculated.

Keywords: carriage rail track, butt roughness, movement phase, multi-span beam, the stiffness of the beam, an elastic support.

Вступ. Термін служби рухомого складу і верхньої будови колії залежить від спільної роботи всіх їх елементів, механічних, конструктивних і геометричних характеристик, умов їхньої експлуатації. Практика показує, що найбільш слабкою ланкою механічної системи «вагон–рейкова колія» є ізольовані стикові нерівності колії. При проходженні рейковим транспортним засобом стикової нерівності мають місце чотири фази руху вагона згідно з проходженням її відповідною колісною парою. Розглянуто особливості проходження вагоном зони стикової нерегулярності шляху на четвертій фазі руху.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Механічну взаємодію вагона та рейкової колії проаналізовано в роботах [1-7], але в них не враховуються параметри не тільки статичної, а й динамічної взаємодії вагона з рейковою колією з урахуванням фаз руху вагона: коли на приймальній й віддавальній рейках шляху знаходиться кількість колісних пар, що залежить від фази руху транспортного засобу.

У роботах [8-9] дослідження обмежені лише першою, другою і третьою фазами руху вагона через стикову нерівність шляху. Це виключає можливість створення узагальненого наукового підходу до проблеми механічної взаємодії в системі "вагон–рейкова колія", що знижує ефективність практичного використання отриманих результатів.

Визначення мети та задачі дослідження. Проведені дослідження спрямовано на встановлення і аналіз закономірностей механічної взаємодії в транспортному механічному комплексі "вагон–рейкова колія" через прогини приймальної рейки під першою шпалою з урахуванням фаз руху вагона в місці стикового з'єднання й експлуатаційних, механічних і

конструктивних параметрів транспортного засобу та верхньої будови колії.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання: методами моделювання механічну систему, що розглядається, представлено у вигляді багатопрогонової балки на пружних опорах; стикову накладку – еквівалентним пружним елементом на кінці приймальної або віддавальної рейки, коефіцієнт жорсткості якої визначено з урахуванням її плоского напруженого стану. Також, враховуючи ударну взаємодію колеса четвертої колісної пари з торцем приймальної рейки, вагон, що взаємодіє з приймальною рейкою, розглянуто у вигляді підресореної зведеної маси. При цьому текуча висота ступеня стику нерівності визначається з урахуванням статичної взаємодії трамвая з рейковою колією на четвертій фазі руху вагона, що відповідає знаходженню однієї колісної пари на віддальній і трьох колісних пар – на приймальній рейках шляху [10].

Основна частина дослідження. Розглянуто динамічну взаємодію вагона з рейковою колією в зоні стику з урахуванням конструктивних та експлуатаційних факторів: висота стику, яка відповідає [1, 10] параметрам статичної взаємодії на четвертій фазі руху вагона, його завантаження та швидкість.

Схема стадії проходження четвертою колісною парою рейкового стику зображена на рис. 1: 1 – вагон; 2-5 – відповідне колесо колісної пари; 6-7 – центральна підвіска вагона; 8, 9 – приймальна і віддавальна рейки; 10 – пружні елементи баластового шару під шпалами; 11 – пружний елемент, який моделює жорсткість віддавальної рейки на кінці з урахуванням працюючої стикової накладки.

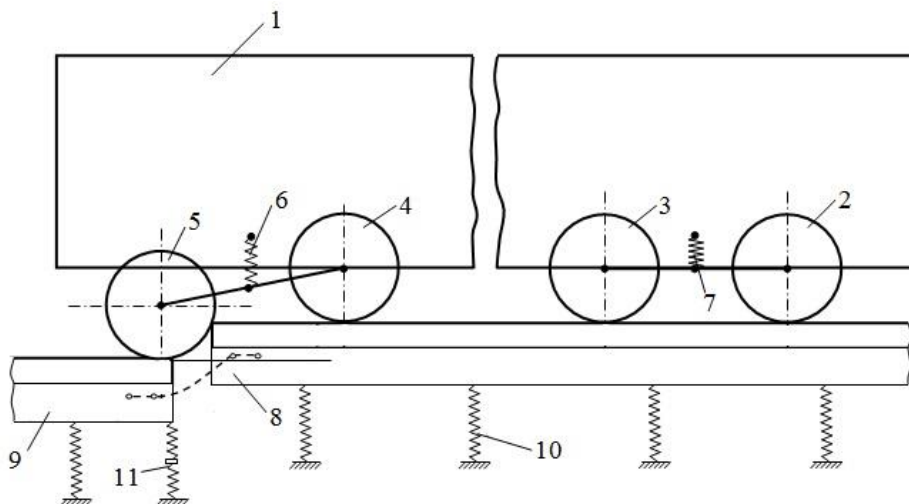


Рис. 1. Механічна схема вагона на четвертій фазі руху

Розрахункова механічна схема приймальної рейки на четвертій фазі руху вагона показана на рис. 2, де $c_{p.k.}$ – жорсткість рейки на кінці; c_1, b_1 – жорсткість та коефіцієнт демпфірування підвіски; c_2 – жорсткість баластового шару під рейкою; l_i ($i=1\div 22$) – геометричні координати пружних опор; l_i^* ($k=1\div 3$) – відстань від краю рейки відповідного колеса; m_1 – зведена маса колеса; m_2 – зведена маса вагона з урахуванням

завантаження. Тут $l_1^*=10,6$ м; $l_2^*=8,7$ м; $l_3^*=1,9$ м; $l_4^*=0$; $l_1=0,28$ м; $l_2=0,85$ м; $l_3=1,42$ м; $l_4=1,99$ м; $l_5=2,56$ м; $l_6=3,13$ м; $l_7=3,69$ м; $l_8=4,26$ м; $l_9=4,83$ м; $l_{10}=5,40$ м; $l_{11}=5,97$ м; $l_{12}=6,53$ м; $l_{13}=7,10$ м; $l_{14}=7,67$ м; $l_{15}=8,24$ м; $l_{16}=8,81$ м; $l_{17}=9,38$ м; $l_{18}=9,94$ м; $l_{19}=10,51$ м; $l_{20}=11,08$ м; $l_{21}=11,65$ м; $l_{22}=12,22$ м.

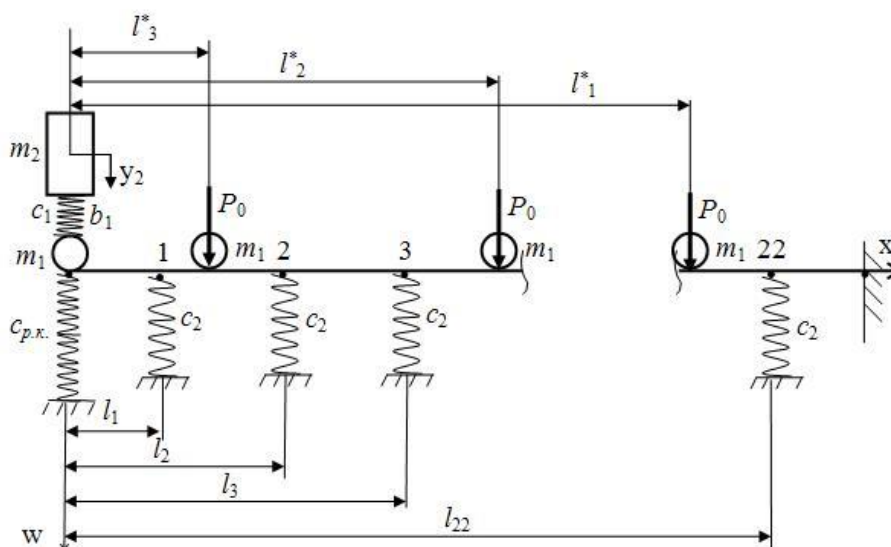


Рис. 2. Розрахункова структурна схема приймальної рейки на четвертій фазі руху

При дослідженні процесів динамічної взаємодії прийнято такі припущення, що не суперечать результатам робіт [1, 8-9]: коливання колісної пари та головки рейки відбуваються в безвідривному режимі (оскільки $m_2 \gg m_1$, припущення прийнятне); прогини рейки реалізуються без порушення цілісності баластового шару (оскільки

розглядаються деформаційні характеристики баластового шару під першою шпалою на фазі зростання прогинів приймальної рейки тільки вниз, припущення також прийнятне).

Для запропонованої моделі диференціальні рівняння коливань [1, 4, 11-12]:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial^4 w(t,x)}{\partial x^4} + \frac{\rho F}{EJ} \cdot \frac{\partial^2 w(t,x)}{\partial t^2} &= \frac{c_1(y_2 - w(t,0))\delta(0)}{EJ} + \frac{b_1}{EJ} \left(\frac{\partial y_2}{\partial t} - \frac{\partial w(t,0)}{\partial t} \right) \delta(0) - \\ &- \sum_{i=1}^{22} \frac{c_2 w(t,l_i) \delta(x-l_i)}{EJ} - \sum_{i=1}^4 \frac{m_1 \partial^2 w(t,l_i^*) \delta(x-l_i^*)}{EJ \partial t^2} - \sum_{i=1}^3 \frac{P_0 w(t,l_i^*) \delta(x-l_i^*)}{EJ}; \\ m_2 \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} + c_1(y_2 - w(t,0)) &+ b_1 \left(\frac{\partial y_2}{\partial t} - \frac{\partial w(t,0)}{\partial t} \right) = 0, \end{aligned} \right. \quad (1)$$

де $w(t,x)$ – прогин рейки;

$\delta(x)$ – імпульсна функція;

y_2 – переміщення зведеної маси вагона;

J – момент інерції перерізу рейки;

E – модуль пружності матеріалу рейки.

Розв'язання системи (1) виконується з застосуванням методу Фур'є поділу змінних, а також методів теорії операційного числення Лапласа-Карсона.

На рис. 3 наведено блок-схему розрахунку динамічних прогинів приймальної рейки.

Тут задаються механічні та геометричні характеристики, а також післяударна швидкість (при $x=0$). У якості висоти стику використовуються дані статичної взаємодії вагона з рейковою колією на четвертій фазі руху вагона [1, 10]. У схемі прогин $w(t,l_1)$ відповідає першій шпалі приймальної рейки.

Прогини системи розглядаються як суперпозиція власних форм коливань (блоки 2-7). Розрахунок починається з розгляду першої форми коливань ($s=1$, блок 2). У блоці 2 враховується, що місце

прикладання ударного імпульсу збігається з початком координат. Пошук власних значень починається з нуля (блок 3). Якщо отримана точність виявляється недостатньою (блок 4), то варіюється крок за частотою (блок 5).

Далі виконується пошук подальшої власної частоти (блок 6), доки не будуть визначені всі задані форми коливань (п'ять перших форм, блок 7). У блоці 8 з урахуванням початкових умов визначаються вагові коефіцієнти кожної форми D_s . У результаті визначається функція прогинів (блок 9), яка використовується для знаходження максимального прогину під першою шпалою ($x=l_1$) приймальної рейки в початковий момент часу $t=0$ (блок 10). При збільшенні часу (блок 12) прогин починає зростати. Цей процес продовжується до тих пір, поки прогин не досягне максимального значення (блок 11). Далі прогин починає зменшуватися, що свідчить про закінчення процесу пошуку максимальних прогинів (блок 13).

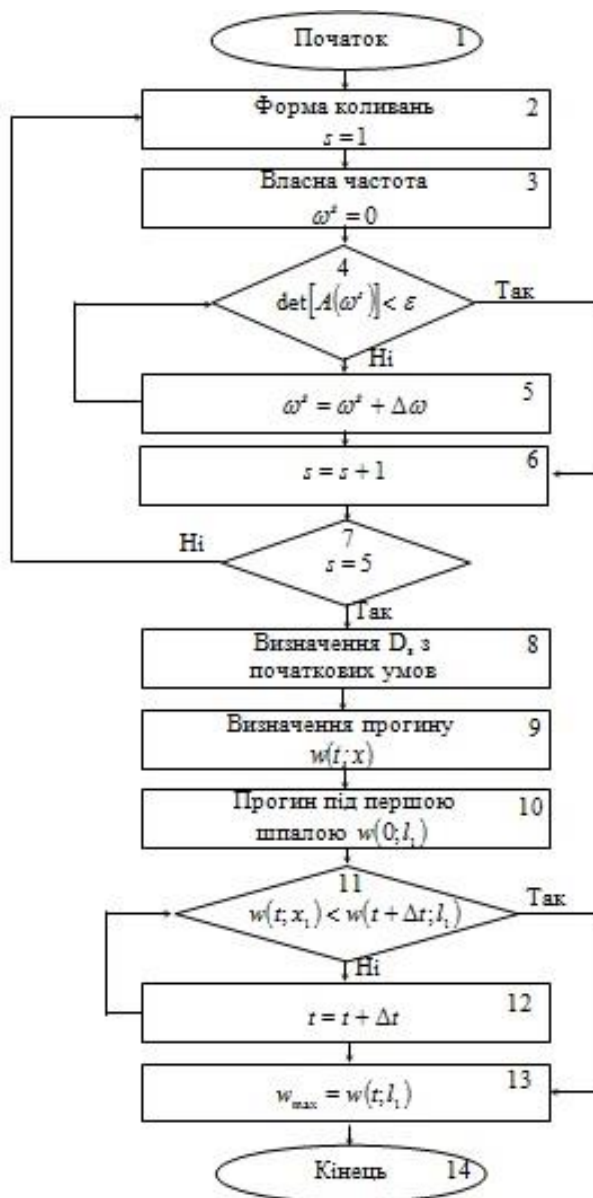


Рис. 3. Блок-схема розрахунку динамічних прогинів рейки

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Дослідження виконано при таких параметрах механічної системи "вагон-рейкова колія": $c_1=4,225 \cdot 10^5$ Н/м; $c_2=1 \cdot 10^8$ Н/м; $m_1=1100$ кг; $V=[1 \div 15$ м/с], $m_2=[17000/8$ (порожній вагон Т-3); $25050/8$ (середнє завантаження вагона при 115 пасажирів); $30510/8$ (максимальне завантаження вагона при 193 пасажирів)]. Характеристики двоголових накладок і рейки типу Р-65 відповідають таким даним

[13]: для рейки довжина $L=12,5$ м; відстань між шпалами $l=0,585$ м; $E=2,6 \cdot 10^4$ кН/см², $J=3573$ см⁴, щільність $\rho=7,8$ кг/м³; накладки - $E_n=2 \cdot 10^4$ кН/см², $J_n=766$ см⁴, $\rho_n=7,8$ кг/м³. Результати розрахунків наведено на рис. 4, де $y_1=w(t, l_1)$.

Зміна завантаження вагона в діапазоні $m_2=[2125 \div 3814]$ кг при швидкості руху $V=15$ м/с призводить до зміни прогину приймальної рейки під першою шпалою в діапазоні $y_1=[4,255 \div 8,054]$ мм, тобто до його зростання в 1,89 рази.

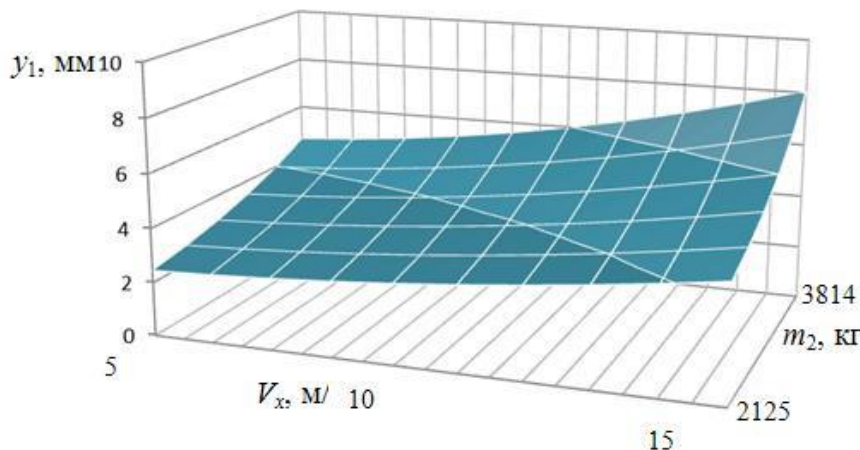


Рис. 4. Прогин приймальної рейки на четвертій фазі взаємодії

Встановлено, що збільшення швидкості руху вагона в діапазоні $V=[1\div 15]$ м/с і зведеної маси вагона $m_2=[2125\div 3814]$ кг призводить до зміни величини прогину приймальної рейки під першою шпалою в діапазоні

$y_1=[4,633\div 8,054]$ мм, тобто до його зростання в 1,75 разу.

Практичне використання отриманих у роботі результатів полягає у вдосконаленні експлуатаційних режимів вагона трамваю, а також верхньої будови шляху.

Список використаних джерел

1. Шпачук, В. П. Стикова динаміка трамвая [Текст]: монографія / В. П. Шпачук, В. Х. Далека, А. В. Коваленко. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 150 с.
2. Вериго, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган; под ред. М. Ф. Вериго. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
3. Вершинский, С. В. Динамика вагонов [Текст] / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
4. Лазарян, В. А. Динамика вагонов. Устойчивость движения и колебания [Текст] / В. А. Лазарян. – М.: Транспорт, 1964. – 255 с.
5. Kuminek, T. A numerical analysis of the contact stress distribution and physical modelling of abrasive wear in the tram wheel-frog system [Text] / T. Kuminek, K. Aniolek, J. Młyńczak // An International Journal on the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear. – 2015. – Vol. 328. — P. 177–185.
6. Song, J. Numerical prediction of ground vibrations induced by high-speed trains including wheel–rail–soil coupled effects [Text] / J. Song, G. Chen, J. Yang // International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering. — 2015. – Vol. 77. – P. 274–278.
7. Коган, А. Я. Расчет динамики удара в элементах конструкции пути [Текст] / А. Я. Коган, Ю. Л. Пейч, И. В. Полещук // Проблемы путевого хозяйства Восточной Сибири: сб. науч. трудов. – Иркутск: Ир ГУПС, 2003. – С. 19-31.
8. Шпачук, В. П. Динамічна взаємодія трамвая з рейковою колією при проходженні стикової нерівності колії [Текст] / В. П. Шпачук, О. О. Чупринін, Т. О. Супрун // Комунальне господарство міст. – 2012. – №105. – С. 376-385.
9. Шпачук, В. П. Дослідження впливу експлуатаційних факторів на статичні і динамічні прогини рейкової колії в зоні стикової нерівності [Текст] / В. П. Шпачук, О. О. Чупринін, Т. О. Супрун // Вібрації в техніці та технологіях. – 2014. – №4 (76). – С. 102-108.

10. Шпачук, В. П. Рівні статичної взаємодії трамвая з рейковою колією на четвертій фазі проходження вагоном стикової нерівності [Текст] / В. П. Шпачук, О. О. Чупринін, А. О. Гарбуз, Т. О. Супрун // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип: 162. – С. 11-20.

11. Тимошенко, С. П. Колебания в инженерном деле [Текст] / С. П. Тимошенко. - М.: Наука, 1967. – 444 с.

12. Бабаков, И. М. Теория колебаний [Текст] / И. М. Бабаков. – М.: Наука, 1968. – 691 с.

13. ДСТУ 18232-83. Рельсы контррельсовые. Технические условия. [Текст]. – Введ. 1985-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 13 с.

Шпачук Володимир Петрович, д-р техн. наук, професор кафедри теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. Тел.: (096) 010-60-33.

Чупринін Олександр Олексійович, канд. техн. наук, доцент кафедри теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. Тел.: (099) 053-89-42.

Супрун Тетяна Олександрівна, інженер кафедри теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. Тел.: (093) 417-09-93. E-mail: ms.suprun1989@mail.ru.

Гарбуз Алла Олегівна, канд. техн. наук, доцент кафедри теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. Тел.: (050) 300-68-19.

Shpachuk Vladimir Prtrovich, Dr. Sc. science of theoretical and structural mechanics O. M. Beketov national university of urban economy in Kharkov. Tel.: (096) 010-60-33.

Chuprinin Aleksandr Alekseevich, PhD. Sc. Associate Professor of theoretical and structural mechanics O.M. Beketov national university of urban economy in Kharkov. Tel.: (099) 053-89-42.

Suprun Tatiana Aleksandrovna, engineer of theoretical and structural mechanics O. M. Beketov national university of urban economy in Kharkov. Tel.: (093) 417-09-93. E-mail: ms.suprun1989@mail.ru.

Garbuz Alla Olegovna, PhD. Sc. Associate Professor of theoretical and structural mechanics O. M. Beketov national university of urban economy in Kharkov. Tel.: (050) 300-68-19.

Стаття прийнята 26.10.2016 р.

УДК 629.4.053

СИНТЕЗ КРИТЕРІЮ ЯКОСТІ РОБОТИ ЕРГАТИЧНОЇ СИСТЕМИ «МАШИНІСТ-ЛОКОМОТИВ»

Асп. А. О. Антонович

СИНТЕЗ КРИТЕРИЯ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «МАШИНИСТ-ЛОКОМОТИВ»

Асп. А. О. Антонович

THE SYNTHESIS OF QUALITY CRITERION OF ERGATIC SYSTEM «TRAIN DRIVER – LOCOMOTIVE»

Pg. A. O. Antonovych

У роботі отримано критерій якості для оцінки керуючої діяльності машиніста локомотива. Синтез критерію ґрунтується на адитивному показнику, що включає в себе визначені показники витрати енергоресурсів на тягу поїздів, дотримання графіка руху та показник рівня безпеки руху. Такий підхід дозволив отримати теоретичне підґрунтя для порівняння дій машиністів у різних поїзних ситуаціях.

Ключові слова: ергатична система, локомотив, машиніст, якість керування, безпека руху.

В работе получен критерий качества для оценки управляющей деятельности машиниста локомотива. Синтез критерия основывается на аддитивном показателе, включающем в себя показатели расхода энергоресурсов на тягу поездов, соблюдение графика движения и показатель уровня безопасности движения. Такой подход позволил получить теоретическое основание для сравнения действий машинистов в различных поездных ситуациях.

Ключевые слова: эргатическая система, локомотив, машинист, качество управления, безопасность движения.

Obtain a criterion of quality for the evaluation of the management activities of the locomotive engineer. The quality of the functioning ergatic system because of its reliability. Each partial criterion represents the functionality, including vectors of technical condition of locomotive, control the driving signals, initial conditions and final States. Modalities for the accounting of each partial criterion weight coefficients. In the structuring of partial criteria formulated in the following terms: limiting their total amount; account of train situation at the station; saving computing resources on-Board computer. The synthesis criterion is based on an additive index that includes indicators of energy consumption for train traction, adherence to the schedule and an indicator of the level of traffic safety. Be less than the predicted values of the given quantities, the more useful it is considered to take the control decision. This approach allowed to obtain a theoretical basis for comparison of the actions of the train drivers in different situations. In the future the survey can be used to detect and compare the qualifications of the different drivers.

Keywords: ergatic system, locomotive, machinist, quality control, safety.

Вступ. Забезпечення високої якості роботи машиніста, а отже, і всієї системи «машиніст – локомотив» є пріоритетним завданням на залізничному транспорті. Його вирішення прямо впливає на основні показники роботи локомотивних депо та залізниці в цілому, а саме на витрати енергоресурсів на тягу поїздів, точність дотримання графіка руху і стан безпеки руху. Тому підвищення якості керуючої діяльності людини-оператора на залізничному транспорті є актуальним завданням, спрямованим на вирішення проблеми підвищення ефективності експлуатації транспорту в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню професійної діяльності машиністів локомотива присвячено багато робіт як в Україні, та і у світі. Перспективи підвищення якості перевезень за рахунок зниження шкідливого впливу людського фактора

розглянуто в роботі [1]. У результаті дослідження [2] описано основні функції машиніста в сучасних умовах ПАТ «Укрзалізниця», що характеризуються погіршенням технічного стану рухомого складу. У роботах [3, 4] визначено основні критерії безпеки руху та вплив людської діяльності на її рівень. Моделювання керуючої діяльності машиніста локомотива виконано з використанням теорії нечітких імовірнісних графів [5] та інтерполяційного структурного моделювання [6]. У наведених роботах автори оперують поняттям «якість керування локомотивом», але це поняття так і залишилось нерозкритим і потребуючим формального визначення.

Якість роботи ергатичної системи «машиніст-локомотив» пов'язана з її надійністю, при визначенні якої необхідно враховувати таке [7]:

1. Показники надійності повинні бути єдиними для всіх ланок системи «машиніст-локомотив» і по можливості містити в собі в явному вигляді показники надійності її окремих ланок – машиніста і локомотива.

2. При визначенні надійності системи «машиніст-локомотив» із методичної точки зору доцільно представляти людину-оператора як одну з ланок системи. Водночас слід розуміти, що людина є специфічною ланкою з властивими тільки їй особливостями [8].

3. Одержання універсального виразу для визначення надійності системи «машиніст-локомотив» будь-якого типу досить складне. Тому необхідно виявити основні складові системи і для кожного з них одержати свої вирази для оцінки надійності.

Визначення мети та задачі дослідження. Виходячи з аналізу доступних досліджень і публікацій основну увагу в ергатичній системі «машиніст-локомотив» приділено надійності та моделюванню роботи машиніста і локомотива (або поїзда). Не визначено та не формалізовано критерій якості керування локомотивом. Це викликає деякі труднощі при вирішенні завдань оптимізації діяльності машиніста і оцінки впровадження нових засобів безпеки та контролю на локомотивах. Тому метою даного дослідження є синтез критерію якості роботи ергатичної системи «машиніст-локомотив».

Основна частина дослідження. Критерій якості роботи ергатичної системи «машиніст-локомотив» у процесі експлуатації може бути представлений у вигляді співвідношення різних показників якості, що відображують різні властивості системи.

Завдаємо комплексний критерій якості системи у вигляді

$$Y = \sum_{i=1}^n \gamma_i I_i, \quad (1)$$

де γ_i – ваговий коефіцієнт i -го показника I_i , $i \in [1, n]$;

n – кількість часткових критеріїв.

Кожен із часткових критеріїв являє собою функціонал

$$I_i = I_i(x, u, x_{зв}, x_{пч}, x_{кц}, q_{лб}, t) = I_i(\bar{X}), \quad (2)$$

де x – вектор технічного стану локомотива;

u – вектор керування;

$x_{зв}$ – вектор задавальних впливів;

$x_{пч}$ – вектор початкових умов;

$x_{кц}$ – вектор кінцевого стану;

$q_{лб}$ – якість роботи локомотивних бригад;

t – час, протягом якого досліджується система.

Функціонали (2) визначені на розв'язанні системи

$$\frac{dx}{dt} = f(\bar{X}), \quad (3)$$

де f – вектор функції узагальненої сили.

Функціонали (2) і рівняння (3) визначені в області простору вектора стану і вектора керування

$$N(x, u) \geq 0. \quad (4)$$

Варіаційна задача полягає в знаходженні оптимального процесу керування з області N

$$\{x^*(t), u^*(t)\}, \quad t_0 \leq t \leq t_1. \quad (5)$$

У такій постановці варіаційна задача є невизначеною, якщо невідомі вагові коефіцієнти у виразі (1).

Кожен з часткових показників, що утворюють комплексний критерій якості, відображує різні властивості системи керування і, будучи функціоналом, має числове вираження.

У реальних умовах роботи локомотива завжди є обмеження за запасом потужності, конструкційною швидкістю (або граничною швидкістю для даної ділянки), напруженістю роботи локомотивної бригади та ін.

Ці обмеження необхідно ввести в математичний опис об'єкта. Тому для кожного часткового критерію повинна бути відома верхня межа його вимірювання

$$I_i(\bar{X}) \leq B_i, \quad i \in [1, n]. \quad (6)$$

Якщо ж для деяких критеріїв такої інформації у явному вигляді нема, то граничні значення можуть бути обчислені, наприклад, так, як це запропоновано в роботі [9].

При визначенні комплексного критерію \mathcal{Y} необхідно визначити кількість і склад часткових критеріїв. Необхідно додержуватись таких умов:

- перелік часткових критеріїв не повинен бути занадто великим. Бажано дрібні критерії виразити за допомогою більш загальних з метою спрощення розрахунків;

- часткові критерії повинні обиратися не тільки з урахуванням якості керування окремо обраним поїздом (локомотивом), але і враховувати, що ергатична система «поїзд-машиніст» є лише складовою великої системи залізниці, що забезпечує перевезення на даній ділянці;

- маючи на увазі перспективні локомотиви, методика розрахунків повинна забезпечувати їх проведення бортовими ЕОМ з необхідною швидкістю. Це дозволить використати отримані дані при керуванні локомотивом, не знижуючи рівень безпеки руху.

У роботі пропонується в якості критеріїв використати фактори корисності, наведені в роботах [10, 11]. Параметрами, що характеризують корисність того чи іншого рішення, прийнятого системою, пропонуються величини складності нештатної ситуації, відхилення від графіка

та витрата енергії на тягу. Чим меншими виявляються прогнозні значення наведених величин у результаті прийняття рішення, тим корисніше це рішення.

Корисність рішення визначимо у тривимірній системі координат $(X_{nc}; G; \Delta t)$, де X_{nc} – складність нештатної ситуації, G – витрати енергії на рух поїзда, Δt – відхилення від графіка руху. Корисність дії в такому випадку буде визначатися довжиною вектора, відкладеного від початку координат до точки $(X_{nci}; G_i; \Delta t_i)$, яка визначається прогнозним значенням вказаних величин у результаті того або іншого рішення, що вироблено системою [11].

Таким чином вираз (1) конкретизуємо та подамо як

$$\mathcal{Y} = \sum_{i=1}^3 \gamma_i I_i, \quad (7)$$

де I_1 – частковий критерій безпеки руху;

I_2 – частковий критерій витрати енергоресурсів на тягу поїздів;

I_3 – частковий критерій дотримання графіка руху поїзда;

γ_i – ваговий коефіцієнт i -го часткового критерію.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. У результаті дослідження запропоновано показник якості роботи ергатичної системи «машиніст-локомотив» подавати у вигляді адитивного критерію. Частковими критеріями якості визначено показники витрати енергоресурсів на тягу поїздів, дотримання графіка руху та показник рівня безпеки руху. Такий підхід дозволив формалізувати оцінку керуючої діяльності локомотивної бригади, що є підставою для об'єктивного порівняння дій машиністів у різних, як нормальних, так і нештатних, поїзних ситуаціях. У подальших дослідженнях необхідно обґрунтувати величини вагових коефіцієнтів часткових

критеріїв. Однією з перспектив визначення та порівняння кваліфікаційного використання даного підходу до рівня різних машиністів до визначення якості керуючої діяльності є

Список використаних джерел

1. Rajabalinejad, M. Operation, safety and human: Critical factors for the success of railway transportation [Text] / M. Rajabalinejad, A. Martinetti, L. A. M. van Dongen // System of Systems Engineering Conference (SoSE), 2016 11th. – Kongsberg Kunnskap og kulturpark, Kongsberg, Norway: IEEE, 2016. – pp. 85-91.
2. Самсонкин, В. Н. Исследование особенностей деятельности машиниста поезда в современных условиях: взгляд изнутри профессии [Текст] / В. Н. Самсонкин, Я. П. Петин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 3 (78). – С. 40-45.
3. Самсонкін, В. М. Теорія безпеки на залізничному транспорті [Текст]: монографія / В.М. Самсонкін, В. І. Мойсеєнко. – К.: Видавництво «Каравела», 2014. – 247 с.
4. Rail Human Factors: Supporting reliability, safety and cost reduction. [Text] / N. Dadashi, A. Scott, J. R. Wilson, A. Mills. – London, UK: CRC Press, 2013. – 762 p.
5. Бутько, Т. В. Моделирование управляющей деятельности машиниста локомотива с помощью теории нечетких графов [Текст] / Т. В. Бутько, А. Н. Горобченко // Наука та прогрес транспорту: Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2015. – № 2 (56). – С. 88–96.
6. Extracting train driver's perception strategies using Interpretive Structural Modeling [Text] / Y. Horiguchi, T. Suzuki, T. Sawaragi, etc. // Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS), 2014 Joint 7th International Conference on and Advanced Intelligent Systems (ISIS). – Kitakyushu, Japan: Kitakyushu International Conference Center, 2014. – P. 45-53.
7. Пузир, В. Г. Наукові основи удосконалення технології передрейсової підготовки локомотивів та локомотивних бригад [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: В. Г. Пузир. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – 38 с.
8. Павлов, В. В. Синтез эргатических систем управления [Текст] / В. В. Павлов, А. Н. Воронин, А. М. Мелешев // Кибернетика и вычислительная техника. – К.: Наукова думка, 1972. – 225 с.
9. Пузир, В. Г. Інформаційна модель процесу керування локомотивом [Текст] / В. Г. Пузир // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 1998. – № 1. – С. 22-25.
10. Бабанін, О. Б. Визначення цільової функції для оптимізації процесу керування в ергатичній системі «машиніст-СППР-поїзд» на підставі критерію корисності [Текст] / О. Б. Бабанін, О. М. Горобченко // Зб. наук. праць держ. екон.-технол. ун-ту трансп. – К.: ДЕГУТ, 2014. – Вип. 25. – С. 92-99.
11. Горобченко, О. М. Визначення корисності дії інтелектуального агента керування рухом поїзду [Текст] / О. М. Горобченко // Тези доповідей 71 Міжнар. наук.-практ. конф. "Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту", 14-15 квітня 2011 р. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. – С. 63.

Антонович Артем Олегович, кафедра експлуатації і ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 093-0256400. E-mail: artem_antonovich@mail.ru.

Antonovych Artem Olehovych, graduate student Major Maintenance and repair of rolling stock, Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: 093-0256400. E-mail: artem_antonovich@mail.ru.

Стаття прийнята 27.10.2016 р.

УДК 528.067.4

АНАЛІЗ СТВОРЕННЯ І ВЕДЕННЯ МІСЬКОГО БУДІВЕЛЬНОГО КАДАСТРУ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ УКРАЇНИ

Кандидати техн. наук С. Г. Нестеренко, К. І. Вяткін

АНАЛИЗ СОЗДАНИЯ И ВЕДЕНИЯ ГОРОДСКОГО СТРОИТЕЛЬНОГО КАДАСТРА НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ УКРАИНЫ

Кандидаты техн. наук С. Г. Нестеренко, К. И. Вяткин

ANALYSIS OF CREATION AND REFERENCE OF URBAN CONSTRUCTION INVENTORY SETTLEMENTS IN UKRAINE

Cand. of techn. sciences S. Nesterenko, K. Vyatkin

У статті розглянуто актуальні проблеми та методи створення міського будівельного кадастру для населених пунктів України в сучасних умовах розвитку на регіональному, державному та світовому рівнях.

Ключові слова: міський будівельний кадастр, міські транспортні системи, інформаційна модель міста, управління міським середовищем.

В статье рассмотрены актуальные проблемы и методы создания городского строительного кадастра для населенных пунктов Украины в современных условиях развития на региональном, государственном и мировом уровнях.

Ключевые слова: городской строительный кадастр, городские транспортные системы, информационная модель города, управление городской средой.

In the article the problems and methods of creating municipal building inventory for settlements of Ukraine in modern conditions of regional, national and global levels.

To achieve this goal have been resolved following tasks: studied previous experience and approaches to create urban cadastre Ukraine; analyzed and summarized the basic principles of inventory in the system at present; The possibility of solving practical problems concerning transport networks in the overall transport system of urban construction inventory. The methods have made it possible to predict the state of the urban cadastre system construction and take into account the negative experience of previous systems.

Keywords: city building cadastre, urban transport systems, information model city, urban environment management.

Вступ. Містобудівний кадастр є одним з найважливіших джерел інформації щодо показників, що характеризують міське середовище як об'єкт управління.

Відомо, що інформаційна система, ступінь складності структури і обсяг інформації повинні відповідати ступеню складності і масштабу об'єкта управління. Ми поки що маємо дещо спрощене

уявлення про міський кадастр: список (реєстр) і карта. Але сучасне місто – це складний об'єкт управління з багатофункціональною територіальною структурою, складним багаторівневим комплексом галузей міського господарства. Структура інформаційної моделі великих міст України почала створюватись лише наприкінці ХХ сторіччя. На початковому

етапі вона складалася з сотні видів елементів і десятків показників, які їх описували. Інформаційна модель міст України містить десятки тисяч атрибутів – елементів, які характеризують їх показників. Це свідчить про надзвичайну складність міських інформаційних систем, у тому числі і системи міського кадастру України. У містах існує безліч інформаційних і кадастрових систем, загальним для яких є те, що всі вони спрямовані на опис елементів і явищ міського середовища і так чи інакше адресно прив'язані до міського простору, тобто є по суті територіальноорієнтованими системами.

Для прийняття рішень, що визначають процеси міського розвитку, необхідними відомостями є все, що створено та існує на поверхні (грунт, рослинність, забудова), під поверхнею землі (геологія, гідрогеологія), а також над поверхнею (мікроклімат, стан повітряного басейну тощо). Важливі також показники про населення, економічну основу, характер внутрішніх міських і зовнішніх зв'язків, несучу здатність ґрунтів, інженерно-технічні умови в освоєнні майданчиків під будівництво та ін. [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що даних містобудівного кадастру, які передбачені основними нормативними базами або ДБН, недостатньо для прийняття конкретних рішень щодо планування та прогнозування розвитку міста або окремих його галузей. Для цього необхідна інформація в обсязі не кадастру, а як мінімум містобудівного банку даних. Містобудівний кадастр являє собою лише верхній шар. Паспортні дані про об'єкт – це вид об'єкта, його розташування, функціональні, метричні, технічні, техніко-економічні характеристики, відомості про власника. Але обсяги інформації, які містяться в кадастрі, не забезпечують повною мірою процеси управління, особливо коли йдеться про складні містобудівні ситуації з

неоднозначними рішеннями, які вимагають серйозних обґрунтувань, пошуку оптимального рішення на основі різноманітних методів опрацювання містобудівного проектування [2-3].

Мета досліджень. Систематизація та узагальнення застосовуваних у наш час в Україні та її містах різних підходів до створення містобудівного кадастру та основних принципів роботи в кадастрових системах; встановлення можливості вирішення практичних завдань стосовно транспортних мереж у загальній транспортній системі міського будівельного кадастру.

Основний матеріал досліджень. Робота над створенням системи міського кадастру включає в себе створення містобудівного банку даних. Така організація роботи викликана кон'юнктурними міркуваннями: роботи з кадастру, описані в законі про основи містобудування, фінансуються місцевими органами, а потрібен по суті містобудівний банк даних.

Це є першою проблемою, тому що організаційна структура, програмні, технічні та фінансові кошти розраховуються лише на кадастр.

Управління процесом міського розвитку ґрунтується на перспективних моделях, що розробляються в складі генерального плану міста на віддалену перспективу (для найбільших міст на 40-50 років). Це необхідно для визначення принципово можливих масштабів і напрямів соціально-демографічного і територіально-планувального розвитку міста, перспективного розвитку та розміщення великих об'єктів транспортної та інженерної інфраструктури міського і регіонального значення на період розрахункового терміну 20 років і першої черги – 5 років.

Розроблення таких моделей базується на даних про стан міського середовища, демографічні, соціальні, економічні, екологічні, містобудівні процеси, що

протікають зараз, а також у попередній період – 20-40 років і більше. Крім того, виявляється необхідним аналіз раніше виконаних прогнозних і проектних розробок.

Глибина прогнозного періоду і ретроспективного аналізу в часі відповідає ступеню складності споруд, часу будівництва, їх капіталомісткості. Для метрополітену, наприклад, проектний період визначають у 50-70 років, трамвайні лінії – 10-12 років, магістральних автомобільних доріг – 7-10 років. Зрозуміло, що названі періоди прив'язані до конкретного досвіду. Але відомо, наскільки консервативними є місцеві містобудівні традиції і наскільки обмежені матеріальні ресурси та фінансові можливості наших міст.

В умовах становлення ринкових відносин в економіці уряду у провідних фахівців-містобудівників виникли сумніви в доцільності централізованого планування міського розвитку, встановлення певних часових інтервалів у реалізації містобудівних програм, тобто розрахункових термінів. У нинішніх умовах планове регулювання міського розвитку, централізоване управління розвитком об'єктів міської інфраструктури, процесом територіально-планувального розвитку міста, регіональної містобудівної системи повинні тільки вдосконалюватись. Це визначається зростанням кількості інвесторів, а також необхідністю координації, концентрування матеріальних і фінансових ресурсів для створення міської інфраструктури з метою здійснення великих містобудівних програм.

Довгострокове будівництво великих споруд впливає на бюджет не тільки міста, а й держави в цілому. Оскільки в містах одночасно реалізується кілька, а то й десятки подібних програм за участю міських коштів, всі вони повинні бути узгоджені в часі. Витрати на будівництво повинні бути збалансовані в загальній структурі витрат на міський розвиток по роках. В умовах обмежених ресурсів, а вони завжди обмежені, необхідно

оптимізувати структуру їх розподілу в часі – на 5, 10, а іноді і більше років.

Розрахунки, виконані в генеральному плані міста на віддалену перспективу, повинні визначити напрямки і масштаби, а також загальні обсяги інвестицій, необхідних для збалансованого розвитку міста. На період розрахункового терміну – умовно 20 років – генпланом повинна визначатися потреба в ресурсах на реалізацію конкретних програм: підготовка до освоєння нових територій, будівництво великих елементів міської інфраструктури – мостів, об'їздів, джерел енергопостачання; об'єктів зовнішнього транспорту – аеропортів, залізничних обходів, вокзалів і т. п. [4].

Відповідно на найближчі 5-7 років повинна бути обґрунтована програма розвитку і капітального будівництва, забезпечена реальними ресурсами, які також необхідно планувати.

Міський кадастр повинен забезпечити верхні ешелони міської влади інформацією про стан міського середовища, планувальні елементи – житлові, виробничі зони, громадські центри, відкритий простір – природні комплекси; системи інженерного обладнання, транспорту, комунального господарства. Він повинен бути органічно пов'язаний з міськими інформаційними системами, включаючи генеральну базу даних (ГБД) органами (службами) статистики, планування і проектування.

Відомо, що створення сучасних інформаційних систем у містах починалося з організації інформаційної підтримки АСУ окремих галузей міського господарства. У Києві та Харкові – ВУВКГ, управління ЖКГ ТТУ, метрополітен, Київпроект, ХарМетропроект тощо. Всі вони досі не пов'язані між собою і орієнтовані на рішення відомчих завдань.

Створення містобудівного кадастру має на меті забезпечити інтеграцію відокремлених і розрізнених систем на основі впровадження єдиних міських стандартів опису предметної сфери

управління міським розвитком, єдиних принципів і стандартів адресної прив'язки об'єктів міського середовища, тобто те, що називається "інформаційною інфраструктурою".

Відповідно до нормативних документів структура даних містобудівного кадастру включає відомості про ділянки землекористування (землеволодінь). Це адреса (місце розташування), функціональне використання, ім'я власника (користувача), площа, ціна (розрахункова вартість).

У кадастрі містяться дані про будівлі та споруди як об'єкти містобудівного аналізу на різних стадіях проектно-планувальних робіт (генплан, схеми планування та ін.), відомості про спеціальні науково-дослідні роботи, а також про об'єкти нерухомості. Це пов'язано з фактичною відсутністю приватної власності на землю і з тим, що досі об'єктом економічних відносин є будівля [5].

У відсталих країнах і в сучасних країнах з ринковими відносинами об'єктом нерухомості є земельна ділянка з усіма розташованими на ній будівлями.

Структура даних містобудівного кадастру включає також відомості про інженерні мережі і споруди. Це вулично-дорожня мережа, водопровідні, каналізаційні, теплові, газові, електричні та інші мережі.

З огляду на ту обставину, що інформація про стан інженерних мереж і споруд з тією чи іншою повнотою необхідних даних міститься в міських галузевих організаціях і службах, розроблення містобудівних кадастрів практично у всіх містах України починалося з опису найменш вивчених елементів міської структури, особливо з кадастру земельних ділянок, і в окремих випадках - будівель і споруд переважно житлових і громадських. Це відповідає загальносвітовим тенденціям, про що свідчить, зокрема, відомий досвід міст Німеччини, Швеції, США та інших країн. Земельні ресурси, об'єкти нерухомості

розглядаються як основне джерело наповнення міської скарбниці.

Існують різні принципи підходу до організації систем. У Німеччині після 1990 року створена і експлуатується кадастрова система обліку житлових будинків, в основу якої покладено принцип переведення на машинні носії даних, що містяться в будинкових книгах, які ведуться там з XVIII століття. Роботу веде інститут Fasilitu менеджмент (м. Берлін) за розробленою ним методикою і на базі власного програмного забезпечення. У багатьох містах США за завданням муніципалітету групою фахівців муніципальних службовців у середині 1980-х років була розроблена і введена в експлуатацію автоматизована система обліку землеволодінь. Діяльність групи в складі декількох осіб підтримувалася бюджетним фінансуванням. Учасниками системи були всі землевласники, які несуть відповідальність за своєчасність оновлення даних, їх достовірність. Це відомості про власників, вартість, розміри ділянок. У той же час це був тільки реєстр, який щорічно видається і розповсюджується для ділянок без графічного супроводу.

Розроблення кадастрових систем в Україні ведеться переважно за рахунок позабюджетних коштів держадміністрацій. Роботи виконуються з урахуванням діючих нормативів і державних рекомендацій. На сьогодні в містах робляться перші спроби наповнення первинних баз даних. Основним питанням є створення повноцінних служб, порядок і способи актуалізації даних. Це говорить про те, що ми вже фактично приступили до створення систем міського кадастру, оскільки ідея концентрації всього обсягу інформації в службі кадастру існувала вже досить давно. Обсяги необхідної інформації, її різноманітність, складність збору і обробки первинної інформації свідчать про доцільність роботи з розподіленою базою даних. При цьому первинні дані збираються і концентруються в галузевих

службах. Завдання служб містобудівного кадастру полягає в тому, щоб налагодити взаємодію з численними міськими базами даних. Труднощі при цьому виникають через відсутність правової бази і організаційні засади, що регулюють взаємовідносини між службою міського кадастру і службами-власниками баз даних, а також відпрацьовані технології передачі даних. Це, разом з відсутністю єдиних правил і стандартів адресної прив'язки даних, є однією з найбільш актуальних проблем у сфері створення і ведення містобудівного кадастру.

На сьогоднішні в Україні створено всі необхідні передумови законодавчої бази для містобудівного кадастру. Є закон про основи містобудування, у якому рекомендовано створювати в містах кадастрові системи за рахунок коштів місцевого бюджету. Розроблено основоположну нормативну базу, визначено головну організацію – Державний науково-дослідний інститут теорії та історії архітектури і містобудування, у якому створено центр міського кадастру. Далі справа стоїть лише за практичною реалізацією. Вже напрацьовано достатньо різних програмних засобів, що постійно оновлюються і дозволяють повноцінно працювати з даними міського кадастру. Доцільність їх використання в наших умовах, маючи на увазі обсяги інформації, готівкові технічні засоби, кваліфікацію персоналу, способи надання та актуалізації даних, ще не перевірена.

З огляду на обмеженість коштів на створення системи міського кадастру в окремих містах бажано залучити до нашої проблеми увагу асоціації мерів міст. З метою кооперування коштів для

відпрацювання ефективних технологій створення і ведення міського кадастру було б доцільно виконати весь комплекс робіт на прикладі одного з великих міст з подальшим безкоштовним розповсюдженням прийнятої технології в інших містах. Це необхідно зробити, тому що сьогодні ми ще не повною мірою уявляємо всю сукупність проблем, пов'язаних з функціонуванням кадастрової системи в реальних умовах сучасних міст України. Необхідно продумати, як забезпечити безперервність діяльності служб міського кадастру, системи моніторингу, підготовки аналітичних даних.

Найбільш складною і недостатньо вивченою залишається проблема інтерфейсу міського кадастру з зовнішнім інформаційним середовищем, який багато в чому визначається "людським" фактором. Сучасне місто не вирішить своїх проблем без освічених, розумних і далекоглядних фахівців і керівників [6].

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Систематизовано та узагальнено підходи до створення містобудівного кадастру та основних принципів роботи в кадастрових системах міст України; встановлено можливості вирішення практичних завдань стосовно транспортних мереж у загальній транспортній системі міського будівельного кадастру. Встановлено, що специфіка інформаційної системи, яка забезпечує містобудівні рішення, полягає не тільки в структурі даних, а й у необхідності залучення разом з актуалізованими ретроспективних і прогностичних даних, що є функцією містобудівного банку даних.

Список використаних джерел

1. Офіційний сайт Департаменту містобудування та архітектури м. Харкова <http://www.dma.kh.gov.ua/planning/kadastr>.
2. ДБН Б 1.1-16:2013. Державні будівельні норми України. Склад та зміст містобудівного кадастру.

3. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності». Верховна Рада України; Закон від 17.02.2011 № 3038-VI.

4. Лихогруд, М. Г. Структура й особливості формування кадастрового номера земельної ділянки та іншої нерухомості [Текст] / М. Г. Лихогруд // Землевпорядний вісник. – 2000. – № 4. – С. 64-68.

5. Ho, S. Legal barriers to 3D cadastre implementation: What is the issue? [Text] / S. Ho, A. Rajabifard, J. Stoter, M. Kalantari // Land Use Policy. – 2013. – Vol. 35, N. 1. – P. 379-387.

6. Oosterom, P. Research and development in 3D cadastres [Text] / P. Oosterom // Environment and Urban Systems. 2013. - Vol. 40, N. 1. – P. 1-6.

Нестеренко Сергій Григорович, канд. техн. наук, асистент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. Тел.: (097) 905-00-17. E-mail: nesterenko-sg@mail.ru.

Вяткін Костянтин Ігорович, канд. техн. наук, асистент кафедри міського будівництва Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. Тел.: (066) 723-90-76. E-mail: vyatkun@mail.ru.

Nesterenko Sergey candidate of technical sciences assistant department of land administration and GIS O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (097) 905-00-17. E-mail: nesterenko-sg@mail.ru.

Vyatkin Konstantin candidate of technical sciences assistant of the Municipal Building O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (066) 723-90-76. E-mail: vyatkun@mail.ru.

Стаття прийнята 01.11.2016 р.

УДК 621.878 УДК 629.11

УМОВА СКИДАННЯ ҐРУНТУ З ОСНОВНОГО ВІДВАЛА АВТОГРЕЙДЕРА

Канд. техн. наук О. С. Саяпін, канд. техн. наук С. М. Камчатна,
М. О. Литвиненко, А. А. Хлистун

УСЛОВИЕ СБРАСЫВАНИЯ ҐРУНТА С ОСНОВНОГО ОТВАЛА АВТОГРЕЙДЕРА

Канд. техн. наук А. С. Саяпин, канд. техн. наук С. Н. Камчатная,
М. А. Литвиненко, А. А. Хлыстун

THE CONDITION OF SOIL THROW-OFF FROM THE MAIN MOTOR GRADER BLADE

Ph.D. O. Saiapin, S. Kamchatna, M. A Litvinenko, A. A. Khlistun

У статті розглянуто процес скидання ґрунту з основного косопоставленого відвала автогрейдера, проаналізовано дослідження закордонних і вітчизняних учених у даній сфері. Отримано нерівність, що описує умову скидання ґрунту з косопоставленого відвала автогрейдера, визначено чисельні величини максимально припустимої величини кута захвату, при якому починається ковзання всього об'єму ґрунту з переміщенням його по відвалу в горизонтальній площині перпендикулярно до поздовжньої осі машини.

Ключові слова: кут захвату, косопоставлений відвал, математична модель роботи автогрейдера, скидання ґрунту, сили, що діють на ґрунт.

В статье рассмотрен процесс сбрасывания грунта с основного косопоставленного отвала автогрейдера, проанализированы исследования зарубежных и отечественных ученых в данной области. Получено неравенство, описывающее условие сбрасывания грунта с косопоставленного отвала автогрейдера, определены численные величины максимально допустимой величины угла захвата, при котором начинается скольжение всего объема грунта с перемещением его по отвалу в горизонтальной плоскости перпендикулярно продольной оси машины.

Ключевые слова: *угол захвата, косопоставленный отвал, математическая модель работы автогрейдера, сбрасывание грунта, силы, действующие на грунт.*

The article considers the process of soil throw-off from the main oblique motor grade blade and the researches of home and foreign scientists in the given field have been analyzed. The inequation describing the condition of soil throw-off from oblique motor grade blade has been obtained, numerical values of maximum allowable nip angle magnitude at which slipping of all the amount of soil with its movement on a blade in horizontal plane perpendicularly to longitudinal axis of a car starts have been determined.

Key words: *nip angle, oblique blade, mathematical model of motor grader work, soil throw-off, forces affecting soil.*

Вступ. Для оптимізації роботи автогрейдера при провадженні робіт з улаштування залізничного земляного полотна необхідно виставляти основний відвал машини під визначеним кутом. Тому при розгляданні процесу скидання ґрунту з основного косопоставленого відвала автогрейдера необхідно враховувати взаємодію робочого органу з ґрунтом і взаємодію колісного руху з опорною поверхнею. У даній статті наведено розрахунки, за допомогою яких отримано нерівність, що описує умову скидання ґрунту з косопоставленого відвала автогрейдера, визначено чисельні величини максимально припустимого кута захвату, при якому починається ковзання всього об'єму ґрунту, який переміщується по відвалу в горизонтальній площині перпендикулярно до поздовжньої осі машини, для розробки ґрунтів з різними значеннями коефіцієнта тертя ґрунту по металу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питаннями оптимізації роботи землерійно-транспортних і землерійних машин займаються такі вчені, як Кононов О.А., Волков Д.П., Тепляков І.М., Ульянов Н.О. [1-4, 7, 8] та багато інших

науковців. На даний момент для оптимізації роботи автогрейдера при провадженні робіт зі спорудження земляного залізничного полотна розроблено різноманітні технологічні карти і пропонуються різні кути, під якими виставляються основний і допоміжний відвали. У даній статті наведено розрахунки та математичну модель, яка описує взаємодію масиву ґрунту, який утворюється під час розробки ґрунту, з поверхнею відвала автогрейдера, що дозволяє виставляти основний відвал машини під визначеним кутом.

Основний матеріал досліджень. Теоретичний розгляд роботи автогрейдера в тяговому режимі може бути представлено як опис двох основних явищ: взаємодія робочого органу з ґрунтом, який розробляється, і взаємодія колісного руху з опорною поверхнею. Можливість уточнення математичної моделі роботи автогрейдера з погляду урахування кута зарізання й визначення місця розташування точки прикладання рівнодіючих сил опору різанню ґрунту при копанні з різанням наведена в роботі [1]. У роботі [2] отримано деякі співвідношення, що дозволяють уточнити математичну модель

автогрейдера при розробці ґрунту основним косопостваленим відвалом з позиції місця розташування точки прикладання рівнодіючих сил опору переміщенню ґрунтами сил опору ковзанню ґрунту по відвалу.

При розробці ґрунту основним (косопостваленим) відвалом автогрейдера, як правило, відбувається не тільки відділення ґрунту від масиву, але й відведення його в бічний валик. Тому досить значним моментом є окремий докладний розгляд процесу скидання ґрунту з косопостваленого відвала

автогрейдера. На ґрунт, переміщуваний перед робочим органом під час руху машини в тяговому режимі, діють одночасно сила тертя $F_{тр}$, N , і сила скокування $F_{ск}$, N .

Схема розкладання сил, що діють на ґрунт, який переміщується перед відвалом автогрейдера, показано на рис. 1. Слід зазначити, що в даному розгляді не беруть участь сили опору різанню, опору ковзанню ґрунту по відвалу й опір переміщенню ґрунту, тому що їхню дію будемо вважати скомпенсованим силою тяги, яка створюється на робочому органі.

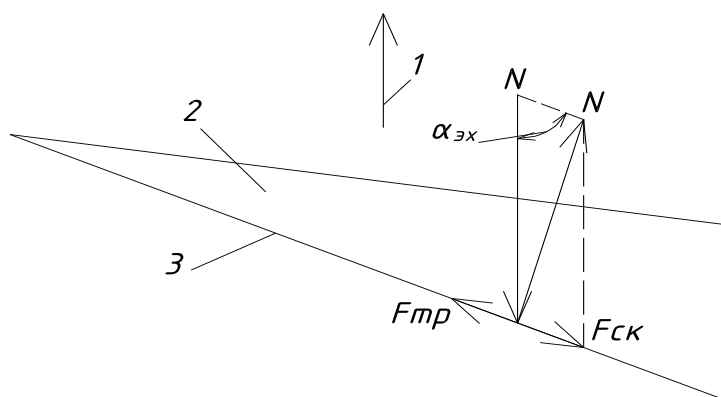


Рис. 1. Схема розкладання сил, що діють на переміщуваний перед відвалом автогрейдера ґрунт: 1 – напрямок руху автогрейдера; 2 – ґрунт; 3 – косопоствалений відвал

Сила тертя визначається за класичною формулою:

$$F_{тр} = \mu \times N_1, \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт тертя;

N_1 – сила нормальної реакції опору (у цьому випадку відвала), N .

Сила скокування може бути знайдена (відповідно до рис. 1) з добутку

$$F_{ск} = N \times \cos \alpha_{ex}, \quad (2)$$

де N – сила, що діє на переміщуваний ґрунт у результаті руху машини, N ;

α_{ex} – кут захвату відвала, град.

Скидання ґрунту ковзанням усього вирізаного об'єму по відвалу буде здійснюватися за умови $F_{ск} > F_{тр}$. Таким чином, має виконуватися нерівність

$$N \times \cos \alpha_{ex} > \mu \times N_1. \quad (3)$$

З рис. 1 очевидно, що $N_1 = N \times \sin \alpha_{ex}$.

Тоді в результаті математичних перетворень одержимо формулу для умови скидання ґрунту:

$$\alpha_{ex} < \text{arccotg } \mu. \quad (4)$$

Для коефіцієнта тертя в розрахунках використовуються такі діапазони [3]:

- для тертя переміщуваного перед відвалом ґрунту по ґрунту $\mu = 0,5-0,7$;
- для тертя ґрунту по металу $\mu = 0,35-0,6$.

У нашому випадку більш цікавим представляється використання коефіцієнта тертя ґрунту по металу, що дозволяє за допомогою порівнювання лівої й правої частин виразу (4) одержати чисельні значення кута захвату $\alpha_{Ех}$, які відповідають умові початку скидання ґрунту з косо поставленого відвала автогрейдера. На рис. 2 наведено залежність максимально припустимого кута захвату, при якому починається ковзання переміщуваного ґрунту по відвалу, від коефіцієнта тертя ґрунту по металу.

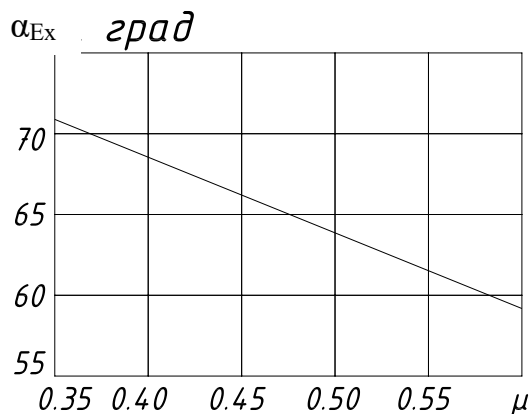


Рис. 2. Залежність максимально припустимого кута захвату, при якому починається ковзання переміщуваного ґрунту по відвалу, від коефіцієнта тертя ґрунту по металу

Як впливає з рис. 2, для ґрунтів (наприклад, умовно сипких з малою в'язкістю й вологістю) з низьким

коефіцієнтом тертя по металу скидання ковзанням по відвалу буде відбуватися при $\alpha_{Ех} < 70,71^\circ$, а з високим коефіцієнтом тертя по металу (наприклад, умовно в'язкий ґрунт) – при $\alpha_{Ех} < 59,04^\circ$.

Слід особливо зазначити, що скидання ґрунту в бічний валик можливий і при більших значеннях кута захвату, але в таких випадках він відбувається не в результаті ковзання всієї маси ґрунту по відвалу, а в результаті надлишкового набору піраміди [2, 4] ґрунту переміщення окремих частинок вирізаного об'єму без постійного зіткнення з відвалом і подолання сили тертя, обумовленої через коефіцієнт тертя ґрунту по ґрунту. Підтвердженням цьому може служити приклад розробки ґрунту відвалом при $\alpha_{Ех} > 90^\circ$ (коли піраміда перетворюється в призму [4] і переходимо до традиційної моделі), тому що навіть у варіанті $\alpha_{Ех} = 90^\circ$ з кінців відвала відбувається скидання надлишкового ґрунту, не пов'язане з ковзанням усього обсягу по відвалу в горизонтальному напрямку перпендикулярно до поздовжньої осі машини.

Висновки з дослідження й перспективи, подальший розвиток в даному напрямі. Отримано нерівність, що описує умову скидання ґрунту з косо поставленого відвала автогрейдера.

Визначено чисельні величини максимально припустимого кута захвату, при якому починається ковзання всього об'єму переміщуваного ґрунту по відвалу в горизонтальній площині перпендикулярно до поздовжньої осі машини, для розробки ґрунтів з різними значеннями коефіцієнта тертя ґрунту по металу.

Список використаних джерел

1. Кононов, А. А. Уточнение математической модели автогрейдера при разработке ґрунта основным отвалом [Текст] / А. А. Кононов // Изв. вузов. Строительство. – 2006. – № 7. – С. 92-97.

2. Кононов, А. А. К вопросу моделирования работы автогрейдера при разработке грунта основным отвалом [Текст] / А. А. Кононов // Изв. вузов. Строительство. – 2006. – № 5. – С. 45-51.
3. Волков, Д. П. Машины для земляных работ [Текст]: учеб. для вузов / Д. П. Волков, В. Я. Крикун, П. Е. Тотолин [и др.]; под общ. ред. Д. П. Волкова. – М.: Машиностроение, 1992. – 448 с.
4. Тепляков, И. М. О разработке грунта основным отвалом автогрейдера [Текст] / И. М. Тепляков, А. В. Василенко, В. И. Енин [и др.] // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления: межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж: ВГЛТА, 2005. – С. 119-122.
5. ДБН В.2.8-12-2000. Будівельна техніка. Типові норми витрат пального і змашувальних матеріалів для експлуатації техніки в будівництві [Текст]: Затв. Держбуд України, наказ №9 від 12.01.2000 р. – К., 2000. – 62 с.
6. ДСТУ 3313-96. Автогрейдери. Термины и определения [Текст]. – К., 1996. – 38 с.
7. Ульянов, Н. А. Колесные движители строительных и дорожных машин [Текст] / Н. А. Ульянов. – М.: Машиностроение, 1982. – 279 с.
8. Kosolapov A.I., Kaderov M.Y., Kosolapova, S.A. Hybrid mining technology for marble deposit under severe climate conditions // Gornyi Zhurnal, Volume 2016, Issue 3, P. 33-37. – Режим доступа: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84964374809&origin=inward&txGid=A6CB598CC4D1CCAB34141FEB3BAED4ED.wsnAw8kcdt7IPYLO0V48gA%3a2#>.

Саяпін Олександр Сергійович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-04. E-mail: sayapin09@ukr.net.

Камчатна Світлана Миколаївна, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-67. E-mail: kamchatnayasn@gmail.com.

Літвіненко Михайло Олександрович, магістр групи 30-VII-ЗСм Українського державного університету залізничного транспорту.

Хлисту́н Анато́лій Анато́лійович, магістр групи 30-VII-ЗСм Українського державного університету залізничного транспорту.

Saiapin Oleksandr, Ph.D., Associate Professor of «Track and Track Facilities» department, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: sayapin09@ukr.net.

Kamchatna Svitlana, Ph.D., Associate Professor of «Track and Track Facilities» department, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: kamchatnayasn@gmail.com.

Litvinenko Mukhailo, master Ukrainian State University of Railway Transport.

Khlistun Anatoly., master Ukrainian State University of Railway Transport.

Стаття прийнята 01.11.2016 р.

УДК 624.01

ПАРАДИГМА БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Д-р техн. наук В. В. Савйовский, канд. техн. наук А. В. Савйовский

ПАРАДИГМА БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Д-р техн. наук В. В. Савйовський, канд. техн. наук А. В. Савйовський

PARADIGM SECURITY BUILDINGS AND FACILITIES

Doct. of techn. sciences V.V. Savyovsky, cand. of techn. Sciences A.V. Savyovsky

В статье рассматриваются вопросы обеспечения безопасности и надежности эксплуатации зданий и сооружений. Существующая система проектирования и строительства в неполном объеме обеспечивает надежную работу зданий в целом при воздействии различных негативных влияний. К их числу относятся атмосферные воздействия, техногенная деятельность человека, аварии и прочее. В связи с этим осуществляется анализ вероятной необходимости создания новой парадигмы безопасности и надежности эксплуатации зданий. Предложены результаты исследований и отдельные технические решения, направленные на повышение надежности строительных конструкций зданий.

Ключевые слова: эксплуатация зданий, безопасность, надежность, металлобетонные конструкции.

У статті розглядаються питання забезпечення безпеки та надійності експлуатації будівель і споруд. Існуюча система проектування та будівництва в неповному обсязі забезпечує надійну роботу будівель у цілому при впливі різноманітних негативних явищ. До них належать атмосферні впливи, техногенна діяльність людини, аварії тощо. У зв'язку з цим здійснюється аналіз вірогідної необхідності створення нової парадигми безпеки та надійності експлуатації будівель. Запропоновано результати досліджень та окремі технічні рішення, спрямовані на підвищення надійності будівельних конструкцій будівель.

Ключові слова: експлуатація будівель, безпека, надійність, металобетонні конструкції.

The article deals with the safety and reliability of buildings and structures. The existing system design and construction is not enough to fully ensure reliable operation of the buildings as a whole, under the influence of various negative influences. These include atmospheric effects anthropogenic human activity, accidents and so on. In this context, it carried out analysis of the likely need for a new paradigm of security and reliability of the operation of buildings. Proposed research and individual technical solutions aimed at improving the reliability of building constructions.

Keywords: building maintenance, security, reliability, metal-concrete constructions.

Введение. Современный уровень развития строительной отрасли привносит в практику новые строительные материалы, конструкции, машины и технологии. Это

позволяет возводить как заглубленные, так и высотные здания и сооружения. Однако современные здания не обеспечивают людям безопасность и надежность

пребывания в них. Техногенные, сейсмические и иные воздействия на здания приводят к их повреждениям и разрушениям. Это становится травмирующим фактором для людей. К примеру, в промышленности повышаются требования к безопасности и надежности различных производств, активизируются вопросы защиты экологии. Для этого на предприятиях устанавливаются различные системы безопасности, совершенствуются средства контроля или защиты, ограничивающие или исключающие вредные воздействия, выбросы и пр. Для обеспечения сохранности живой природы создаются заповедники, предпринимаются международные ограничения на использования ресурсов живой природы. Что же касается обеспечения безопасности человека в его среде обитания, делается немного. Главное в том, что сегодня человек не может чувствовать себя в безопасности в жилом, общественном или промышленном здании в случае каких-либо катаклизмов. Распространенное ранее понятие «мой дом – моя крепость» сегодня практически не обеспечивает человеку безопасность и комфорт. Древний человек и живые существа в природе в случае опасности стремятся и находят убежище и безопасность в своем жилище. Современный же человек этого себе позволить, к сожалению, не может [1, 2]. Надежность зданий и сооружений обеспечивается путем учета прочности, устойчивости и надежности при расчете конструкций в процессе разработки проектной документации. Безусловно, современные технологии проектирования зданий позволяют моделировать процессы вероятной эксплуатации зданий с учетом чрезвычайных воздействий. Тем не менее это не обеспечивает надежной защиты человека в здании. Свидетельства тому – ряд печальных примеров разрушений зданий в результате природных катастроф, террористических атак и прочее. Исследование обозначенной проблемы и

разработка новых подходов при обеспечении безопасности эксплуатации зданий является важной задачей, социальным вызовом на современном уровне цивилизации. Человечество рассматривает сегодня варианты колонизации Марса, хотя вопросы благоустройства Земли еще далеки от совершенства. В этой связи формирование новой парадигмы безопасной и надежной эксплуатации зданий и сооружений является порогом, указывающим направление развития градостроительства.

Анализ последних достижений и публикаций. Исследования вопросов безопасной эксплуатации зданий базируются в основном на анализе уже случившихся повреждений и разрушений зданий и сооружений, аварий на объектах. К их числу можно отнести работы Физделя И.А., Шкинева А.Н. Отдельные вопросы обеспечения надежности зданий рассматривались в работах Гусакова А.А., перспективы продления жизненного цикла зданий отражены в работах Шутенко Л.А., Тяна Р.Б. и других ученых [3, 4, 5, 6, 7]. Вопросы комплексного обеспечения надежности и безопасности зданий отражены также зарубежными авторами. Однако они разделены на две группы. Первая группа – это создание и совершенствование «умного» дома, обеспечивающего повышенный комфорт и минимальное энергопотребление. Вторая группа представляет зачастую фантастические проекты жилья, изолированного от континентальной (устоявшейся) инфраструктуры [8, 9]. Вопросам практической реализации мероприятий по обеспечению безопасности эксплуатации зданий и сооружений с учетом современного уровня развития строительной отрасли и цивилизации в целом внимание уделено недостаточно.

Цель статьи. Анализ состояния вопроса, предложения новых подходов и разработка конкретных рекомендаций и решений, направленных на обеспечение

надежной и безопасной эксплуатации зданий, сооружений. Это может стать формированием новой парадигмы: защищенности человека в среде обитания.

Результаты исследований. На современном этапе развития человеческого общества назрело острое требование к современным зданиям и сооружениям, заключающееся в том, что в условиях влияния на них чрезвычайных, разрушительных воздействий они (здания) должны защищать людей, а не становиться для них травмирующим фактором и угрозой для здоровья и жизни. Эту озабоченность подтверждают события последних лет, широко освещаемые средствами массовой информации. К числу печальных событий относятся разрушения зданий от воздействия стихийных и климатических природных воздействий. Это – землетрясения, сели, оползни, лавины, подтопление территории, ураганы, смерчи, эрозия почвы и иные подобные процессы и явления, оказывающие негативные или разрушительные воздействия на здания и сооружения. Серьезную угрозу человечеству создает сам человек в результате техногенной деятельности, а также возможных террористических актов. Вследствие этого люди остаются незащищенными в своих домах, офисах, общественных местах.

В промышленной сфере здания и сооружения оснащаются инженерными системами и коммуникациями контроля и безопасности: различные контрольно-измерительные и аналитические устройства, предотвращающие негативное влияние на людей от поражения электрическим током, отравления газами, иными вредными средами или воздействиями. Тем не менее подходы к строениям практически неизменны. Основные строительные конструкции и материалы, из которых возводятся несущие и ограждающие строительные конструкции зданий и сооружений, а также основные технологические принципы укладки этих

материалов и конструкций при строительстве, меняются достаточно медленно. На протяжении последних ста лет основными несущими строительными конструкциями остаются каменные природные и искусственные материалы, металлы и частично дерево. Касательно технологической схемы (последовательности) строительства сложилась вековая практика, при которой опирание и крепление основных строительных конструкций осуществляется «снизу – вверх». При этом вышележащие конструкции опираются на нижележащие и соответственно передают на них нагрузки. В данном случае многоэтажные, многоярусные конструкции передают нагрузки на нижележащие ярусы, как на свои фундаменты. Таким образом, получается, что каждый ярус, этаж является фундаментом последующего. Это значит, что в случае повреждения одного яруса, как правило, теряют свою устойчивость все вышележащие конструкции [1, 2]. В связи с выше изложенным возникает вопрос, а можно ли построить здание, в котором даже при повреждении участка одного из ярусов или звеньев остальные участки остались надежными и безопасными для дальнейшей эксплуатации и защиты людей, в них находящихся? Да, вероятность этого достаточно велика. В этом и заключается парадигма безопасности зданий и сооружений.

Одним из вариантов формирования новых принципов (парадигмы) безопасной и надежной эксплуатации зданий и сооружений может быть обеспечение дополнительных норм проектирования. Проектирование как новых зданий, так и реконструкции или капитального ремонта существующих. Суть этого подхода заключается в том, чтобы при разработке проектных решений обеспечить следующие принципы:

- конструктивная схема здания должна обеспечивать передачу нагрузок не только на нижележащие конструкции, но и

на расположенные рядом (сбоку) и выше. Это может быть обеспечено путем не только опирания на нижележащие конструкции, но и их дублирующей подвеской, аналогичной известным вантовым конструкциям. В этом случае при выходе из строя одного из составляющих несущих элементов общая устойчивость здания не изменится. Осуществление этого принципа является достаточно простым, глядя на пример детского конструктора «Лего»;

- применение для возведения зданий и сооружений, строительных конструкций, которые при разрушении и потере устойчивости существенно не меняли своей целостности. Примером нормативного обеспечения данного принципа может служить классификация строительных конструкций по огнестойкости, а именно одного из предельных состояний конструкции, как потеря целостности (E) [10]. Это могут быть комбинированные конструкции, сочетающие в себе комплекс различных свойств.

Примером данного подхода может служить применение нескольких вариантов комбинированных конструкций. Первый пример основан на совершенствовании применения одного из типов несущих строительных конструкций. В данном случае рассматривается использование одного из наиболее ответственных строительных конструкций – балок. Разработанная комбинированная металлобетонная балочная конструкция объединяет в себе свойства как металлических, так и железобетонных балок. Конструкция отличается от существующих аналогов тем, что в ней используются экономичные металлические элементы армирования с высокими показателями момента инерции, устроенные в защитном слое из легкого бетона. Балочные конструкции большинства современных зданий и сооружений в практике строительства, ремонта и реконструкции зданий

выполнены чаще всего из железобетона или металла. Широчайшее применение этих материалов предопределено их свойствами. Однако применение указанных конструкций часто ограничивается специфическими условиями выполнения строительно-монтажных и ремонтных работ, а также последующими условиями эксплуатации объекта или его отдельных конструкций. Особенно ярко выражаются данные особенности в условиях реконструкции зданий, носящие сегодня преобладающий характер в строительном комплексе страны, а также в цивилизованном мире. Применение сборных железобетонных конструкций требует использования грузоподъемных механизмов, обеспечение устройства монтажных проемов для установки конструкций. Кроме того, эти конструкции имеют существенную массу. Качественное стыкование конструкций практически невозможно.

Применение металлических конструкций позволяет укладывать конструкции поэлементно с их стыкованием. Металлические конструкции легки и эффективно работают на знакопеременные нагрузки. Такие конструкции технологичны, к ним можно стыковать различные конструкции, оборудование и прочее. Однако данные конструкции неустойчивы к воздействию высоких температур, то есть небезопасны в плане пожаростойкости, что требует принятия дополнительных мер по их защите.

Авторами данной статьи была предложена и запатентована комбинированная балочная металлобетонная конструкция [11]. Предложенная строительная конструкция достаточно проста в изготовлении. Принципиальным в данной конструкции является то, что в качестве арматуры используются металлические пластинчатые элементы составного сечения в виде «бимсового железа» [12], которые затворяются легким бетоном с ускорителями твердения. При изготовлении

балочных металлобетонных конструкций арматура в виде вертикально установленных пластин устанавливается в опалубку и укладывается бетонная смесь. После затвердения бетона, которое осуществляется в течение 12 часов в условиях положительной температуры $+18^{\circ}\text{C}$, конструкция готова.

Вертикальные пластины арматуры обеспечивают существенный момент инерции относительно оси абсцисс (x). Относительно оси ординат (y) жесткость конструкции (достаточно высокий момент инерции) обеспечивается за счет совместной работы звена пластин и жесткой структуры бетона. Возможен вариант устройства армирующих элементов

и во взаимно перпендикулярных плоскостях. Для обеспечения совместной работы металла и бетона в пластинах выполнены отверстия. На рисунке показана конструктивная схема одного из вариантов устройства металлобетонной балочной конструкции. Таким образом, в данной конструкции совмещены свойства металлических и железобетонных балок. Металл принимает на себя нагрузки от изгибаемых воздействий, а бетон работает на сжатие, одновременно являясь защитным покрытием металла от действия коррозии и высоких температур при пожаре. Данная конструкция имеет высокие теплоизоляционные свойства, конструкция легкая и экономная [1].

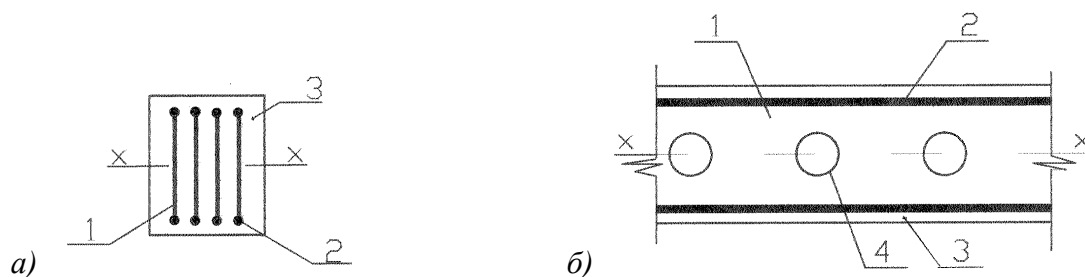


Рис. Конструктивная схема комбинированной металлобетонной балочной конструкции:
а – поперечное сечение конструкции; б – фрагмент продольного сечения конструкции;
1 – плоская металлическая пластина 2 – дополнительный металлический профиль (по типу «бимсового железа»); 3 – легкий бетон; 4 – отверстие в пластине

Для подтверждения указанных выводов были проведены расчетно-аналитические исследования технологической и экономической эффективности использования металлобетонной балочной конструкции. Они базировались на основе сравнительного анализа известных металлических, железобетонных и металлобалочных конструкций. В качестве примера взяты аналоги из практики реконструкции и принята балка перекрытия пролетом 6000,0 мм, воспринимающая полную равномерно распределенную нагрузку $800,0 \text{ кгс/м}^2$. В результате расчетов были определены значения максимального изгибающего момента. На

основании полученных значений усилий в конструкциях были определены сечения, профили и армирование рассматриваемой номенклатуры конструкций, то есть выполнено их конструирование. По данным подобранных конструкций балок, выполненных из металла (стали), железобетона и металлобетона, проведен анализ особенностей их изготовления и применения. Результаты полученных данных представлены в таблице.

Как свидетельствуют данные таблицы, наиболее выгодное сочетание показателей оценки эффективности относится к комбинированной металлобетонной балочной конструкции.

Сравнительный анализ применения различных балочных конструкций

	Показатель оценки применения	Вариант балочной конструкции		
		Стальная конструкция	Железобетонная конструкция	Металлобетонная конструкция
1.	Габаритные размеры	Двутавровая балка из прокатного профиля № 22	Балка сечением 250x350(h)x6400 мм	Балка сечением 200x300(h)x6400 мм
2.	Масса конструкции	144,0	1300,0	120,0
3.	Способ изготовления	Заводской	Заводской или на строительной площадке	Заводской или на строительной площадке
4.	Способ установки	Вручную, средства малой механизации	Монтаж	Вручную, средства малой механизации
5.	Мероприятия огнезащиты	Требуются	Не требуются	Не требуются
6.	Мероприятия антикоррозионной защиты	Требуются	Не требуются	Не требуются
7.	Время эксплуатации после изготовления	Без ограничений	Через 28 суток	Через 1 сутки

Одним из важнейших свойств технологичности балочных конструкций является варианты их опирания, а также временного и постоянного крепления. В условиях строительства и реконструкции существующих зданий и сооружений очень важным является крепление на болтовых соединениях, исключая использование сварки, аналогично монтажу части металлических конструкций [13]. Это предопределяет возможность обеспечивать сборность возводимых зданий по принципу «трансформера». Масса конструкций и условия крепления с использованием данных конструкций в случае повреждений не приводила к обрушениям из-за подбоя. То есть в процессе вероятного обрушения конструкции сохраняли свою целостность.

Другим примером обеспечения целостности конструкций при их разрушении, повреждении или деформации

является широкое использование в практике наружного (наклеиваемого) армирования. Так, в Киевском научно-исследовательском институте строительного производства (НИИСП) проводятся исследования по испытанию сборных железобетонных конструкций, которые дополнительно армированы стеклохолстом [14]. Опыты показывают, что после хрупкого разрушения железобетонных балочных конструкций по достижении предельных значений нагрузок конструкция, разрушаясь, сохраняет свою целостность. Это значит, что конструкция, частично потеряв свою проектную форму, остается в положении, близком к проектному, и не обрушивается, тем самым не разрушает нижележащие конструкции. Результаты такого рода исследований являются весьма перспективными в обеспечении надежности конструкций.

Предварительная оценка экономической составляющей этого вопроса указывает на незначительные материальные затраты [14]. Однако эффект безопасности людей в целом может быть неопределимо высоким.

На основании предложенного варианта комбинированных металлобетонных балочных конструкций, конструкций с дополнительным наклеенным армированием можно предложить целый ряд иных конструкций, в основе которых заложен указанный выше принцип. В перспективе это может дать возможность строить безопасные здания, которые под действием разрушительной силы стихии или иных воздействий могли бы разрушаться частично без полного обрушения отдельных участков или здания вообще. Возможно, предложенные конструкции станут частью нового подхода к строительству зданий, убежищ, отличающихся не только комфортом, но и безопасностью и надежностью на случай катаклизмов.

Еще одним из аспектов данной проблемы является биологическая составляющая комфорта (отсутствие фобий) человека в среде обитания. Эта сторона относится к социальной сфере жизнедеятельности человека, но тем не менее тоже важна. Многолетние наблюдения показывают, что люди комфортно и безопасно чувствуют себя (в жилище) в уровне 2-го – 3-го этажей. На первом этаже не совсем комфортно из-за шума, боязни затоплений, загазованности и прочее. Что касается высоких (верхних) этажей, человек чувствует страх перед атмосферными осадками, молниями и прочее. Этот вывод способствует выработке определенного типа жилого здания, а именно 4-этажный дом с 1-м нежилым этажом и чердаком. Неужели

цивилизованные страны не могут себе позволить строительство такого жилья?

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Освещение указанного подхода к формированию парадигмы безопасной и надежной эксплуатации зданий и сооружений направлено на разработку несколько новых подходов в строительстве. Приведение отдельных практических примеров реализации указанных принципов позволяет сформулировать отдельные направления и задачи строительного комплекса в области обеспечения безопасности зданий. К числу этих задач относятся:

- применение легких индустриальных комбинированных (в плане свойств прочности и безопасности) строительных материалов и конструкций. Материал указанных конструкций должен исключать их возможное хрупкое разрушение и целостность;

- опирание и крепление несущих и ограждающих строительных конструкций и материалов должны базироваться на основе устройства шарнирных (пластичных, подвижных) соединений, исключающих хрупкое разрушение соединительных связевых элементов;

- дублирование устройства элементов опирания строительных конструкций по принципу как снизу-вверх, так и в стороны, а также вверх;

- создание среды обитания, свободной от фобий.

Решение данной проблемы требует проведения широкого комплекса теоретических и лабораторных исследований. Для этого необходимо объединять усилия ученых и специалистов различных отраслей науки и практики.

Список использованных источников

1. Савйовский, В. В. Безопасность и надежность эксплуатации современных зданий [Текст] / В.В. Савйовский // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Днепропетровск: ПГАСА, 2011. – № 11-12 (164-165). – С. 50-54.

2. Савйовский, В. В. Техническая диагностика строительных конструкций зданий [Текст] / В.В. Савйовский. – Харьков: Издательство „ФОРТ”, 2008. – 552 с.
3. Физдель, И. А. Дефекты в конструкциях, сооружениях и методы их устранения [Текст] / И.А. Физдель. – М.: Стройиздат, 1987. – 336 с.
4. Шкинев, А. Н. Аварии на строительных объектах, их причины и способы предупреждения [Текст] / А.Н. Шкинев. – М.: Стройиздат, 1976. – 375 с.
5. Шутенко, Л. Н. Технологические основы формирования и оптимизации Жизненного цикла городского жилого фонда (теория, практика, перспективы) [Текст] / Л.Н. Шутенко. – Харьков: Майдан, 2002. – 1054 с.
6. Тянь, Р. Б. Подовження життєвого циклу цивільних будинків підсилення з надбудовою та термореабілітацією [Текст] / Р.Б. Тянь, В.Т. Шаленний, І.Ф. Огданський, Р.Б. Папірник // Будівельні конструкції. – К., 2001. – Вип. 54. – С. 697-884.
7. Гусаков, А. А. Организационно-технологическая надежность строительного производства [Текст] / А.А. Гусаков. – М.: Стройиздат, 1974. – 252 с.
8. König, Holger; Kohler, Niklaus; Kreißig, Johannes; Lützkendorf, Thomas: Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung. Grundlagen, Berechnung, Planungswerkzeuge. Inst. für Internat. Architektur-Dokumentation. Edition Detail Green Books. – München, 2009. – 150 p.
9. Lenz, Bernhard; Schreiber, Jürgen; Stark, Thomas (2010): Nachhaltige Gebäudetechnik. Grundlagen, Systeme, Konzepte. München : Inst. für Internat. Architektur-Dokumentation, Edition Detail Green Books und Kursbuch: Von der Energieeffizienz zur Nachhaltigkeit. Hrsg. v. Dorsch, Lutz; Jung, Ulrich. Bundesanzeiger, 2013. – 180 p.
10. ДБН В.1.1-7-2002. Пожарная безопасность объектов строительства [Текст]. – К.: Госстрой Украины, 2002. – 44 с.
11. Комбінована металево-бетонна балочна конструкція [Текст]: пат. №51121: МПК(2009); E04B 1/30; E04C 3/02; Заявник та патентовласник ХДГУБА. – №200900397; заявл. 20.01.2009; опубл. 12.07.2010, Бюл. № 13. – 2 с.
12. НҮТТЕ Справочник для инженеров, техников и студентов [Текст] / пер. с нем.; под общ. ред. В.К. Запорожца, С.И. Курбатова, Лебедева, Н.Л. Мануйлова; ОНТИ НКТП СССР. – 15-е изд., испр. и доп. – М.-Л.: Главная редакция литературы по машиностроению и металлообработке, 1935. Т. 2. – 659 с.
13. ДСТУ Б В.2.6-200:2014. Конструкції металеві будівельні. Вимоги до монтажу [Текст]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 42 с.
14. Проект производства работ по усилению фундамента турбоагрегата ПТ-60-130/13 ст. 15 филиала «Минская ТЭЦ-3» [Текст]. – К.: НИИСП, 2016. – 59 с.

Савйовський Володимир Вікторович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри Київського національного університету будівництва та архітектури. Тел: (044)2415550. E-mail:savyovsky@ukr.net.
Савйовський Артем Володимирович, канд. техн. наук, старший науковий співробітник Науково-дослідного інституту будівельного виробництва (м. Київ). Тел: (044)2424725. E-mail:savyovskyy@yahoo.com.

Savyovsky Vololymyr V., doct. of techn. sciences, professor, head of department Kiev National University of Civil Engineering and Architecture. Tel.: 044 2415550. E-mail:savyovsky@ukr.net.
Savyovsky Artem V., cand. of techn. sciences, leading engineer of Research Institute of construction industry. Tel.: 044 2424725. E-mail:savyovskyy@yahoo.com.

Стаття прийнята 01.11.2016 р.

УДК 059.69.7

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕВИТАЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Канд. техн. наук А. П. Броневицкий

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РЕВІТАЛІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Канд. техн. наук А. П. Броневицький

TECHNOLOGICAL FEATURES OF REVITALIZATION OF INDUSTRIAL BUILDINGS

Cand. of techn. Sciences A. P. Bronevitsky

В статье рассмотрены вопросы производства строительных работ при реконструкции промышленных зданий под гражданские объекты. Данный процесс в современной научно-технической литературе именуется как ревитализация промышленных зданий. Освещены отдельные результаты исследований касательно особенностей выполнения ремонтно-восстановительных работ. Выявлены основные группы так называемых «дестабилизирующих» факторов, которые негативно влияют на эффективность строительных работ. Установлены зависимости влияния факторов и условий ревитализации на технико-экономические показатели строительных процессов.

Ключевые слова: особенности реконструкции, ревитализация промышленных зданий, дестабилизирующие факторы.

У статті розглянуто питання виконання будівельних робіт при реконструкції промислових будівель під цивільні об'єкти. Даний процес у сучасній науково-технічній літературі називається ревіталізацією промислових будівель. Висвітлено окремі результати досліджень стосовно особливостей виконання ремонтно-відновлювальних робіт. Виявлено основні групи так званих «дестабілізуючих» факторів, що негативно впливають на ефективність будівельних робіт. Встановлено залежності впливу факторів та умов ревіталізації на техніко-економічні показники будівельних процесів.

Ключові слова: особливості реконструкції, ревіталізація промислових будівель, дестабілізуючі фактори.

The article discusses the production of construction work in the reconstruction of industrial buildings under civilian objects. This process in the modern scientific literature referred to as the revitalization of industrial buildings. When covering hospitality research results regarding the features perform the repair work. The basic group of so-called "destabilizing" factors, which adversely affect the efficiency of the construction work. The dependences of the influence of factors of revitalization and conditions on the technical and economic parameters of construction processes.

Keywords: Features of reconstruction, revitalization of industrial buildings, destabilizing factors.

Введение. Почти во всех странах бывшего советского пространства сложилась экономическая ситуация,

которая привела к массовому закрытию промышленных предприятий. Из-за многолетнего процесса урбанизации,

включающего массовую застройку, ряд промышленных объектов оказались в центральных частях городов. Реконструкция этих предприятий или их модернизация не удовлетворяет современную мировую тенденцию сохранения окружающей среды, оздоровления экологического ореола городов. Одним из направлений деятельности в этой сфере является перепрофилирование бывших предприятий под гражданское назначение. В научно-технической практике за указанным процессом укрепился термин – **ревитализация** промышленных предприятий. **Ревитализация** (от лат. «возрождение к жизни» *re* — обновляющее действие, *vita* — жизнь) – процесс возрождения, восстановления и оживления городского пространства. Этот процесс предусматривает сохранение самобытности и аутентичности исторических зданий и городской среды в целом с изменением их функционального назначения для гражданских нужд общества. Основная задача ревитализации – создание объектов городской инфраструктуры, которые способствуют развитию туризма, отдыха, спорта, торговли, улучшению экологии [1, 2]. Экономическим следствием указанного процесса является возможность привлечения инвестиций и создание рабочих мест. Техническое состояние основных вертикальных и горизонтальных несущих строительных конструкций указанного типа зданий обеспечивает их достаточную несущую способность для эксплуатации в условиях нового назначения. Это связано с тем, что проектные и фактические нагрузки на конструкции промышленных зданий в разы больше, чем это необходимо для эксплуатации гражданских объектов. Поэтому при ревитализации промышленных зданий под гражданские объекты, как правило, выполняются работы по частичному усилению строительных конструкций,

перепланировке, отделке и устройству защитных покрытий. Отсутствие существенных объемов капитальных работ позволяет сократить период от начала проведения реконструкции до пуска объекта в эксплуатацию с обновленным функциональным назначением.

Процесс выполнения строительных работ сопряжен с целым рядом специфических особенностей. Эти особенности отражают индивидуальные архитектурно-конструктивные решения зданий, подлежащих реконструкции, техническое состояние их строительных конструкций, характер прилегающей застройки [3, 4, 5, 6]. К числу наиболее общих особенностей следует также отнести наличие примыкающих инженерных сооружений, подземных и наземных инженерных коммуникаций. Указанные особенности приводят к ограничению использования производительной техники, ограничению рациональной организации строительной площадки, необходимости в выносе инженерных сетей и прочее, что в итоге приводит к увеличению затрат трудовых и материально-технических ресурсов реконструкции.

Анализ последних исследований и публикаций. В современной научно-технической литературе вопросам ревитализации промышленных объектов посвящено ряд публикаций. Однако данная проблема рассматривается в основном с позиций архитектурной и градостроительной точки зрения [1, 2, 6, 7]. Опыт производства строительных работ в условиях реконструкции промышленных зданий довольно широко освещен в научно-технической литературе. Это труды таких ученых, как Беляков Ю.И., Гончаренко Д.Ф., Шагин А.Л. и др. [3, 4]. Представленный в этих трудах опыт реконструкции отражает особенности производства работ по реконструкции промышленных предприятий, их модернизации и техническому

переоснащенню. Это в основном опыт стран бывшего постсоветского пространства. Освещенные вопросы касаются восстановления строительных конструкций, их усиления или замены и других работ. Однако ревитализация промышленных объектов предполагает реконструкцию зданий под гражданское назначение, то есть в процессе реконструкции меняется кардинально функциональное назначение объектов. Наряду с широкой гаммой технического состояния строительных конструкций (физическим износом) существующих зданий и соответственно широкой номенклатуры строительных работ существенно меняются требования к моральному износу и соответственно к изменению архитектурно-строительных, технологических, экологических и иных решений, соответствующих уровню развития цивилизации и требованиям современных норм. Это как раз и вносит свою специфику в производство строительных работ. В современной научно-технической литературе профессором Савйовским В.В. введен и обоснован термин ревитализации промышленных объектов с точки зрения технологии строительного производства [5]. Вопросы специфики выполнения указанных работ обозначены как задачи, требующие дальнейшего исследования.

Определение цели и задач исследования. Важность проблемы ревитализации промышленных объектов определяется экономической ситуацией в стране. В настоящее время только в Киеве более 30 % территории города занимают площадки промышленного назначения. Почти 40 % из них не работают. Они существуют за счет сдачи площадей в аренду под складские или административные помещения [6]. Их будущее – снос или ревитализация. В Украине частично наработан опыт ревитализации этих зданий. Это позволило украсить города, улучшить социальную инфраструктуру и

экологию. К примеру, в городе Киеве выполнена реконструкция зданий завода «Арсенал» под художественно-выставочный комплекс, завода «Большевик» под торгово-развлекательный центр и многих других. В городе Харькове также наработан опыт ревитализации ряда промышленных зданий [7]. В результате реконструкции части зданий электромеханического завода (ХЭМЗ) жители города получили несколько торговых центров, фитнес-центр, другие объекты. Работы по ревитализации промышленных зданий распространены во многих западных странах [9]. Эффективное проведение ревитализации таких объектов требует взвешенной инженерной подготовки, которая бы обеспечила рациональное выполнение ремонтно-строительных работ, а также возможность предварительно оценить их экономическую целесообразность. В связи с этим исследование параметров эффективности этих работ является важной научно-прикладной задачей.

Особенности производства строительных работ при ревитализации приводят к необходимости выполнения дополнительных видов работ и принятию, не всегда, рациональных организационно-технологических решений строительства. В основном это работы, сопряженные со сносом сооружений, переносом инженерных коммуникаций, обеспечением безопасности работ, и мероприятия по охране окружающей среды. В этой связи требуется определить и обозначить круг условий (характерных особенностей) ревитализации, иными словами группу факторов, которые влияют на эффективность работ. Установить степень их влияния на технико-экономические показатели, а также разработать механизм их учета в процессе инвестиционной оценки эффективности ревитализации и непосредственно в процессе инженерной подготовки производства строительных работ.

Основной раздел. В качестве успешного проекта ревитализации является реконструкция производственного здания завода «Арсенал» в городе Киеве под гражданское назначение [6]. Здание было построено еще в 1784 году. В 2006 году, после частичной остановки производственной деятельности в данном здании, началась его реконструкция. В результате проведения работ с заводского здание превратилась в гражданское, а именно в художественную галерею, где проводятся различные художественные акции. Сегодня так называемый "Мыстецький Арсенал" – масштабный культурологический проект национального и международного значения, целью которого является создание квартала культуры в историческом центре Киева (рис. 1). Общая площадь Национального культурно-художественного и музейного комплекса – 9,8 га. Экспозиционная площадь здания Старого Арсенала составляет 56 тыс. м². В процессе реконструкции выполнен комплекс ремонтно-восстановительных работ, частичное усиление фундаментов, усиление и частичная замена конструкций покрытия, замена кровли. Выполнено устройство полов и теплоизоляция

наружных ограждающих конструкций, замена заполнения оконных и дверных проемов, отделка. Инженерные сети и коммуникации были заменены новыми, современными.

Другой пример, реконструкция производственных зданий завода «Большевик» в городе Киев. Здания завода были построены в 1764 году. В 2007 году был выполнен комплекс работ по ревитализации предприятия. После проведения работ помещения заводских корпусов превратили в торгово-развлекательный комплекс (рис. 2). На четырех этажах здания расположены кинотеатр, каток, сотни магазинов, рестораны и художественная галерея. В процессе ревитализации выполнен комплекс ремонтно-восстановительных работ, включающий частичный ремонт стен; замену конструкций покрытия; устройство теплоизоляции наружных ограждающих конструкций; замену оконных и дверных блоков; замену конструкций полов; отделочные работы; специальные работы по устройству современных систем энергоснабжения, вентиляции, отопления; благоустройство прилегающей территории.



Рис. 1. Общий вид здания завода «Арсенал» г. Киеве до ревитализации (а) и после (б)



Рис. 2. Вид помещений здания бывшего завода «Большевик» до ревитализации (а) и после (б)

Одним из первых примеров ревитализации в городе Харькове, является здание так называемых «Провиантских складов» [7]. Оно является памятником архитектуры и было построено в 1787 году как военный «провиантский» склад. В 2006 году были выполнены работы по реконструкции здания под торговый комплекс (рис. 3). В процессе реконструкции были выполнены работы по разборке внутренних конструкций деревянных перекрытий и устройству железобетонных. Для сохранения аутентичности внешних стен внутри здания был устроен самостоятельный несущий каркас, а именно колонны, опирающиеся на специально устроенные фундаменты. То есть наружные стены выполняют только ограждающую функцию и полностью сохранили свою аутентичность. В комплекс строительных работ входила замена конструкций крыши и кровли, замена полов, оконных и дверных

заполнений, оборудование системами инженерных коммуникаций, отделочные работы и благоустройство прилегающей территории. Работы по реконструкции объекта выполнялись в сложных условиях стесненной застройки центральной части города. Эти условия ограничивали применение производительной техники и механизмов.

Интерес у специалистов вызывает широко распространенный опыт ревитализации промышленных зданий за рубежом. Одним из известных в Европе примеров реконструкции промышленного здания является ревитализация хлопчатобумажной фабрики, так называемой «мануфактуры» в городе Лодзь (Польша) [8]. Здание площадью 110,0 тыс. м² стала главным культурным памятником города и популярным туристическим центром Польши (рис. 4).

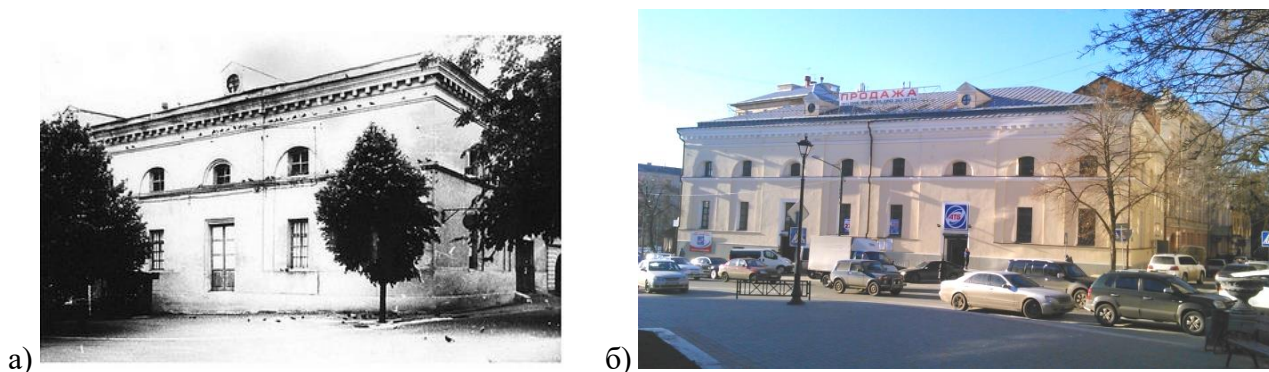


Рис. 3. Вид здания «Провиантского склада» в г. Харькове до (а) и после (б) ревитализации



Рис. 4. Вид здания мануфактуры в г. Лодзь (Польша) до ревитализации (а) и после (б)

После завершения работ по реконструкции в 2006 году там расположились торговые, художественные и развлекательные комплексы, всего 300 концептуальных помещений, в том числе кинотеатр с 15 залами, роллердром, скейт-парк, стена для скалолазания, гостиница, другие объекты. В процессе реконструкции был выполнен комплекс работ по восстановлению части разрушенных временем конструкций каменных стен и перекрытий. Полностью восстановлен первоначальный вид фасада здания, выполнены внутренние отделочные работы и оснащение здания современными инженерными коммуникациями.

Одним из уникальных и интересных для специалистов примером ревитализации сооружений являются газохранилища

(газгольдеры) в городе Вена (Австрия) [9, 10], а также целый ряд других объектов.

Анализ процессов реконструкции промышленных зданий под объекты гражданского назначения позволил выявить ряд особенностей. Указанные особенности отражают специфические условия расположения объектов ревитализации в городской застройке с присущими селитебными, санитарными или экологическими составляющими. Эти особенности ограничивают выполнение ремонтно-строительных работ индустриальными методами с применением высокопроизводительной техники.

Исследования различных условий и особенностей производства строительных работ на многих объектах ревитализации выявили целый ряд препятствий и соответственно ограничений (таблица).

Таблица

Препятствия и ограничения, вызываемые условиями производства строительных работ при реконструкции зданий

Причина препятствия	Ограничение в производстве работ
Высокая плотность застройки	Ограниченное использование производительной техники. Ограничения в зоне действия негабаритной техники
Интенсивное движение городского транспорта и пешеходов в непосредственной близости от места производства работ	Организация строительства небольшими захватками. Восстановление покрытий дорог и площадок после выполнения работ. Восстановление зеленых насаждений и элементов благоустройства
Сеть существующих наземных коммуникаций	Выполнение работ по разборке. Вынос или защита коммуникаций
Сеть существующих подземных коммуникаций (действующих)	Разборка сетей. Вынос сетей или их ограждение
Сеть существующих подземных коммуникаций (недействующих)	Разборка сетей с комплексом земляных работ и последующим восстановлением покрытий дорог, площадок
Наличие технологических и инженерных сооружений	Снос сооружений. Модернизация сохраняемых сооружений
Большое разнообразие архитектурно-конструктивных решений	Применение большой номенклатуры средств производства (инструмента, оснастки, машин и механизмов). Небольшие объемы работ. Ограничение фронта работ
Физический износ строительных конструкций	Работы по частичному разрушению и демонтажу конструкций. Работы по усилению строительных конструкций. Работы по замене строительных конструкций
Наличие примыкающих действующих объектов	Ограничение работ в ночные смены. Ограничение применения машин с двигателями внутреннего сгорания. Ограничение динамических воздействий, пыли и шума

На основании результатов исследований приведенных условий и особенностей производства строительных работ на ряде объектов были сформированы группы наиболее существенных факторов (x_i), которые негативно влияют на эффективность работ. Эти факторы принято называть «дестабилизирующими» [11, 12, 13]. К числу наиболее существенных факторов отнесены такие:

x_1 – стесненность объектов;

x_2 – наличие наземных инженерных коммуникаций;

x_3 – наличие подземных инженерных коммуникаций;

x_4 – наличие технологических и инженерных сооружений;

x_5 – архитектурно-планировочные решения зданий;

x_6 – техническое состояние строительных конструкций;

x_7 – условия эксплуатации прилегающей застройки.

Представленный круг наиболее существенных факторов установлен с помощью метода экспертных оценок (метод Дельфа) из несколько большего числа. Для количественной оценки влияния указанных факторов были предложены формулы, которые отражали степень влияния каждого из них. Построение формул основывается на сравнении фактических условий объекта реконструкции с показателем, оказывающим влияние на увеличение затрат. Величины значений дестабилизирующих факторов установлены в границах от 0,01 до 0,89. Физический смысл этого влияния заключается в выявлении уровня повышения трудоемкости, продолжительности и стоимости строительных работ при воздействии (наличии) конкретного фактора. Влияние дестабилизирующих факторов на технико-экономические показатели реконструкции можно представить в виде зависимости

$$Y = f(x_1; x_2; \dots; x_i; \dots; x_n),$$

где Y – исследуемый технико-экономический показатель (трудоемкость, стоимость);

f – функция, включающая нормативное значения (без учета влияния дестабилизирующих факторов);

$x_1; x_2; \dots; x_i; \dots; x_n$ – численные значения дестабилизирующих факторов, которые учитываются.

Графически принципиально установленную зависимость можно представить в виде графика (рис. 5). Значения параметров эффективности строительных работ, а именно трудоемкости и стоимости, представлено в виде коэффициента k_i . Данный коэффициент отражает степень роста значений (%) от увеличения степени влияния дестабилизирующих факторов. Смысл представленного графика – демонстрация пропорционального роста параметров эффективности строительных

работ (затрат) от значений дестабилизирующих факторов.

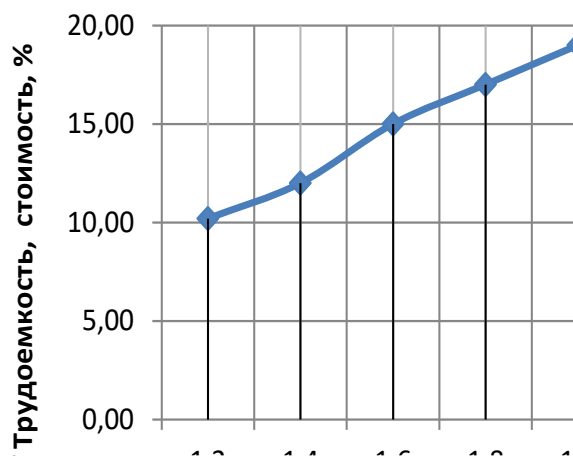


Рис. 5. Обобщенный график зависимости трудоемкости и стоимости строительных работ при ревитализации промышленных объектов (k_i) от влияния дестабилизирующих факторов (x_i)

Численные значения коэффициентов, представленных по оси абсцисс, указывают на тенденцию роста трудоемкости и стоимости строительных работ с учетом влияния (роста значений) дестабилизирующих факторов. Показатели трудоемкости и стоимости пропорциональны: чем выше трудоемкость работ, тем выше и их стоимость. Проверенные на ряде практических объектов ревитализации параметры эффективности строительных работ изменяются по зависимости, близкой к представленной на рис. 5. Методика использования полученной зависимости заключается в учете значений дестабилизирующих факторов путем умножения нормативно установленных значений технико-экономических показателей (трудоемкости, стоимости) на коэффициент k_i .

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. В процессе проведения исследований сформированы группы наиболее существенных факторов (x_i), которые негативно влияют на

эффективность строительных работ в условиях ревитализации промышленных объектов. Установлена зависимость влияния дестабилизирующих факторов на параметры эффективности производства строительных работ. Полученные результаты позволяют прогнозировать технико-экономические показатели ревитализации на стадии разработки проектной документации. Это инструмент, обеспечивающий учет фактических данных о

состоянии объекта, разработку объективной проектно-технологической документации, а именно проектов организации строительства и проектов производства работ. Представленная методика является весомым подспорьем при разработке инвестиционных проектов ревитализации, а также для согласования финансовых взаимоотношений между участниками строительного процесса (подрядчиками, субподрядчиками и инвесторами).

Список использованных источников

1. Ревитализация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://uk.wikipedia.org>. – Назв. с экрана.
2. Ревитализация промышленных объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.bstu.by/uploads/vestnik/1/2012>. – Назв. с экрана.
3. Беляков, Ю. И. Строительные работы при реконструкции предприятий [Текст] / Ю.И. Беляков, А.В. Резуник, Н.М. Федосенко. – М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.
4. Шагин, А. Л. Реконструкция зданий и сооружений [Текст]: учеб. пособие / А.Л. Шагин [и др.]. – М.: Высшая школа, 1991. – 352 с.
5. Савйовский, В. В. Возведение и реконструкция сооружений [Текст] / В.В. Савйовский. – К.: Лира-К, 2015. – 267 с.
6. Реновація промислових будівель в Києві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://antiraidер.ua>. – Назв. з екрану.
7. Харків [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://www.kharkov.ua>. – Назв. з екрану.
8. Manufaktura [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: <http://www.manufaktura.com>. – Title from the screen.
9. Wiener- Gasometer [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: <http://www.wiener-gasometer.at> - Title from the screen.
10. Gasometer [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: <http://www.gasometer-city.eu/umbau.htm> - Title from the screen.
11. Савйовский, В. Влияние технического состояния строительных конструкций на технико-экономические показатели реконструкции [Текст] / В. Савйовский, А. Броневицкий, А. Савйовский // Вестник Инженерной Академии Украины. – К., 2008. – Вып. 1. – С. 21-22.
12. Савйовский, В. Усиление фундаментов при реконструкции здания [Текст] / В. Савйовский, А. Савйовский // MOTROL. — Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. — Lublin, 2013. — Vol. 15, № 6. – P. 59-66.
13. Броневицкий, А. П. Прогнозування параметрів ефективності будівельних процесів ревіталізації промислових будівель [Текст] / А.П. Броневицкий, Н.В. Гречко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2015. – Вип. 4 (82). – С. 76-81.

Броневицкий Андрей Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедры будівництва Інститута інноваційної освіти Київського національного університету будівництва та архітектури. Тел: 095 0614440. E-mail: savyovsky@ukr.net.

Bronevitsky Andrei P., cand. of techn. sciences, Associate Professor of the Department of Construction of the Institute for Innovative Education of Kyiv National University of Construction and Architecture. Tel.:095 0614440. E-mail: savyovsky@ukr.net.

Стаття прийнята 01.11.2016 р.

УДК 624.046:620.176.24

ОЦІНЮВАННЯ МІЦНОСТІ ПРИ ЗРІЗІ БЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ПЛАСТИЧНОСТІ БЕТОНУ

Кандидати техн. наук О. О. Довженко, В. В. Погрібний, асп. О. О. Мальована

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ПРИ СРЕЗЕ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ БЕТОНА

Кандидаты техн. наук О. А. Довженко, В. В. Погребной, асп. Е. А. Малеваная

SHEAR STRENGTH ESTIMATION OF CONCRETE ELEMENTS BASED ON CONCRETE PLASTICITY THEORY

Phd. tehn, Associate O. Dovzhenko, V. Pogribnyi, pg. O. O. Mal'ovana

У статті викладено методу розрахунку бетонних елементів при зрізі на основі варіаційного методу в теорії пластичності бетону. Оцінено міцність зрізаних клинів, які моделюють роботу стиснутої зони бетону над небезпечною похилою тріщиною, зразків Мерша і Гвоздева як найбільш відомих із запропонованих для визначення міцності бетону при «чистому зрізі».

Ключові слова: *зрізувальні сили, варіаційний метод, зрізаний клин, зразок Гвоздева, зразок Мерша.*

В статті изложена методика расчета бетонных элементов при срезе на основе вариационного метода в теории пластичности бетона. Оценена прочность усеченных клиньев, моделирующих работу сжатой зоны бетона над опасной наклонной трещиной, образцов Мерша и Гвоздева как наиболее известных из предложенных для определения прочности бетона при «чистом срезе».

Ключевые слова: *силы среза, вариационный метод, усеченный клин, образец Гвоздева, образец Мерша.*

The strength design method of concrete elements is expounded in this article. All these elements are under the action of shear forces. The strength design method is based on variation method in the concrete plasticity theory that was developed in Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University. The method is widely tested by strength design of reinforced concrete constructions under shear action using heavy and lightweight concrete.

Following elements were considered as the experimental models: truncated concrete wedges that simulate work of concrete compressed zone above dangerous inclined crack, Gvozdev and Mersh specimens. The experimental program included the study of the strain condition and failure load determination for considered types of elements.

Formulas for failure load determination are given in the article.

The results of the experimental research have confirmed the applicability of plasticity zones assumed in the theoretical solutions. The theoretical strength is well coordinated with the experimental one.

Keywords. *Shear action, variation method, truncated wedge, Gvozdev specimen, Mersh specimen.*

Вступ. Бетонні та залізобетонні конструкції, що перебувають під дією зрізувальних сил, є важливими та поширеними конструктивними елементами об'єктів транспортного будівництва. До них належать плитові та балкові конструкції, короткі елементи, монолітні масивні конструкції. Вони суттєво вирізняються конструктивним рішенням, розмірами, формою та характером напружено-деформованого стану (НДС) у площині зрізу.

Діюча нормативна методика розрахунку міцності не дає можливості розраховувати всі випадки зрізу, що зустрічаються у будівельній практиці. Існуючі авторські підходи базуються, як правило, на емпіричній основі, є частковими, не враховують повну сукупність визначальних факторів міцності.

Ситуація, що склалася, пояснюється тим, що дослідники намагалися вирішити проблему розрахунку шляхом встановлення характеристики міцності бетону на зріз $f_{c,sh}$, для дослідження якої проводився пошук зразка, у якому б поєднався напружений стан «чистий зріз» з формою руйнування шляхом зрізу. Запропоновано більш ніж 10 типів зразків і 20 формул для визначення $f_{c,sh}$. Найбільш популярними можна вважати зразки Е. Мерша та О.О. Гвоздева. Запропоновані залежності виявляються справедливими лише у вузьких областях, визначених умовами проведення експериментів.

Отже, створення достатньо загальної методики розрахунку міцності при зрізі з урахуванням специфіки НДС зони руйнування є важливим науковим і практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для вирішення поставленого завдання застосовуються різні підходи. Відома гіпотеза тертя при зрізі, пов'язана з «Копенгагенською групою зрізу» [2] і реалізована в роботі [1]. Подальшого розвитку набула теорія, що базується на критерії руйнування Мора-Кулона [3]. У роботі [4] несуча здатність елемента при зрізі оцінюється на основі теорії

пластичності бетону як модифікованого жорстко-пластичного матеріалу з нульовою міцністю при розтягу. При розв'язанні задач простого деформування енергія, що витрачається на одиниці площі поверхні руйнування, встановлюється за роботою [5].

Визначення мети та задачі дослідження. Метою досліджень є розроблення достатньо загальної методики розрахунку міцності бетонних елементів при зрізі, що базується на теорії пластичності. На її основі розв'язуються задачі міцності зрізаних клинів, які моделюють роботу стиснутої зони бетону над небезпечною похилою тріщиною, зразків Мерша і Гвоздева, які об'єднує зрізова форма руйнування та відрізняє напружено-деформований стан найбільш напружених зон.

Основна частина дослідження. У ПолтНТУ розроблено варіаційний метод у теорії пластичності бетону для розрахунку міцності бетонних і залізобетонних елементів [6, 7], який можна віднести до інженерних методів розрахунку, що призводять до дійсно простих і точних залежностей, не потребують залучення складних комп'ютерних програм і знайшли широке розповсюдження в практиці проектування. Метод базується на таких передумовах:

- 1) приймається умова міцності Баландіна – Генієва [8];
 - 2) швидкості незворотних деформацій бетону ξ_{ij} з напруженнями σ_{ij} зв'язані асоційованим законом течії; швидкість об'ємної деформації ξ не дорівнює нулю внаслідок дилатації бетону;
 - 3) використовується схема жорстко-пластичного тіла та розв'язання задач у розривних функціях швидкостей;
 - 4) бетон у граничному стані розглядається як ідеально пластичний матеріал. У результаті знаходиться питома потужність пластичного деформування бетону W_c як функція швидкості деформації;
 - 5) НДС арматури приймається залежно від стану бетону, що оточує арматуру.
- Функціонал методу в розривних функціях швидкостей для плоского напруженого стану має вигляд

$$I = \int_{S_l} m \left[2B \left(1 + 0,25 \left(\Delta V_t / \Delta V_n \right)^2 \right)^{0,5} - 1 \right] \Delta V_n dS_l - \int f_i V_i dS_l, \quad (1)$$

де $m = f_{cd} - f_{ctd}$;

$$B^2 = \left(1 + \chi / (1 - \chi)^2 \right) / 3; \quad \chi = f_{ctd} / f_{cd};$$

ΔV_t і ΔV_n – розриви дотичної та нормальної складових швидкості до S_l ;

S_l – поверхня руйнування;

f_i – зовнішні сили, що діють на тіло;

V_i – швидкості частин тіла в напрямку дії відповідних сил.

Розрахунок міцності виконується в такій послідовності:

1) для випадку, що розглядається, приймається кінематично можлива схема руйнування елемента, тобто окреслюється поверхня руйнування (розриву швидкостей), яка розділяє елемент на абсолютно жорсткі частини, що в граничному стані виконують взаємний рух з певними швидкостями. При цьому вводяться геометричні параметри g_i , що характеризують поверхню руйнування, і швидкості руху частин елемента V_j . Прийнята кінематично можлива схема відображує НДС у стадії руйнування;

2) на поверхні руйнування S_l знаходяться розриви швидкостей ΔV_n та ΔV_t до S_l , виражені через параметри g_i і V_j ;

3) записується функціонал (1), який на дійсному НДС дорівнює нулю;

4) знаходиться вираз для визначення граничного навантаження P через параметри g_i та співвідношення швидкостей $k_j = V_j / V_i$:

$$P = f(g_i, k_j, \dots); \quad (2)$$

5) із умови $P = \min$ визначаються невідомі величини g_i і k_j та підраховується відповідне значення граничного навантаження.

Розглянуто зрізані бетонні клини, що моделюють стиснуту зону бетону згинальних елементів над небезпечною похилою тріщиною, і зразки Гвоздева і Мерша як

найбільш відомі з запропонованих для визначення міцності бетону при «чистому зрізі» за моментною та безмоментною схемою прикладання навантаження.

Кінематично можливі схеми руйнування зазначених бетонних елементів і формули для підрахунку їхньої міцності наведено в таблиці.

Згідно з програмою експериментів було виготовлено 35 зрізаних клинів із керамзитобетону різних класів за міцністю [9, 10]. У межах серій змінювався кут клина α (15° , 30° , 45°) і кут навантаження β при постійному α . Варіювався напрям дії сили P_w . Передача навантаження на зрізану грань клина під різними кутами β здійснювалася за допомогою спеціального пристрою [11] (рис. 1).

Під час випробування дослідні зразки руйнувалися біля прямого (випадок I, п. 1 таблиці), тупого (випадок II, п. 2 таблиці) чи обох (випадок III) кутів. У першому випадку міцність клинів не залежить від кута α і підвищується зі збільшенням значення β ; у разі реалізації другого випадку міцність клинів зменшується зі зростанням β і збільшується із зростанням α ; для третього випадку кут β не впливає на міцність. При $\beta \geq \alpha$ в зоні руйнування зразків (поблизу лінії АС) за допомогою тензодатчиків зафіксована локалізація пластичних деформацій. Навіть для бетону підвищеної міцності пластичні деформації мали визначальний вплив [12]. У разі $\beta \geq \alpha + 5^\circ$ зразки руйнувалися крихко. Отримані результати узгоджуються з відомими даними для важкого бетону [13].

Руйнування 16 зразків Гвоздева з важкого бетону різних класів [9, 10] відбувалося за поверхнею, що перетинала площину зрізу та майже збігалася з нею (п. 3 таблиці).

У межах експериментальних досліджень 18 балок-стінок із важкого бетону за схемою Мерша (п. 4, а таблиці) варіювався параметр l/h [9, 10]. Для 7 балок-стінок

змінювався прогін зрізу $a = 0 \div 100$ мм (п. 4,6 таблиці), параметр l/h був сталим і дорівнював 0,65 [9].

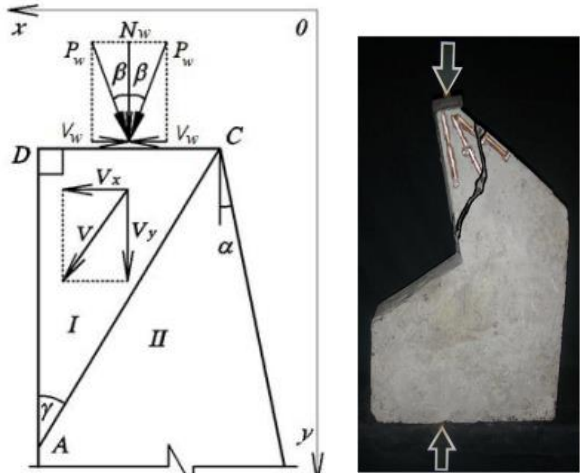
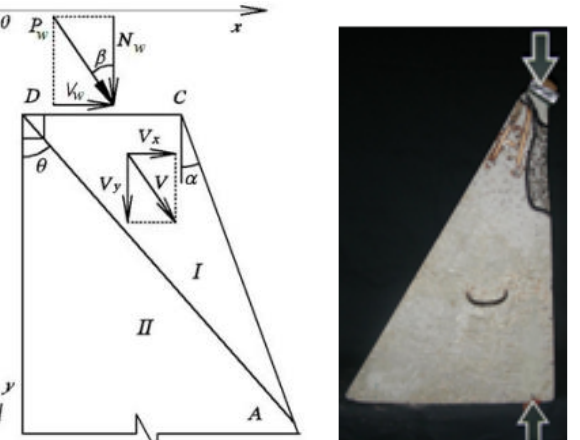
Зафіксовано два випадки руйнування – за вертикальним (схема Мерша) і похилим (зі змінним прогоном зрізу) перерізами шляхом взаємного зміщення центральної частини елемента відносно бокових (п. 4 таблиці). Установлено, що при збільшенні прогону зрізу a кут нахилу

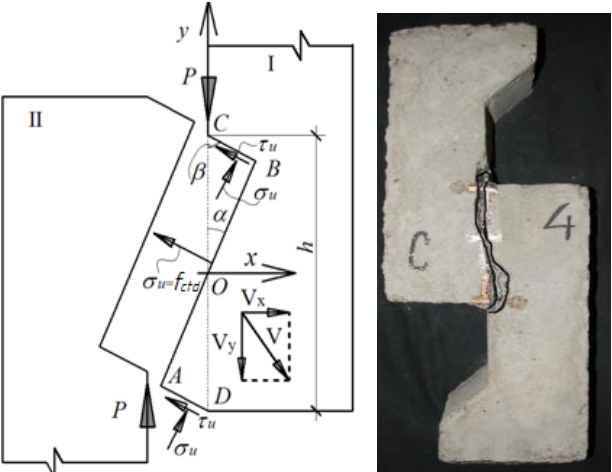
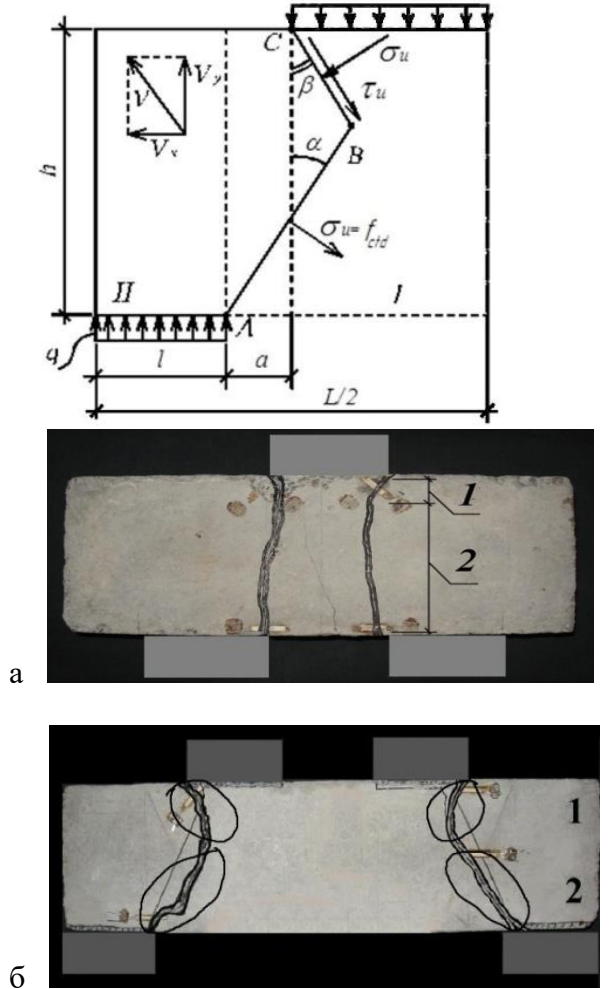
ділянки стиску до вертикалі і міцність зразків зменшувалися.

Для кожного з розглянутих випадків зрізу як форми руйнування визначалися середнє арифметичне відношення теоретичної $f_{c,sh}^{calc}$ до дослідної $f_{c,sh}^{calc}$ міцності, середньоквадратичне відхилення σ_{n-1} та коефіцієнт варіації v вказаного відношення.

Таблиця

Міцність бетонних елементів при зрізі

№ з/п	Кінематично можлива схема та характер руйнування дослідних зразків	Залежність для визначення граничного навантаження
1	2	3
Перший випадок руйнування зрізаного бетонного клина (поверхня руйнування виходить на грань, прилеглу до прямого кута)		
1		<p>Дано: $h_w = DC$, b_w, α, β, f_{cd}, f_{ctd}. Невідомі: P_w, $k = V_x/V_y$, γ.</p> $P_w = m \left[\frac{2B\sqrt{(k - tg\gamma)^2 + 0,25(ktg\gamma + 1)^2} - (k - tg\gamma)}{-k - tg\gamma} \right] \times \frac{h_w b_w}{tg\gamma \cos \beta (1 \pm k_o k)}, \quad (3)$ <p>де b_w – товщина клина; $k_o = V_w/N_w$; $P_w = N_w / \cos \beta$</p>
Другий випадок руйнування зрізаного бетонного клина (поверхня руйнування виходить на похилу грань)		
2		<p>Дано: h_w, b_w, α, β, f_{cd}, f_{ctd}. Невідомі: P_w, $k = V_x/V_y$, θ.</p> $P_w = m \left[\frac{2B\sqrt{(k - tg\theta)^2 + 0,25(ktg\theta + 1)^2} - (k - tg\theta)}{-k - tg\theta} \right] \times \frac{h_w b_w}{\cos \beta (tg\theta - tg\alpha) (1 + k_o k)} \quad (4)$

1	2	3
Зразок Гвоздева		
3		<p>Дано: h, b, f_{cd}, f_{ctd}. Невідомі: $P, k=V_x/V_y, \alpha, \beta$.</p> $P = m \left[\begin{matrix} 2B\sqrt{(k - tg\beta)^2 + 0,25(ktg\beta + 1)^2} - \\ -(k - tg\beta) \end{matrix} \right] \times$ $\times \frac{hbtg\alpha}{tg\beta + tg\alpha} + \frac{hb f_{ctd} tg\beta(k + tg\alpha)}{tg\beta + tg\alpha}, \quad (5)$ <p>де b – товщина зразка. Обмеження: $\Sigma X=0$ (6)</p>
Балка-стінка зі змінним прогоном зрізу		
4		<p>Дано: $h, b, L, l, a, f_{cd}, f_{ctd}$. Невідомі: $q, k=V_x/V_y, \alpha, \beta$.</p> $q = m \left[\begin{matrix} 2B\sqrt{(k - tg\beta)^2 + 0,25(ktg\beta + 1)^2} - \\ -(k - tg\beta) \end{matrix} \right] \times \quad (7)$ $\times \frac{(tg\alpha - \delta)}{\gamma(tg\alpha + tg\beta)} + \frac{f_{ctd}(k + tg\alpha)(tg\beta + \delta)}{\gamma(tg\alpha + tg\beta)},$ <p>де $\delta = a/h$</p> <p>Обмеження:</p> $\left. \begin{matrix} \Sigma M_o = 0 \\ \Sigma M_B = 0 \\ \Sigma X = 0 \end{matrix} \right\} \quad (8)$ <p>При $a=0$ – схема Мерша</p>

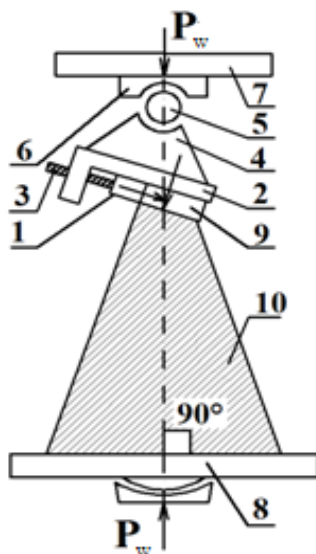


Рис. 1. Випробування зрізаного бетонного клина за допомогою спеціального пристрою:

1, 2 – вантажні пластини; 3 – гвинти; 4 – корпус; 5 – шарнір;
6 – опорна пластина; 7, 8 – плити преса; 9 – пластина; 10 – зразок

Оброблено дані експериментальних досліджень 195 зразків:

- 112 зрізаних бетонних клинів [9, 10, 13]: $\bar{X} = 0,9$, $\sigma_{n-1} = 0,11$, $\nu = 12,22\%$. При цьому міцність бетону зразків коливалася в межах $f_{c,prizm} = 7,2 \div 55,3$ МПа. Для наочності порівняння теоретичної й експериментальної міцності результати подано на рис. 2. Теоретичні залежності відносної міцності клинів $P_w/(f_{c,prizm} h_w b_w)$ від кута навантаження β побудовано при $f_{ct}/f_{c,prizm} = 0,085$;

- 45 зразків Гвоздєва (рис. 3) [9, 10, 14 – 16]: $\bar{X} = 1,036$, $\sigma_{n-1} = 0,181$, $\nu = 17,43\%$;

- 25 зразків Мерша [9, 10, 17 – 21] при приведений довжині рівномірного навантаження $l_{red} = 2l/3$: $\bar{X} = 0,715$, $\sigma_{n-1} = 0,118$, $\nu = 16,5\%$; при $l_{red} = 0,5l$: $\bar{X} = 0,855$, $\sigma_{n-1} = 0,142$, $\nu = 16,7\%$. $f_{c,prizm}$ змінювався в межах від 14 до 39 МПа, а l/h варіювалося від 0,4 до 1;

- 13 балок-стінок із змінним прогоном зрізу [9]: $\bar{X} = 0,883$, $\sigma_{n-1} = 0,165$, $\nu = 18,64\%$. На рис. 4 наведено графік

залежності відносної міцності $f_{c,sh}/f_{c,prizm}$ бетонних балок-стінок від прогону зрізу a/h .

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Розрахунок міцності бетонних елементів при зрізі за емпіричними формулами, що мають частковий характер, вузьку сферу застосування та недостатню точність, не дає можливості здійснити загальну оптимізацію конструктивних рішень з урахуванням усіх визначальних факторів.

За допомогою достатньо загальної методики, в основу якої покладено теорію пластичності бетону, отримано розв'язки задач міцності при зрізі для зразків, запропонованих Гвоздєвим і Мершем, балок-стінок зі змінним прогоном зрізу та бетонних клинів, які моделюють роботу стиснутої зони бетону над небезпечною похилою тріщиною.

Результати проведених експериментальних досліджень підтвердили локалізацію пластичної деформації на поверхні руйнування, прийняту в теоретичних рішеннях, а також передбачено розрахунком вплив визначальних факторів міцності.

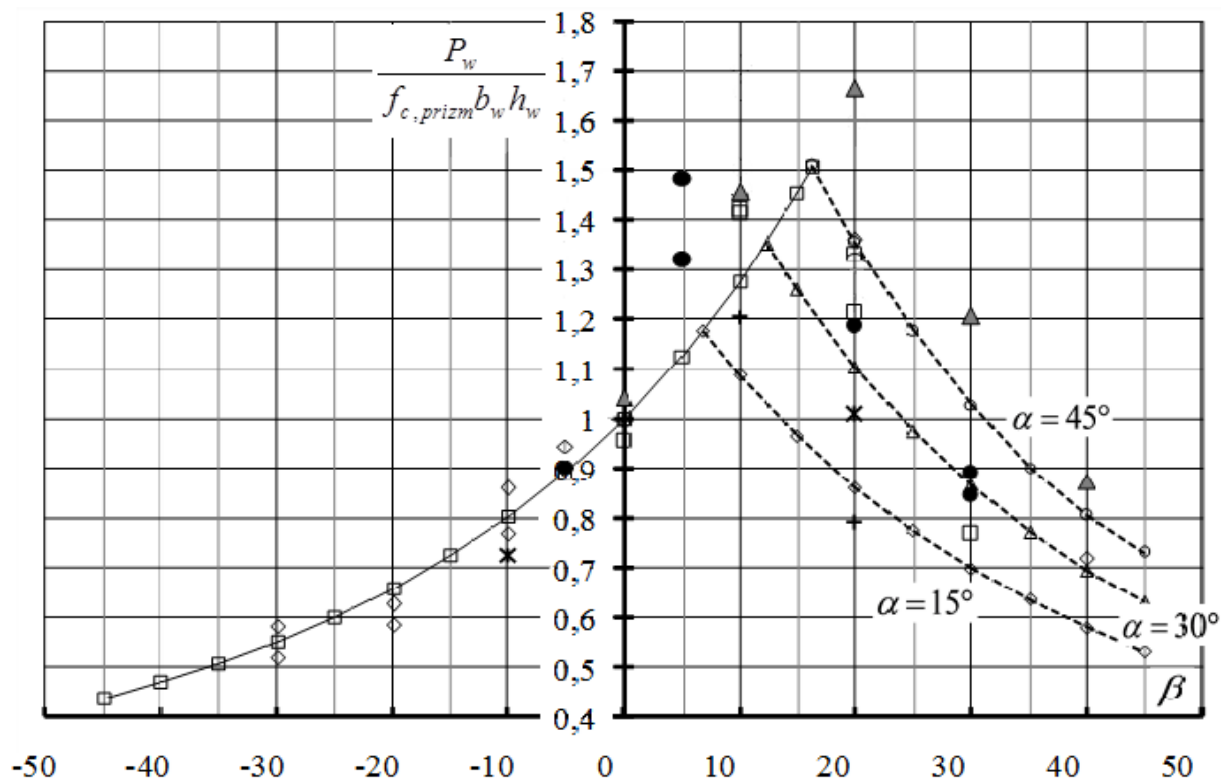


Рис. 2. Порівняння значень відносної теоретичної міцності зрізаних бетонних клинів з дослідною: \square – теоретична крива для клинів, які руйнуються за I випадком; \diamond , \triangle , \ominus – те саме для II випадку руйнування при кутах відповідно $\alpha = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$; експериментальні дані Т.Ю. Качана: \times – при $\alpha = 15^\circ$; \bullet – при $\alpha = 30^\circ$; \diamond – при $\alpha = 45^\circ$; В.В. Погрібно: $+$ – при $\alpha = 15^\circ$; \square – при $\alpha = 30^\circ$; \triangle – при $\alpha = 45^\circ$

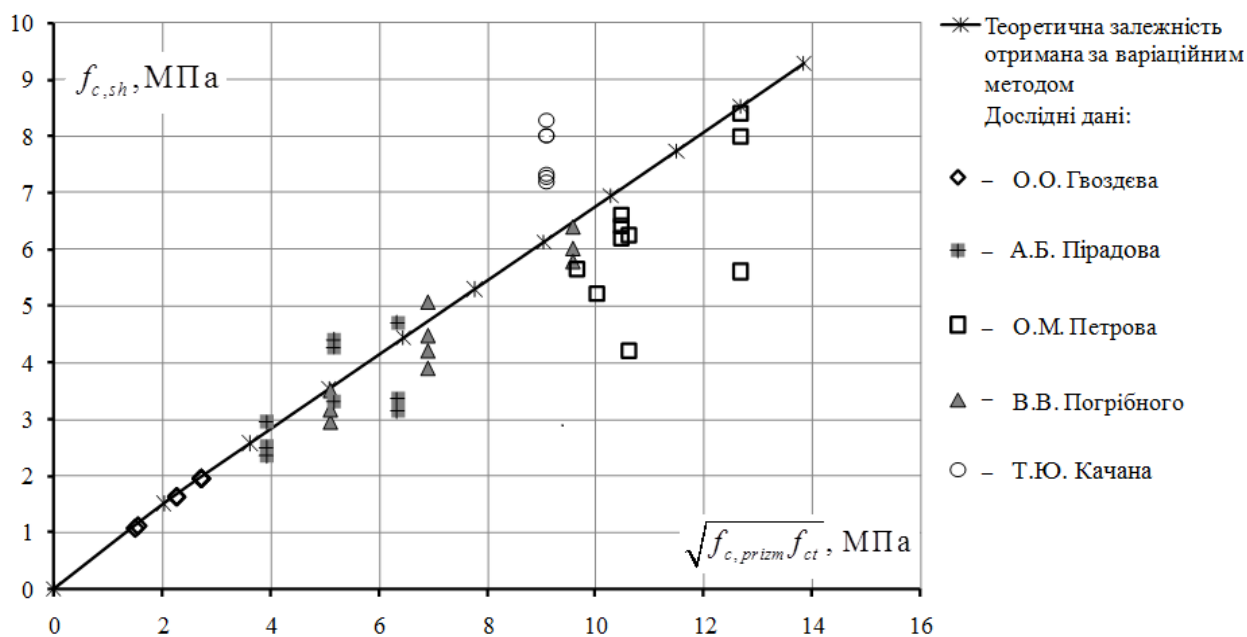


Рис. 3. Порівняння значень теоретичної міцності зразків Гвоздева з експериментальною

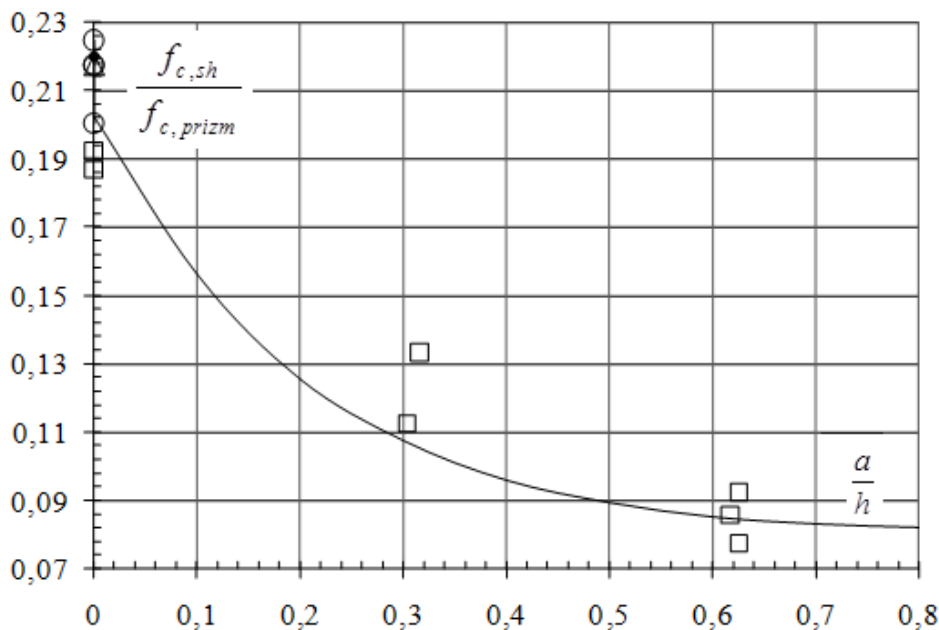


Рис. 4. Порівняння значень теоретичної міцності бетонних балок-стінок з експериментальною

При складних неоднорідних напружено-деформованих станах зовнішньо крихкий характер руйнування не може слугувати доказом неможливості застосування теорії пластичності до розрахунку міцності бетонних і залізобетонних елементів. Передумова про ідеальну пластичність може застосовуватися для бетону, якщо в елементі відсутні області розтягу, що обумовлюють крихке руйнування, або рівень напружень у них відстає від рівня напружень у стиснутих зонах.

Викладена методика розрахунку міцності бетонних елементів при дії зрізувальних сил поєднує важливі для практики переваги: точність, загальність і відносну простоту. Теоретична міцність досить добре узгоджується з дослідною.

У напрямку подальшого розвитку розрахунку міцності бетонних елементів і створення загальної методики оцінювання несучої здатності бетонних і залізобетонних конструкцій при зрізі перспективною є теорія пластичності бетону та методи варіаційного обчислення.

Список використаних джерел

1. Braestrup M. W. Concrete Plasticity: The Copenhagen Shear Group, 1973-79 / M.W. Braestrup // Concrete Plasticity: A Tribute to Professor Nielsen on his 60th Birthday. Danish J. of Structural Engineering. – 2015. – Vol. 65. – № 2-3-4. – P. 33-87.
2. Nielsen, M. P. Limit Analysis and Concrete Plasticity / M. P. Nielsen, L.C. Hoang // CRC Press, third edition – 2011. – 669 p.
3. Chakrabarti, S. C. Shear Characteristics of Cast-in-Place Vertical Joints in Story-High Precast Wall Assembly / S. C. Chakrabarti, G. C. Nayak, D.K. Paul // ACI Struct. J – 1988. – Vol. 85 (1). – P. 30-45.

4. Jorgensen, H.B., Hoang, L.C. Load carrying capacity of keyed joints reinforced with high strength wire rope loops. In Proceedings of fib Symposium 2015. – 13 p.
5. Nielsen M. P. Limit Analysis and Concrete Plasticity / M. P. Nielsen // Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, N.J., 1984. – 620 p.
6. Митрофанов, В. П. Вариационный метод в теории идеальной пластичности бетона. [Текст] / В. П. Митрофанов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1990. – № 6. – С. 23-28.
7. Довженко, О. О. Теоретичне дослідження міцності на зріз бетонних балок-стінок за допомогою варіаційного методу в теорії пластичності бетону [Текст] / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, К.І. Залужна, Т.Ю. Качан // Вісник Кременчуцького національного університету імені Юрія Остроградського: зб. наук. праць. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 4 (69). – Ч. 1. – С. 120-123.
8. Гениев, Г. А. Теория пластичности бетона и железобетона [Текст] / Г. А. Гениев, В.Н. Киссюк, Г. А. Тюпин. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.
9. Качан, Т. Ю. Розрахунок міцності суцільних та склеєних залізобетонних (бетонних) елементів на зріз варіаційним методом [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Т.Ю. Качан. – Полтава, 2012. – 232 с.
10. Погребной, В. В. Прочность бетонных и железобетонных элементов при срезе [Текст]: дисс... канд. техн. наук 05.23.01 / В. В. Погребной. – Полтава, 2001. – 236 с.
11. Пристрій для дослідження міцності бетону стиснутої зони над небезпечною похилою тріщиною в згинальних моментах [Текст]: пат 104792 Україна, МПК (2006.01) G01N 33 / 38 / О.О. Довженко., В.В. Погрібний, Т.Ю. Качан; заявник та власник Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № u2015 04968; заявл. 21.05.2015; опубл. 25.02.16, Бюл. №4. – 4 с.
12. Довженко, О. О. Про можливість застосування теорії пластичності до розрахунку міцності елементів із високоміцного бетону [Текст] / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, О.О. Куриленко // Коммунальное хозяйство городов: зб. наук. праць. – К.: Техніка, 2012. – Вып. 105. – С. 74-82.
13. Митрофанов, В. П. Напряженно-деформированное состояние, прочность и трещинообразование железобетонных элементов при поперечном изгибе [Текст]: автореф. дисс... канд. техн. наук: 05.23.01 / В. П. Митрофанов. – М., 1982. – 41 с.
14. Гвоздев, А. А. Изучение сцепления нового бетона со старым [Текст] / А. А. Гвоздев, А. П. Васильев, С. А. Дмитриев. – М., Л. : ОНТИ, 1932. – 54 с.
15. Петров, А. Н. Сопротивление бетона срезу при наличии нормальных сжимающих напряжений [Текст] / А.Н. Петров // Сб. науч. тр. – Днепропетровск, 1962. – Вып. 19. – С. 19-32.
16. Пирадов, А. Б. Конструктивные свойства легкого бетона и железобетона [Текст] / А. Б. Пирадов. – М.: Стройиздат, 1973. – 133 с.
17. Веригин, К. П. Сопротивление бетона при совместном воздействии осевых и поперечных сил [Текст] / К. П. Веригин // Бетон и железобетон. – 1960. – № 10. – С. 479- 480.
18. Довженко, О. О. Міцність коротких бетонних балок при зрізі [Текст] / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, О. В. Бондаренко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне, 2002. – Вип. 8. – С. 108-105.
19. Петров, А. Н. Об интерпретации среза в бетоне [Текст] / А. Н. Петров // Строительные конструкции: сб. науч. трудов. – К.: Будівельник, 1967. – Вып. VI. – С. 181-188.
20. Столяров, Я. В. Введение в теорию железобетона [Текст] / Я. В. Столяров. – М., Л.: Государственное издательство строительной литературы, 1941. – 448 с.

21. Столяров, Я. В. Теория железобетона на экспериментальной основе [Текст] / Я. В. Столяров. – Харьков: ОНТИ – ГНТИУ, 1934. – 224 с.

Довженко Оксана Олександрівна, канд. техн. наук, доцент, професор кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел. 0509825854.

Погрібний Володимир Володимирович, канд. техн. наук, с.н.с., доцент кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел. 0509825853.

Мальована Олена Олександрівна, аспірантка кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел. 0935829844.

Dovzhenko Oksana Oleksandrivna, Phd. tehn, Associate Professor, Professor, Department of Reinforced Concrete and Masonry Constructions and Strength of Materials, Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University. Tel. 0509825854.

Pogribnyi Volodymyr Volodymyrovych, Phd. tehn, Senior Researcher, Associate Professor, Department of Reinforced Concrete and Masonry Constructions and Strength of Materials, Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University. Tel. 0509825853.

Mal'ovana Olena Oleksandrivna, post-graduate, Department of Reinforced Concrete and Masonry Constructions and Strength of Materials, Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University. Tel. 0935829844.

Стаття прийнята 02.11.2016 р.

УДК 656.2

РОЗРАХУНОК ПЛАНУ ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ НА ОСНОВІ СТОХАСТИЧНОЇ КОМБІНАТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Інженери В. М. Прохоров, Ю. А. Рябушка

РАСЧЁТ ПЛАНА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЕЗДОВ НА ОСНОВЕ СТОХАСТИЧЕСКОЙ КОМБИНАТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Инженеры В. Н. Прохоров, Ю. А. Рябушка

COMPUTATION OF TRAINS FORMATION PLAN ON THE BASE OF STOCHASTIC COMBINATORIAL OPTIMIZATION

Engineers V. M. Prokhorov, Yu. A. Riabushka

У якості основи для створення автоматизованої системи розрахунку плану формування поїздів запропоновано математичну модель, яка використовує у якості стохастичної змінної параметр накопичення вагонів з метою покращення характеристик оптимального плану. Запропоновано метод розрахунку плану формування односторонніх поїздів на основі використання генетичних алгоритмів, який дозволяє враховувати альтернативні маршрути прямування поїздів.

Ключові слова: план формування поїздів, автоматизована система розрахунку плану формування поїздів, генетичний алгоритм, параметр накопичення, стохастична оптимізація.

В качестве основы для создания автоматизированной системы расчета плана формирования поездов предложена математическая модель, которая использует в качестве стохастической переменной параметр накопления вагонов с целью улучшения характеристик оптимального плана. Предложен метод расчета плана формирования однопутных поездов на основе использования генетических алгоритмов, который позволяет учитывать альтернативные маршруты следования поездов.

Ключевые слова: *план формирования поездов, автоматизированная система расчета плана формирования поездов, генетический алгоритм, параметр накопления, стохастическая оптимизация.*

The analysis of domestic and foreign scientific research in the field of solving optimization problems in railcar traffic control and control of process of freight trains formation is done. The problem of computation of train formation plan is formulated as a stochastic combinatorial optimization problem. As a basis for the creation of an automated system for computation of train formation plan it is offered the mathematical model that uses parameter storage cars accumulation as stochastic variable in order to improve the characteristics of the optimal plan, takes into account the capacity constraints of railway lines, bandwidth and processing capacity of technical stations. The proposed method of computation of single-group train formation plan on the basis of the use of genetic algorithms, which allows to consider alternative routes of trains. The proposed coding solutions using set theory. To increase the flexibility of the model as a penalty function the function is used, that assesses the risk of deviation the railcar accumulation parameters of their average values. The simulation results in Matlab environment are presented.

Keywords: *trains formation plan, automated system for computation of trains formation plan, genetic algorithm, railcars accumulation parameter, stochastic optimization.*

Вступ. Як показав аналіз функціонування підсистеми вантажних залізничних перевезень, процес накопичення вагонів і формування составів відіграє в них ключову роль. Тривалість накопичення одного состава залежить від потужності вагонопотоку даного призначення. Основними показниками процесу накопичення составів є сумарні вагоно-години накопичення для даного призначення за добу, середній час простою одного вагона під накопиченням, середній час накопичення состава.

Для прискорення процесу накопичення составів застосовуються такі заходи: забезпечення пріоритету розпуску составів, які включають замикаючі групи вагонів для завершення накопичення інших составів, забезпечення підведення великих груп вагонів під кінець процесу накопичення составів, формування поїздів підвищеної маси, а також інші заходи, які передбачають при розробленні

оперативних планів на добу, зміну, 6-годинні періоди роботи і які націлені на пришвидшення ритму роботи станції. Але навіть при раціонально організованому процесі роботи станцій простій вагонів з переробкою складає майже половину загального часу знаходження вагонів на станції.

Тому найбільші можливості для скорочення добових вагоно-годин простою полягають у раціоналізації організації вагонопотоків на мережі в цілому. Розроблення якісного плану формування поїздів (ПФП) є найбільш ефективним заходом економії добових вагоно-годин накопичення. Для створення автоматизованої системи розрахунку ПФП і забезпечення його якості на сучасному рівні потрібні нові підходи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На північноамериканському континенті ключовим завданням у галузі організації вагонопотоків є завдання

компонування вагонів у блоки і закріплення їх за поїздами з одночасним вирішенням завдання планування роботи локомотивів і локомотивних бригад. У роботі [1] пропонується спеціально розроблений метаевристичний метод, призначений для вирішення, але невелика розмірність задачі, наведена в якості прикладу його реалізації, свідчить про його недосконалість. У роботі [2] запропоновано формулювання завдання маршрутизації вагонопотоків, як задачі визначення структури графа, у якій залізничні станції є вершинами, а блоки вагонів – дугами, для розв'язання задачі запропоновано алгоритм, створений на основі алгоритму гілок і границь, який генерує маршрут для кожного блока, розв'язуючи задачу пошуку найкоротшого шляху. Як недолік даної розробки слід зазначити недотримання нормативної кількості вагонів у поїздах, а також складність застосування для реальних залізничних полігонів, тому що при одночасному оперуванні вагонами і блоками на всьому полігоні завдання маршрутизації вагонопотоків переходить до класу задач великої і надвеликої розмірності. У статті шведських дослідників [3], опублікованій у журналі Європейського консорціуму з досліджень у галузі інформатики і математики, пропонується метод вирішення завдання розформування-формування поїздів на сортувальній станції за допомогою застосування багатостадійного формування «тимчасових» составів, кількість яких регулюється моделлю залежно від наявності вільних колій. Завдання формування составів сформульовано як багатопродуктова потокова задача, розв'язання якої пропонується за допомогою комп'ютерної програми-вирішувача, що використовує алгоритм на основі комбінації декількох методів математичного програмування з обмеженнями. Але самі автори зазначають, що для реальної задачі, яка має велику

розмірність, використання евристичних методів локального пошуку або цілочисельного програмування було б більш доцільним. У статті [4] запропоновано математичні моделі на базі використання нейро-нечітких мереж для визначення доцільності формування і маршруту прямування групових поїздів. Також у статті запропоновано оригінальну методику оперативного коригування плану формування поїздів на основі використання еволюційного відбору. У статті [5] запропоновано оригінальний підхід до вирішення завдання раціонального розподілу сортувальної роботи між технічними станціями мережі залізниць, яка враховує побажання вантажовідправників і повинна забезпечити гарантію своєчасної доставки вантажів у погоджених з замовником термінах. У статті [6] запропоновано методи оперативного керування поїздопотоками на основі сучасних інформаційних і телекомунікаційних технологій.

Визначення мети та задачі дослідження. Для вирішення завдання розрахунку ПФП на сучасному якісному рівні необхідно створити автоматизовану систему керування вантажопотоками, яка б використовувала сучасні інформаційні технології і забезпечувала збір актуальної інформації про обсяги вагонопотоків, яку можна використовувати у якості вихідних даних. Але в першу чергу необхідно створити математичну модель для адекватного моделювання витрат відповідно до варіанта плану. Модель повинна враховувати всі обмеження, що стосуються залізничної інфраструктури, але, крім того, вона повинна бути гнучкою, щоб мати можливість максимально враховувати варіативність вихідних даних. Важливим є також і вибір методу оптимізації.

Основна частина дослідження. Складання плану формування поїздів – складне комбінаторне завдання, пов'язане з розрахунками великої кількості варіантів і

складних логічних дій. Тому для вирішення цього завдання доцільно запропонувати методи комбінаторної оптимізації. Комбінаторна оптимізація – пошук оптимального об'єкта в кінцевій множині об'єктів [7]. Таким оптимальним об'єктом і є оптимальний план формування поїздів, який потрібно відшукати в множині всіх можливих варіантів плану. Значення параметрів накопичення входять до вихідних даних для розрахунку ПФП як сталої величини. Але, хоча і в дуже вузькому діапазоні, на параметр накопичення можна впливати, змінюючи черговість розформування-формування поїздів та іншими організаційними заходами на станціях. Якщо включити параметри накопичення в модель не як сталі величини, а як стохастичні змінні, які можуть набувати значення в інтервалі, у межах якого на них можливо впливати, то це дасть змогу відшукати варіант плану з кращими показниками, хоча і потребуватиме здійснення додаткових дій для впливу на величини поточних параметрів накопичення. Для здійснення впливу на параметри накопичення доцільно також створити автоматизовані системи, які будуть оптимізувати оперативні плани роботи технічних станцій. З іншого боку використання параметра накопичення як випадкової величини відносить завдання побудови оптимального плану поїздів у такій постановці також і до задач стохастичної оптимізації.

Дослідження специфічних обчислювальних алгоритмів для задач стохастичної комбінаторної оптимізації в наш час лише розпочинаються. При тому, що інтерес до цієї проблеми значний, виникають труднощі як з боку стохастичної, так і з боку комбінаторної складових цих алгоритмів, які значно ускладнюють розроблення, застосування і тестування алгоритмів для задач цього класу. Тому в якості методу оптимізації можливе використання таких універсальних метаевристичних методів, як

генетичні алгоритми. Використання метаевристичних методів оптимізації є зручним у застосуванні і з практичної точки зору воно знімає обмеження на формат і кількість системи обмежень математичної моделі. Таким чином, це надасть змогу врахувати в моделі можливість відхилення напрямку прямування вагонопотоків від найкоротшого маршруту, що є дуже важливим аспектом у сучасних умовах.

Важливий аспект використання генетичних алгоритмів – кодування. Кодування – це представлення розв'язку задачі, яку потрібно розв'язати за допомогою генетичного алгоритму, у вигляді вектора, який у термінах генетичних алгоритмів називається хромосомаю. Кожен елемент такого вектора називається геном. Кодування повинно враховувати специфіку задачі і не повинно бути надлишковим, щоб хромосома мала якомога меншу довжину.

Що стосується задачі побудови плану формування поїздів, то розв'язок цієї задачі має містити варіанти об'єднання струменів. Кількість генів у хромосомі визначається кількістю ділянок залізничної мережі, які знаходяться між станціями уступів і вздовж яких склад струменів вагонопотоків є незмінним. Кожен ген буде містити число, яке відповідає номеру варіанта розбиття множини струменів на підмножини. Кількість таких варіантів розбиття залежить від кількості струменів і визначається за допомогою чисел Белла.

Якщо параметр накопичення набуває значення, які є відхиленням у бік зменшення від математичного очікування, тоді існує імовірність, що ці значення не будуть отримані при виконанні плану формування поїздів. Цей ризик у цільовій функції моделі потрібно врахувати. Але для цього потрібна кількісна міра ризику. Технічний ризик – це математичне очікування величини втрат. [8]

Тоді його можна виразити такою формулою:

$$R = P \cdot L,$$

де P – імовірність настання небажаної події;

L – величина втрат у разі настання небажаної події.

Імовірність настання небажаної події – це імовірність того, що величина параметра накопичення, яка була прийнята при побудові плану формування поїздів, буде перевищена. Параметри накопичення являють собою стохастичні змінні, задані нормальними законами розподілу, тому цю імовірність можна розрахувати за допомогою кумулятивної функції розподілу нормального закону за формулою

$$P = 1 - F(c) = 1 - \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{c - \bar{c}}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right],$$

де $\operatorname{erf}(x)$ – функція похибок Лапласа.

Величину втрат можна визначити як вартість додаткових вагоно-годин накопичення, які виникнуть при

перевищенні фактичних величин параметрів накопичення, і тих, які прийняті при розрахунку плану формування поїздів. Таким чином, цю величину можна визначити як різницю між математичним очікуванням параметра накопичення і поточним значенням параметра накопичення як стохастичної змінної, помноженої на норму кількості вагонів у складі поїзда і на вартість вагоно-години.

Цю функцію ризику слід обчислювати лише у випадку, коли поточне значення параметра накопичення виявиться меншим, ніж математичне очікування параметра накопичення, в іншому випадку можна вважати, що нема ризику виникнення додаткових витрат.

При використанні цільової функції у якості фітнес-функції генетичного алгоритму функція ризику буде відігравати роль штрафної функції і не дасть можливість всім стохастичним змінним, які є поточними значеннями параметрів накопичення, набувати лише мінімальних значень.

Тоді цільову функцію моделі побудови плану формування одnogрупних поїздів можна записати як

$$C(x, c) = e_{B.G} \sum_{i=1}^w \left[\left(c_i m_i + \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{c_i - \bar{c}_i}{\sigma_i \sqrt{2}} \right) (c_i - \bar{c}_i) m_i \cdot \right. \right. \\ \cdot \operatorname{Sgn}(\operatorname{Sgn}(c_i - \bar{c}_i) + 1) + (t_i^{обп} + t_i^{поз}) \sum_{u=1}^l n_u x_{iu} \left. \right) \operatorname{Sgn} \left(\sum_{d=1}^k x_{dj} \right) + \\ \left. \left. + \sum_{j=1}^l \left(x_{ij} n_j \left(\sum_{h=2}^{q_i-1} t_{hi}^{тран} + \sum_{r=1}^{z_i} \frac{L_{ir}}{V_{ir}^{дiа}} \right) \right) \right] \rightarrow \min,$$

де w – кількість всіх можливих призначень;

m_i – норма кількості вагонів у складі поїзда на i -му призначенні;

c_i – поточний параметр накопичення i -го призначення;

\bar{c}_i – математичне очікування величини параметра накопичення i -го призначення;

σ_i – середньоквадратичне відхилення параметра накопичення i -го призначення;

t_i^{obr} – час обробки поїзда i -го призначення на станції розформування;

t_i^{poz} – час розформування поїзда i -го призначення на станції розформування;

n_u – кількість вагонів u -го струменя;

k – кількість струменів вагонопотоків;

q_i – кількість технічних станцій на i -му призначенні;

z_i – кількість технічних станцій на i -му призначенні;

t_{hi}^{mran} – час обробки транзитного поїзда без переробки на h -й станції i -го призначення;

V_{ir}^{dia} – дільнична швидкість руху вантажних поїздів r -ї дільниці i -го призначення;

x_{ij} – змінна, яка набуває значення 1, якщо i -те призначення включає вагонопотік j -го струменя, в іншому випадку набуває значення 0;

e_{B-T} – вартість вагоно-години;

Sgn – знакова функція;

$erfc$ – комплементарна функція похибок Лапласа.

Перший доданок у квадратних скобках являє собою витрати вагоно-годин на накопичення i -го призначення, другий доданок являє собою надлишкові витрати вагоно-годин на накопичення i -го призначення, що пов'язані з ризиком перевищення поточного значення параметра накопичення, якщо поточне значення параметра накопичення набуває значень менших, ніж математичне очікування цієї величини. Комплементарна функція похибок Лапласа – неелементарна функція, що являє собою інтеграл імовірності Лапласа:

$$erfc(x) = 1 - erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt$$

де $erf(x)$ – функція похибок Лапласа.

Комплементарна функція похибок використовується для розрахунку імовірності перевищення випадковою величиною, яка розподілена за нормальним законом, певного значення.

Третій доданок являє собою витрати вагоно-годин на розформування составів кожного призначення, які залежать від кількості вагонів. Четвертий доданок являє собою витрати вагоно-годин на проходження технічних станцій транзитом без переробки, а також витрати вагоно-годин у русі на дільницях між технічними станціями. Ці витрати також залежать від сумарної кількості вагонів усіх струменів вагонопотоків по кожному призначенню.

Дана цільова функція потребує мінімізації з урахуванням обмежень, які обумовлені технічними параметрами інфраструктури об'єктів полігону, а також технологічними особливостями перевізного процесу.

Однією з головних цілей вирішення завдання побудови плану формування поїздів є оптимальний розподіл роботи між технічними станціями. Ключовим параметром технічної станції є величина її переробної спроможності, яка визначається її колійним розвитком, пропускною спроможністю горловин і переробною спроможністю сортувальних пристроїв. Завдання розрахунку плану формування поїздів потрібно вирішувати з урахуванням обмеження за переробною спроможністю технічних станцій, яке можна записати як

$$\sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^k n_j x_{ij} \gamma_{is} / m_i \leq N_s^{nep}, s = 1..S$$

де γ_{is} – набуває значення 1, якщо s -та станція є станцією розформування i -го

призначення, в іншому випадку набуває значення 0;

N_s^{nep} – переробна спроможність s -ї станції;

S – кількість технічних станцій на полігоні.

Одночасно з роботою з переробки вантажних поїздів технічна станція виконує роботу з обробки і пропускання транзитних вантажних поїздів і пасажирських поїздів. Тому, окрім переробної спроможності, потужність кожної технічної станції обмежена також її пропускнуою спроможністю. Пропускна спроможність станції визначається як кількість вантажних поїздів (без переробки і з переробкою) і задана кількість пасажирських поїздів, яка може бути пропущена станцією за добу по всіх напрямках за умов роботи, що забезпечують повне використання наявних засобів, виходячи з технічної оснащеності, передової технології і найкращої організації руху поїздів [9]. Пропускна спроможність станції визначається найменшим значенням пропускнуої спроможності її приймально-відправних колій і горловин. Обмеження з пропускнуої спроможності технічних станцій можна записати як

$$\sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^k n_j x_{ij} \omega_{is} / m_i \leq N_s^{npon} - N_s^{nac}, s = 1..S$$

де ω_{is} – набуває значення 1, якщо s -та станція входить до маршруту i -го призначення (є станцією формування, розформування або транзитною), в іншому випадку набуває значення 0;

N_s^{npon} – пропускна спроможність s -ї станції;

N_s^{nac} – кількість пасажирських поїздів, що пропускає s -та станція протягом доби.

Потрібно також враховувати і те, що не тільки технічні станції, але і залізничні дільниці, що їх з'єднують, також мають обмеження з пропускнуою спроможністю. Пропускна спроможність залізничної лінії – це найбільша кількість поїздів або пар поїздів встановленої маси, яка може бути пропущена за добу залежно від наявних технічних засобів, типу і потужності рухомого складу і прийнятих методів організації руху поїздів (тип графіка). До наявних технічних засобів можна віднести кількість колій, вид блокування на перегонах дільниці (автоматичне, напівавтоматичне), потужність тяглових підстанцій та інше. Обмеження з пропускнуої спроможності дільниць можна записати як

$$\sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^k n_j x_{ij} \rho_{id} / m_i \leq N_d^{npon} - N_d^{nac}, d = 1..D$$

де ρ_{id} – набуває значення 1, якщо d -та дільниця входить до маршруту i -го призначення, в іншому випадку набуває значення 0;

N_d^{npon} – пропускна спроможність d -ї дільниці;

N_d^{nac} – кількість пасажирських поїздів, що пропускає d -та дільниця протягом доби;

D – кількість дільниць на полігоні.

Для проведення моделювання було створено програмне забезпечення в середовищах Matlab (оптимізація цільової функції за допомогою генетичного алгоритму) і Mirad (візуалізація результатів оптимізації). На рис. 1 представлені вихідні дані для розрахунку: полігон, що являє собою розгалужену залізничну мережу, на якому наведені струмені вагонопотоків із зазначенням їх потужностей. Також на рис. 1 зображена динаміка зміни цільової функції в результаті роботи генетичного алгоритму, яка демонструє швидку збіжність алгоритму.

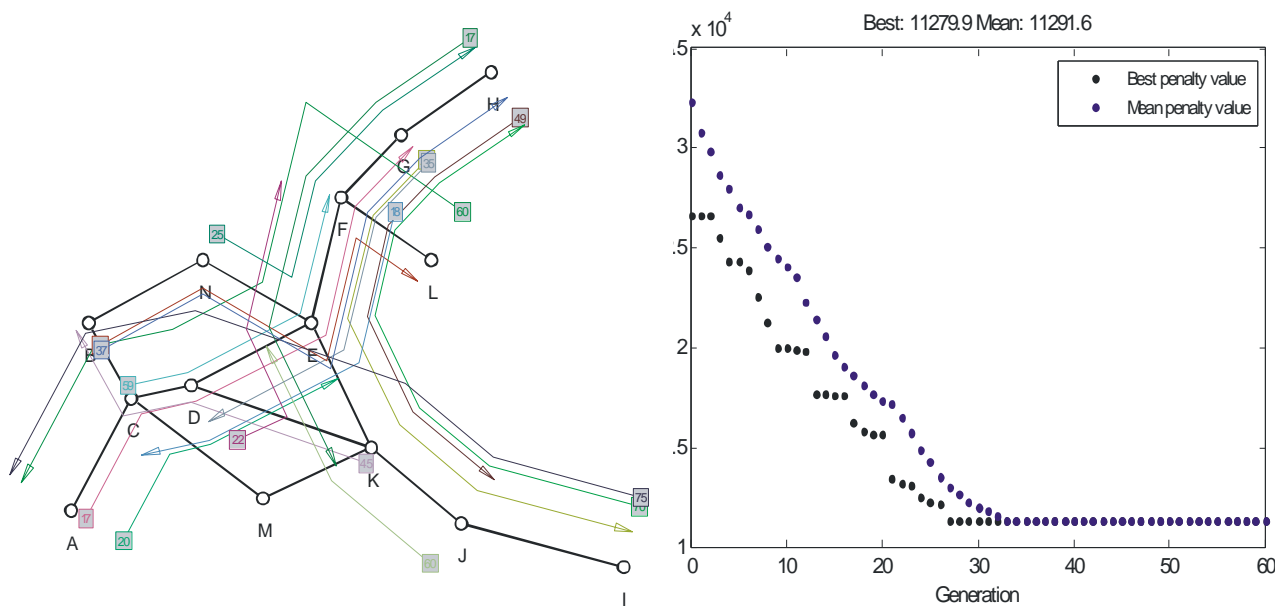


Рис. 1. Залізничний полігон із зазначеними струменями вагонопотоків і їх потужностями, динаміка зміни цільової функції при здійсненні оптимізації за допомогою генетичного алгоритму

На рис. 2 подано оптимальний план формування поїздів, що був розрахований у результаті здійснення оптимізації запропонованої цільової функції, який представлений у вигляді тривимірної графічної моделі.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Завдання розрахунку оптимального плану формування поїздів було і залишається одним з ключових завдань у сфері організації вантажних залізничних перевезень на залізницях України. Бурний розвиток нових математичних методів оптимізації та комп'ютерної техніки створюють нові можливості для вирішення цього складного

завдання. Подолання обчислювальних труднощів при вирішенні цього завдання можливе вже на сучасному рівні розвитку при застосуванні метаевристичних методів оптимізації, які використовують алгоритми керованого пошуку і при коректному їх застосуванні і відповідному налаштуванні забезпечують бажану точність розрахунків. Це дасть змогу вивести технології керування вагонопотоками на новий якісний рівень, дозволить створити сучасну автоматизовану систему керування вагонопотоками, яка зокрема зможе здійснювати коригування плану формування поїздів і в оперативному режимі.

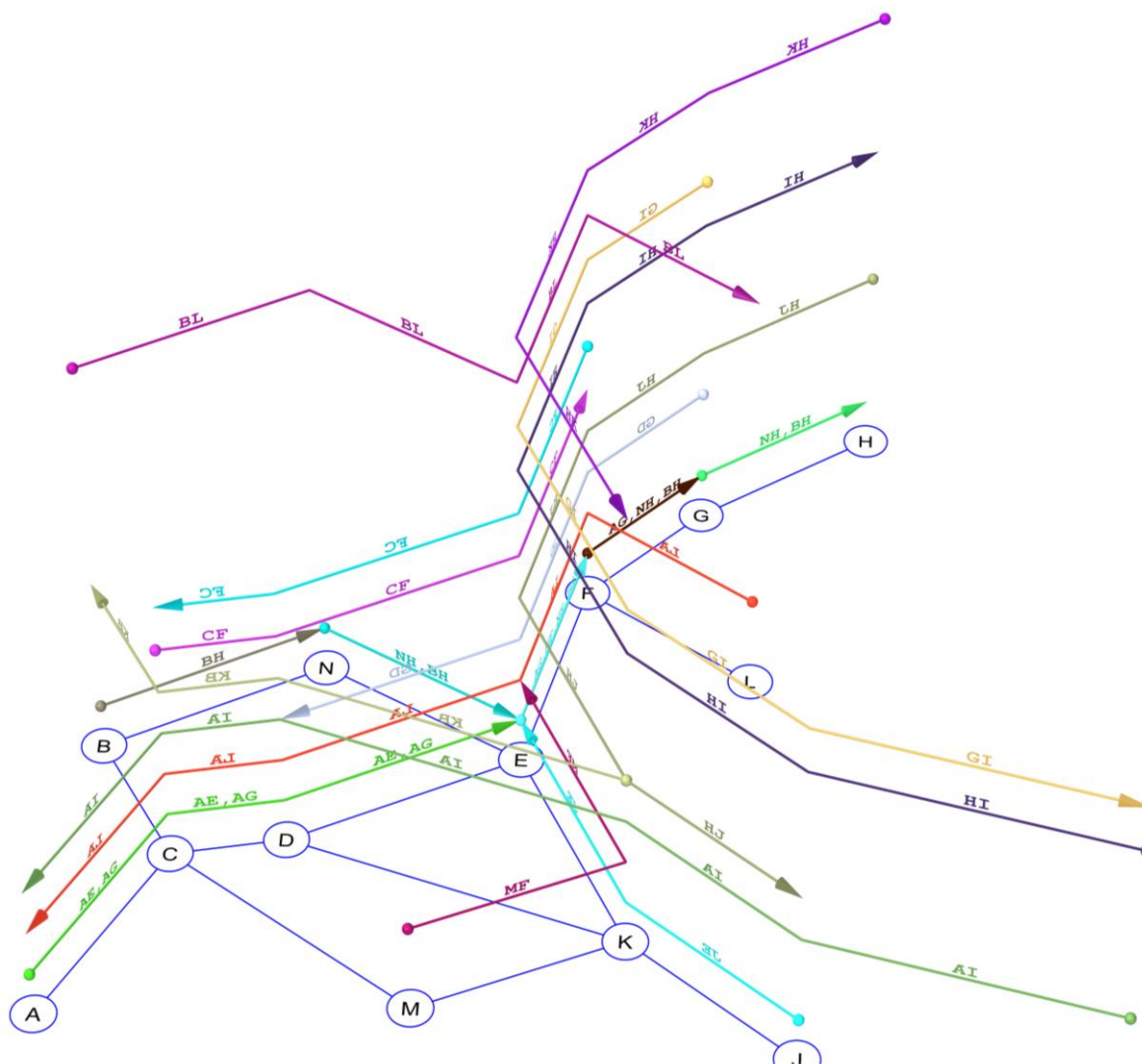


Рис. 2. Тривимірна візуалізація результатів розрахунку плану формування поїздів

Список використаних джерел

1. Yaghini, M. A. Population-based algorithm for the railroad blocking problem [Текст] / M.Yaghini, M. Seyedabadi, M. Khoshraftar // J Ind Eng Int, SpringerOpen. – 2012. – №8(8). – P. 30-41.
2. Newton, H.N. Constructing railroad blocking plans to minimize handling costs [Text] / H.N. Newton, C. Barnhart, P.H. Vance // Transportation Science. – 1998. – № 32. – P. 330–345.
3. Kreuger, P. A. Challenge for Combinatorial Optimisation [Text] / P. Kreuger, M. Aronsson // ERCIM News. – 2007. – № 68. – P. 23-25.
4. Прохорченко, А. В. Удосконалення технології коригування плану формування поїздів на основі погодженої організації групових поїздів оперативного призначення [Текст] / А. В. Прохорченко, Л. В. Корженівський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2008. – № 6/6(36). – С. 37-40.
5. Butko, T. V. Formalization of the technology of arranging tactical group trains [Text] / T. V. Butko, A. V. Prokhorchenko, A. Kuman // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – 3 (76). – P. 38-43.

6. Efficient scheduling of railway traffic based on global information of train [Text] / F. Li, Z. Gao, K. Li, L. Yang // Transportation Research Part B. – 2008. – № 42. – P. 1008-1030.
7. Schrijver, A. Combinatorial Optimization: Polyhedra and Efficiency [Text] / A. Schrijver. – Berlin: Springer, 2002. – 1884 P.
8. An Introduction to Factor Analysis of Information Risk (FAIR) [Text] // Risk Management Insight LLC – 2006. – P. 11-13.
9. Антонюк, И. Д. Справочная книга начальника станции [Текст] / И. Д. Антонюк, В.Г. Орлов, А. В. Самсонов. – 2-е изд. перераб. – М.: Транспорт, 1969. – 464 с.

Прохоров Віктор Миколайович, інженер кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту.

Рябушка Юлія Анатоліївна, інженер кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)7301088.

Prokhorov Viktor Mykolaiovych, engineer of cathedra of management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport.

Riabushka Yulia Anatoliivna, engineer of cathedra of management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 7301088.

Стаття прийнята 02.11.2016 р.

УДК 625.03

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИСОТИ РЕЙКОВИХ СТИКІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ І ТРАМВАЙНОЇ КОЛІЇ НА РІВНІ КОЛИВАНЬ ВАГОНА

Асист. Т. О. Супрун

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЫСОТЫ РЕЛЬСОВЫХ СТЫКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ И ТРАМВАЙНОЙ КОЛЕИ НА УРОВНИ КОЛЕБАНИЙ ВАГОНА

Ассист. Т. А. Супрун

TECHNICAL INVESTIGATION OF THE INFLUENCE HEIGHTS RAIL JOINTS RAIL AND TRAM TRACK VIBRATIONS AT CARRIAGE

Assist. T. A. Suprun

Разработано усовершенствованное устройство для измерения высоты всех типов рельсовых стыков железнодорожных и трамвайных путей, в котором увеличена точность контроля стыковых неровностей рельсовой колеи путем измерения их высоты, и за счет этого увеличена эффективность контроля геометрических параметров рельсового стыка, а также расширены функциональные возможности устройства.

Ключевые слова: *рельсовый стык, высота стыка, геометрические параметры, доударная скорость, послеударная скорость, колесная пара, вагон.*

Розроблено удосконалений пристрій для виміру висоти всіх типів рейкових стиків залізничних і трамвайних колій, у якому збільшено точність контролю стикових

нерівностей рейкової колії шляхом виміру їхньої висоти, і за рахунок цього підвищено ефективність контролю геометричних параметрів рейкового стику, а також розширено функціональні можливості пристрою.

Ключові слова: рейковий стик, висота стику, геометричні параметри, доударна швидкість, післяударна швидкість, колісна пара, вагон.

As a result of the work it was developed an improved device for measuring the height of all types of rail joints railway and tram tracks, with increased accuracy of the control butt joint irregularities in a track by measuring their height and due to it efficiency of the of geometrical parameters control of a rail junction was increased, as well as functionality of the device expanded. The development deals with rail-measuring devices and can be used to monitor the geometric parameters of railway rail joints and tramways. Splice-piece is elastic element at the end of the receiving or donating rail, the spring constant of which is determined in the view of its plane stress. Also, considering the impact interaction of the fourth wheel in the wheelset with the receiving end of the rail car, which interacts with the receiving rail, considered as the sprung mass shown.

Keywords: railway junction, the height of a joint, geometrical parameters, pre-impact speed, post-impact speed, wheelset, carriage.

Вступ. Динамічні навантаження в елементах конструкції екіпажа, начіпних вузлах і агрегатах є функцією взаємодії транспортного засобу з рейковою колією в місці стику. При цьому геометричні параметри стику (наявність зазора Δ та висоти h) суттєво впливають на показники плавності ходу, викликають розлади і дефекти колій, служать причиною осідань, перекосів і виплесків, призводять до зминання торців рейок, наклепів, виколів, а також утворення козирків і тріщин [1, 2, 6 – 8]. Тому актуальними є дослідження, присвячені створенню новітніх способів технічної реалізації пристроїв для виміру і контролю параметрів конструктивної кінематичної взаємодії вагона з рейковою колією в місці стикового з'єднання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомий пристрій для виміру висоти рейкових стиків залізничної і трамвайної колій, що містить двовісний шляховий візок, на платформі якого змонтовані вимірник пройденого візком шляху, лівий і правий канали виміру геометричних параметрів стику, виходи яких через обчислювальний пристрій з'єднані з блоком реєстрації, причому кожен канал виміру містить послідовно з'єднані датчик механічного контакту

колеса з рейкою, вимірювальний перетворювач, нуль-орган, лічильник часу і керуючий ключ, вхід якого з'єднаний з виходом нуль-органу [3]. Датчик механічного контакту встановлено на колесі вимірюваної колісної пари шляхового візка і виконаний безпровідним, а кожне колесо вимірюваної колісної пари виконано електромагнітно ізольованим від шляхового візка. Недоліком даного пристрою є низька ефективність за рахунок обмеженої сфери застосування тільки виміром висоти стику типу «зазор – ступінь вниз», коли в зоні стику поверхня кочення віддавальної рейки розташовується виключно вище поверхні кочення приймальної рейки, що і забезпечує особливий балістичний рух колеса вимірюваної колісної пари шляхового візка при переїзді стикової нерівності.

У пристрої для виміру висоти рейкових стиків залізничної і трамвайної колій [4], що містить двохосьовий шляховий візок, на платформі якого змонтовані вимірник пройденого візком шляху, правий і лівий канали виміру висоти стику, виходи яких через обчислювальний пристрій з'єднані з блоком реєстрації, кожен канал виміру містить послідовно з'єднані датчик механічного контакту

колеса з рейкою, вимірювальний перетворювач, нуль-орган, лічильник часу і керуючий ключ, вхід якого з'єднаний з виходом нуль-органу. Крім того, датчик механічного контакту встановлений на колесі вимірювальної колісної пари і виконаний безпровідним, а кожне колесо вимірювальної колісної пари виконано електромагнітно ізолюваним від шляхового візка. Недоліком даного пристрою є низька ефективність у випадку неоднорідності й невідповідності поверхонь кочення віддавальної і приймальної рейок базовим умовам і вимогам за станом.

Визначення мети та задачі дослідження. Від значення висоти стику, враховуючи роботи [1, 2, 6], залежить

величина ударного імпульсу динамічної взаємодії колеса з приймаючою рейкою шляху, яка у свою чергу визначає початкову швидкість їх післяударного руху при визначенні динамічних прогинів приймаючої рейки під першою шпалою на фазі зростання.

Останні є гранично-припустимими параметрами для верхньої будови колії в умовах експлуатації і визначаються диференціальними рівняннями коливань приймаючої рейки $w(t,x)$ і вагона y_1 (при початковому переміщенні та початковій швидкості приймаючої рейки в момент доударної взаємодії колеса і рейки:

$$w(0,x)=0; \quad \dot{W}(0,x)=0;$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^4 w(t,x)}{\partial x^4} + \frac{\rho F}{EJ} \cdot \frac{\partial^2 w(t,x)}{\partial t^2} = \frac{c_1(y_1 - w(t,0))\delta(x)}{EJ} - \\ - \sum_{x=1}^{23} \frac{c_2 w(t,l_i)\delta(x-l_i)}{EJ} - \frac{m_1}{EJ} \frac{\partial^2 w(t,0)\delta(x)}{\partial t^2} - \sum_{k=1}^N \frac{P_0 w(t,l_k)\delta(x-l_k)}{EJ}, \\ m_2 y_1 + c_1(y_1 - w(t,0)) = 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

де E, J, F, ρ – модуль пружності матеріалу, момент інерції перерізу відносно нейтральної осі, площа перерізу і щільність матеріалу рейки;

c_1, c_2 – жорсткість підвіски вагона, баластового шару шляху ($i = 1-22$) і рейки на кінці ($i = 23$);

$\delta(x)$ – імпульсна функція; m_1, m_2 – зведені маси вагону і колеса; P_0 – зведена сила ваги вагона, що припадає на одне колесо;

N – кількість колісних пар на приймальній рейці;

l_i, l_k – координати пружних елементів підвіски вагона, баластового шару, рейки на кінці і зведеної сили ваги вагона, що припадає на одне колесо.

Метою досліджень, враховуючи вираз (1), є удосконалення пристрою для

виміру висоти рейкових стиків, у якому застосування в кожному каналі виміру додаткових пристроїв, їхній взаємозв'язок і виконання дозволяє збільшити точність контролю стикових нерівностей рейкової колії шляхом виміру їхньої висоти і за рахунок цього підвищити ефективність контролю геометричних параметрів стику, а також розширити функціональні можливості пристрою.

Основна частина дослідження. Застосування в пристрої [5] в кожному каналі виміру геометричних параметрів стику встановлених на буксі колісної пари датчиків вертикальної і горизонтальної швидкості букси, а в кожному блоці виміру висоти стику другого підсилювача, другого фільтра, третього ключа, першого і другого блоків піднесення до квадрата, блоків

добування квадратного кореня і диференціювання, другого нуль-органу, четвертого ключа, першого і другого блоків запам'ятовування забезпечує одержання на виході першого пристрою запам'ятовування сигналу, величина якого пропорційна доударній швидкості V_1 букси колеса, а на виході другого пристрою запам'ятовування – пропорційна максимальному значенню післяударної швидкості V_{max} . При цьому сигнал на виході обчислювального пристрою з урахуванням залежності $h=3r(V_1 - V_2)/2V_1$ є

пропорційним висоті h рейкового стику колії.

У підсумку збільшується точність контролю стикових нерівностей рейкової колії шляхом виміру їхньої висоти і за рахунок цього підвищується ефективність контролю геометричних параметрів рейкового стику, а також розширюються функціональні можливості пристрою.

Пристрій для виміру висоти рейкових стиків залізничної і трамвайної колій схематично зображено на рис. 1.

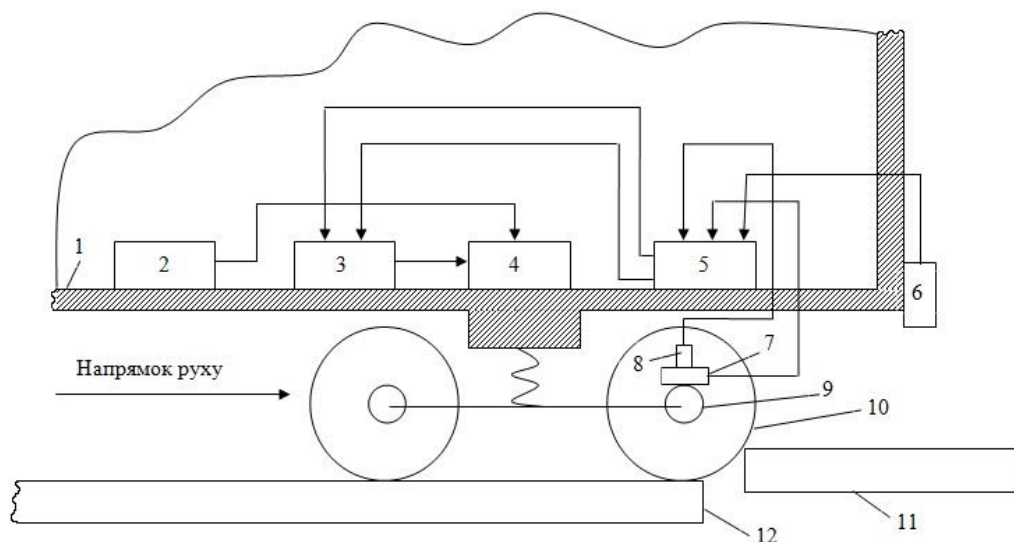


Рис. 1. Пристрій для виміру висоти рейкових стиків залізничної і трамвайної колій

Він містить встановлені на вагоні-шляховимірювачі 1 вимірник 2 пройденого шляху, обчислювальний пристрій 3, блок реєстрації 4, ідентичні за конструкцією правий і лівий канали виміру геометричних параметрів стику (на кресленні показано складові лише правого каналу), кожен з яких містить блок виміру стикових швидкостей, датчик стику 6, датчики горизонтальної 7 і вертикальної 8 швидкості правої букси 9 правого колеса 10.

У пристрої датчики 7, 8 жорстко закріплені на правій буксі 9 колісної пари вагона-шляховимірювача 1. Перший вхід блока 5 виміру стикових швидкостей

з'єднано з виходом датчика стику 6 правого колеса 10. Другий і третій входи блока виміру стикових швидкостей 5 з'єднано з виходами датчиків 7, 8 відповідно.

Блок виміру стикових швидкостей 5 (рис. 2) містить перший 13 і другий 14 підсилювачі; перший 15 і другий 16 фільтри; перший 17 і другий 26 нуль-органи; перший 18, другий 19, третій 20 і четвертий 27 ключі; перший 21 і другий 22 блоки піднесення до квадрата; блок підсумовування 23; блок добування квадратного кореня 24; блок диференціювання 25; перший 28 і другий 29 пристрою запам'ятовування.

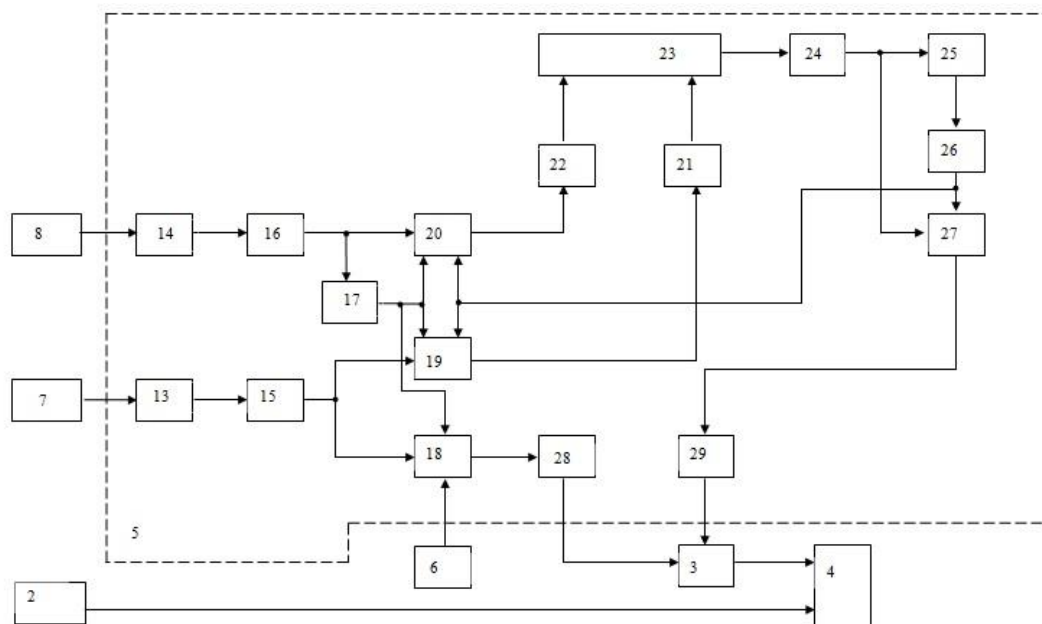


Рис. 2. Схема блока виміру стикових швидкостей

На рис. 2 виходи датчиків горизонтальної 7 і вертикальної 8 швидкості букси підключено відповідно до другого і третього входів блока виміру стикових швидкостей 5, які з'єднані з входами відповідно першого 13 і другого 14 підсилювачів, вихід першого фільтра 15 – з інформаційними входами першого 18 і другого 19 ключів, вихід першого ключа 18 – з входом першого пристрою запам'ятовування 28, вихід якого – з першим входом обчислювального пристрою 3, з'єданого виходом з другим входом блока реєстрації 4, причому вихід датчика стику 6 з'єднано з керуючим входом першого ключа 18, вихід другого фільтра 16 з'єднано з інформаційним входом третього ключа 20 і входом першого нуля-органу 17, вихід першого нуля-органу – з другим керуючим входом першого ключа 18, а також першими керуючими входами другого 19 і третього 20 ключів, виходи другого і третього ключів через перший 21 і другий 22 блоки піднесення до квадрата – з першим і другим входами блока підсумовування 23, який

поєднує через блок добування квадратного кореня 24, блок диференціювання 25, другий нуля-орган 26 з'єднано з керуючим входом четвертого ключа 27, інформаційний вхід якого з'єднано з виходом блока добування квадратного кореня 24, а вихід – через другий пристрій запам'ятовування 29 з'єднано з другим входом обчислювального пристрою 3, причому вихід другого нуля-органу 26 з'єднано з другим керуючими входами другого 19 і третього 20 ключів.

Виходи першого 28 і другого 29 блоків запам'ятовування блока виміру стикових швидкостей 5 з'єднано відповідно з першим і другим входами обчислювального пристрою 3. Перший і другий входи блока реєстрації 4 з'єднано з виходами вимірювача пройденого шляху 2 і обчислювального пристрою 3 відповідно.

На рис. 3 зображена траєкторія руху букси 9 колеса 10, а на рис. 4 – графік зміни за часом швидкості V_2 букси на фазі заїзду колеса на приймальну рейку (графік післяударної швидкості букси).

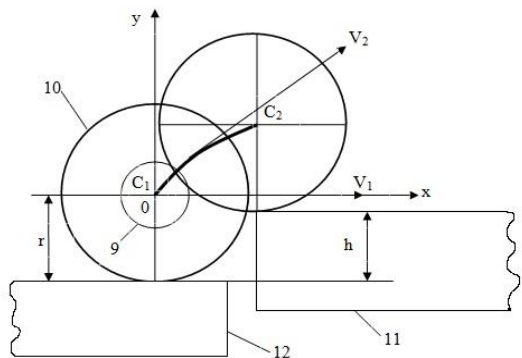


Рис. 3. Траєкторія руху букси

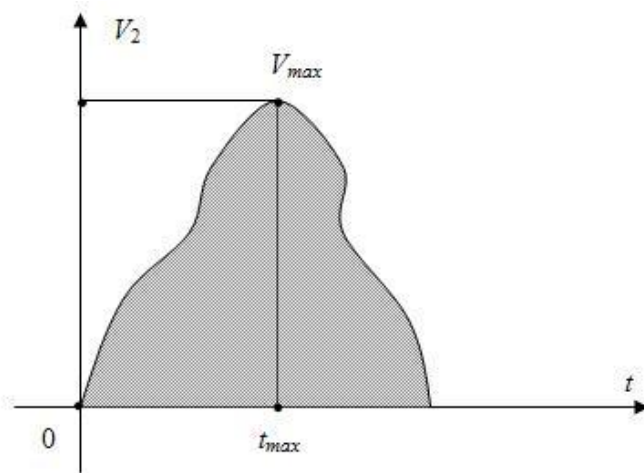


Рис. 4. Графік зміни за часом швидкості V_2 букси

На рис. 3, 4: V_z , V_e – горизонтальна і вертикальна швидкості букси 9 в напрямку осей Ox і Oy відповідно; V_1 – горизонтальна доударна (достикова) швидкість руху букси 9 в момент торкання колесом 10 торця

приймальної рейки 11; $V_2 = \sqrt{V_z^2 + V_e^2}$ – швидкість букси 9 на фазі руху по траєкторії c_1c_2 на інтервалі часу, коли колесо 10 заїжджає на приймальну рейку 11; дуга c_1c_2 – траєкторія руху букси 9 на фазі заїзду колеса 10 на приймальну рейку 11 з віддавальної рейки 12; V_{max} – найбільше значення швидкості V_2 букси 9 під час руху по дузі c_1c_2 ; t_{max} – момент часу, при якому швидкість V_2 набуває максимального значення; h – висота стику; r – радіус колеса.

Пристрій працює так. При русі вагона-шляховимірювача 1 наявність стику колії фіксується датчиком стику 6. Вихідний сигнал датчика 6 надходить на керуючий вхід першого ключа 18 блока виміру стикових швидкостей 5. Ключ 18 підключає до входу першого пристрою запам'ятовування 28 вихідний сигнал першого фільтра 15, який пропорційний горизонтальній швидкості V_z букси 9.

У момент заїзду колеса 10 на приймальну рейку 11, тобто руху букси по траєкторії c_1c_2 , на виході другого фільтра 16 з'являється сигнал V_e , пропорційний

вертикальній швидкості букси 9. Від сигналу V_e спрацьовує перший нуль-орган 17, який своїм вихідним сигналом вмикає ключі 19 і 20 і вимикає ключ 18. При цьому на виході першого пристрою запам'ятовування 28 зберігається сигнал, пропорційний горизонтальній достиковій швидкості букси 9 відносно колеса 10, який поступає у вигляді сигналу V_1 на перший вхід обчислювального пристрою 3.

Вихідні сигнали V_z , V_e другого 19 і третього 20 ключів надходять на входи першого 21 і другого 22 блоків піднесення до квадрата. Після блока підсумовування 23 вихідний сигнал блока добування

квадратного кореня 24 $V_2 = \sqrt{V_z^2 + V_e^2}$ поступає на інформаційний вхід четвертого ключа 27 і далі на вхід другого пристрою запам'ятовування 29. При цьому четвертий ключ 27 вмикається вхідним сигналом другого нуль-органу 26, який спрацьовує при нульовому значенні вихідного сигналу блока диференціювання 25. Відповідно до закону зміни за часом швидкості V_2 вихідний сигнал блока диференціювання 25 матиме нульове значення в момент часу t_{max} (рис. 4), при якому швидкість V_2 набуває максимального значення V_{max} .

У пристрої датчики 7, 8 жорстко закріплені на правій буксі 9 колісної пари вагона-шляховимірювача 1. Перший вхід

блока виміру стикових швидкостей 5 з'єднано з виходом датчика стику 6 правого колеса 10. Другий і третій входи блока виміру стикових швидкостей 5 з'єднані з виходами датчиків 7, 8 відповідно. Перший і другий входи блока реєстрації 4 з'єднано з виходами вимірювача пройденого шляху 2 і обчислювального пристрою 3 відповідно. Тут приймальна та віддавальна рейки шляху відповідають позиціям 11, 12.

Рівняння, що характеризує зміну моменту кількості руху ($K_2 - K_1$) аналізованої механічної системи (рис. 1)

$$m_1 V_2 r + \frac{m_1 r^2}{2} \cdot \frac{V_2}{r} + m_2 V_1 h_2 - m_1 V_1 h_1 - \frac{m_1 r^2}{2} \cdot \frac{V_1}{r} - m_2 V_2 h_2 = 0, \quad (3)$$

де V_1, V_2 – швидкості руху колеса на фазах доударної і післяударної їх взаємодії;

$h_1 = r \cos \alpha_0$ – висота стику;

α_0 – кутова координата центра мас колеса;

h_2 – відстань між робочою поверхнею приймальної рейки й центром мас зведеної маси вагона.

З виразу (3) одержимо

$$V_2 = V_1(2 \cos \alpha_0 + 1)/3, \quad (4)$$

де післяударна швидкість $V_2 = V_1(2h_1/r + 1)/3$.

Після перетворення формули (4) отримаємо $h_1 = 3r(V_1 - V_2)/2V_1$.

У запропонованому обчислювальному пристрої 3 за закладеною в нього програмою, $h_1 = 3r(V_1 - V_2)/2V_1$, розрахо-

при проходженні колесом стику типу "зазор – ступінь вгору" [1, 2], має вигляд

$$K_1 - K_2 = \sum_{i=1}^n M_D(\bar{S}_i^E) = 0, \quad (2)$$

де $\sum_{i=1}^n M_D(\bar{S}_i^E)$ – сума прикладених до колеса моментів зовнішніх ударних імпульсів відносно точки D торкання колесом торця приймальної рейки.

Після перетворень формули (2) отримаємо

ується висота h_1 стику, що разом з даними про шлях S , який пройдено, від вимірювача 2 надходять у блок реєстрації 4. Блоком 4 реєстрації оформлюються дані про висоту h стику на відстані S від точки виміру у вигляді таблиці.

Висновки з дослідження. Розробка стосується колієвимірювальної техніки і може бути використана для контролю геометричних параметрів рейкових стиків залізничних і трамвайних колій. Застосування на практиці розглянутого пристрою забезпечує розширення функціональних можливостей, а також підвищення точності контролю стикових нерівностей рейкової колії і за рахунок цього підвищення ефективності контролю геометричних параметрів рейкового стику.

Список використаних джерел

1. Шпачук, В. П. Сتيкова динаміка трамвая [Текст]: монографія / В.П. Шпачук, В.Х. Далека, А.В. Коваленко. – Харків: ХНАМГ, 2005.– 150 с.

2. Шпачук, В. П. Динамічна взаємодія трамвая з рейковою колією при проходженні стикової нерівності колії [Текст] / В. П. Шпачук, О. О. Чупринін, Т. О. Супрун // Комунальне господарство міст. – 2012. – № 105. – С. 376-385.

3. Пристрій для виміру висоти рейкових стиків залізничної і трамвайної колій [Текст]: пат. 4874 Україна: МКІ Е01В35/00 / Шпачук В.П., Коваленко А.В., Чупринін О.О.; заявник та власник патенту Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова. – № 20040503535 ; заявл. 12.05.2004 ; опубл. 15.02.2005, Бюл. №2. – 7 с.

4. Пристрій для виміру і контролю геометричних параметрів рейкових стиків залізничної та трамвайної колій [Текст]: пат. 7936 Україна: МКІ Е01В35/00/ Шпачук В.П., Коваленко А.В., Личкатий Є.О., Чупринін О.О.; заявник та власник патенту Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова. – № 20041210466; заявл. 20.12.2004; опубл. 15.07.2005, Бюл. №7. – 5 с.

5. Пристрій для виміру висоти рейкових стиків залізничної і трамвайної колій [Текст]: пат. 91565 Україна: МКІ Е01В 35/00 / Шпачук В.П., Супрун Т.О., Кузнецов О.М., Рубаненко О.І., Кучеренко Б.В., Гудзловенко Л.О., ; заявник та власник патенту Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова. – №u2014 00979; заявл. 03.02.2014; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13. – 6 с.

6. Song, J. Numerical prediction of ground vibrations induced by high-speed trains including wheel–rail–soil coupled effects [Text] / Song Jian, Chen Gongqi, Yang Jun // International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering. — 2015. – Vol. 77. – P. 274–278.

7. Kuminek, T. A numerical analysis of the contact stress distribution and physical modelling of abrasive wear in the tram wheel-frog system [Text] / Tomasz Kuminek, Krzysztof Aniolek, Jakub Młyńczak // An International Journal on the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear. — 2015. – Vol. 328. – P. 177–185.

8. Meijaard, J. P. The Motion of a Railway Wheelset on a Track or on a Roller Rig [Text] / J. P. Meijaard // UTAM Symposium Analytical Methods in Nonlinear Dynamics. — 2016. – Vol. 19. – P. 274-281.

Супрун Тетяна Олександрівна, асистент кафедри теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. Тел.: (093) 417-09-93. E-mail: ms.suprun1989@mail.ru.

Suprun Tatiana Aleksandrovna, assistant of theoretical and structural mechanics O. M. Beketov national university of urban economy in Kharkov. Tel.: (093) 417-09-93. E-mail: ms.suprun1989@mail.ru.

Стаття прийнята 03.11.2016 р.

УДК 656.212.5

УДОСКОНАЛЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ТА ПІД'ЇЗНИХ КОЛІЙ ВЕЛИКИХ ПУБЛІЧНИХ АКЦІОНЕРНИХ ТОВАРИСТВ

Канд. техн. наук Д. В. Шумик, С. І. Пелешко, Н. І. Стронська

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ И ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЕЙ КРУПНЫХ ПУБЛИЧНЫХ АКЦИОНЕРНЫХ ОБЩЕСТВ

Канд. техн. наук Д. В. Шумик, С. И. Пелешко, Н. И. Стронская

IMPROVING INTERACTION SORTING STATIONS AND SIDINGS OF LARGE PUBLIC COMPANIES

Cand. of techn. sciences D. V. Shumyk, S. I. Peleshko, N. I. Stronsky

Розглянуто питання удосконалення взаємодії сортувальної станції та під'їзних колій великих публічних акціонерних товариств на основі логістичних підходів. Запропоновано графічну та математичну модель розрахунку оптимальної кількості вантажу в подачі з мінімальним розміром сукупних витрат.

Ключові слова: логістичні системи, моделювання, станція, під'їзні колії, системи підтримки прийняття рішень.

Рассмотрен вопрос совершенствования взаимодействия сортировочной станции и подъездных путей крупных публичных акционерных обществ на основе логистических подходов. Предложена графическая и математическая модель расчета оптимального количества груза в подаче с минимальным размером совокупных расходов.

Ключевые слова: логистические системы, моделирование, станция, подъездные пути, системы поддержки принятия решений.

The question of improving the interaction marshalling yard and sidings of large public companies based logistics approach. A graphic and the mathematical model for calculating the optimum amount of cargo in the supply of a minimum size of total expenditures.

The proposed model is a model of non-linear programming and is the basis for the formation of decision support systems (DSS) at the workstation (AWS) logistician linear rail transport management level.

Logistic approach to the problems of the process of interaction with the public companies will improve rail cargo transport service, reducing costs associated with transport organization and more efficient use of vehicles.

Keywords: logistics, modeling, station driveways, decision support systems.

Вступ. Відповідно до вимог Транспортної стратегії України [1] одним з основних напрямків інтеграції вітчизняної транспортної системи до світових транспортних систем є прискорення доставки вантажів від вантажовідправника до вантажоодержувача.

Одним з важливих факторів покращення роботи залізниць є удосконалення взаємодії станцій і під'їзних колій, тому що саме на під'їзних коліях відбувається затримка вагонів під вантажними операціями, яка негативно впливає на простій та оборот вантажного

вагона в цілому по залізниці та збільшує дефіцит рухомого складу.

Підприємства промислового залізничного транспорту (ППЗТ) або підприємства залізничного транспорту незагального користування (ЗТНК) є важливим елементом у виробничо-транспортному логістичному ланцюзі (ВТТЛ) переміщення матеріальних потоків, оскільки забезпечують безпосередню взаємодію з передачі вантажів між магістральними залізницями і власниками вантажу.

Робота ППЗТ або ЗТНК передбачає виконання широкого комплексу різних операцій із забезпечення перевезення вантажу. Станції, як правило, обслуговують великі підприємства, розташовані навколо. Передача вагонів на(з) під'їзні(них) колії(й) здійснюється поїзним порядком локомотивами під'їзних колій на умовах, передбачених договорами на обслуговування під'їзних колій і єдиним технологічним процесом роботи (ЄТП) станції з конкретними підприємствами.

В основному станції приймають на адресу під'їзних колій великих ПАТ такі вагонопотоки: маршрутизовані (наприклад для ПАТ «Запоріжжкокс», ПАТ «Запоріжсталь» – з вугіллям, рудою, флюсами) і немаршрутизовані (повагонні партії для ПАТ і його контрагентів – інші види сировини і готової продукції).

Маршрутизовані потоки передаються на під'їзні колії в тому самому складі, що й прибувають на станцію. Немаршрутизовані – вагони з вантажами, які прибувають у складі транзитних поїздів, підлягають розформуванню на сортувальній гірці.

На основі вищевказаного зазначимо, що на вид цільової функції впливає технічна і технологічна структура ВТЛЛ, а саме форма постачання (транзитна або за участю посередника – логістичного центру), номенклатура продукції, вид транспорту, методи організації перевезень (технологічні маршрути, повагонні партії), особливості технології виробництва.

У наш час транспортна система України включає понад 7 тисяч під'їзних колій загальною протяжністю понад 27 тис. км (для порівняння, експлуатаційна довжина магістральних залізничних шляхів становить 21,7 тис. км). При цьому технічне оснащення ППЗТ або ЗТНК деяких великих публічних акціонерних товариств (ПАТ) досить порівняти з оснащенням дирекцій залізничних перевезень на магістральному транспорті.

Як свідчить вітчизняний і закордонний досвід, удосконалення технології взаємодії станцій і під'їзних колій можна досягти за рахунок використання нових технологічних процесів і підвищення якості транспортно-логістичного обслуговування на основі сучасних вимог ВТЛЛ.

У даному випадку однією з особливостей, яка безпосередньо пов'язана з часом знаходження вагонів і вантажів на станції і на під'їзній колії, є узгодженість процесів переробки. Тому виникає необхідність формалізації процесу створення ВТЛЛ [2, 3].

Аналіз попередніх досліджень. Аналіз роботи залізниць України показує, що понад 90 % всіх вантажних операцій на сьогодні виконується саме на під'їзних коліях. У наш час істотно збільшився час знаходження вагонів на під'їзних коліях [4].

Причини такої ситуації можна сформулювати як невідповідність існуючої технології і технічного оснащення ППЗТ або ЗТНК, а також прийнятої системи організації взаємодії з магістральним транспортом новим ринковим умовам роботи. Нові умови ринкової економіки зажадали і нових підходів до вирішення виниклих проблем, пов'язаних з адаптацією до роботи в нових умовах.

Таким чином, на сьогодні, проблема вдосконалення роботи ППЗТ або ЗТНК у відповідності з новими умовами роботи є досить актуальною і вимагає комплексного підходу до свого вирішення. Серед сучасних досліджень на особливу увагу

заслужують роботи, що виконуються під керівництвом вчених УкрДУЗТ Т.В. Бутько, Д. В. Ломотька, А. М. Котенка, В. М. Запори. При цьому для дослідження роботи під'їзних колій використовуються потужні математичні моделі [5, 6], застосовуються нові підходи до визначення експлуатаційних показників роботи під'їзних колій [7, 8], розробляються концепції сучасних автоматизованих систем управління [9, 10].

Формулювання мети. Метою досліджень є визначення такого значення величини партії вантажу q_0 , яке б відповідало мінімальному значенню сумарних питомих витрат на всі логістичні операції або функції в межах ВТЛЛ при виконанні логістичних умов: «точно в строк», «у повній схоронності».

Основна частина. На подачу вагонів з боку великих ПАТ, наприклад ПАТ «Запоріжжкокс» і ПАТ «Запоріжсталь» і його контрагентів, впливає багато випадкових суб'єктивних факторів: часових, техногенних та ін.

Подачу необхідно виконувати з мінімальними витратами трудових, матеріальних і фінансових ресурсів. Відповідно до цих вимог необхідно визначити технологічні і технічні параметри ВТЛЛ, зокрема рівень запасів

вантажів на складах, масу подачі вантажу, потужності технічного оснащення вантажних фронтів, складів, ємність під'їзних колій, на яких знаходяться вагони як "сховища на колесах", та ін.

Виходячи з цього модель ВТЛЛ повинна складатись із цільової функції, що виражає витрати, які припадають на одиницю вантажу на всьому логістичному ланцюзі, і систему обмежень, яка включає виконання технічних, технологічних, логістичних і правових умов при перевезеннях. Тобто формально модель ВТЛЛ є моделлю математичного програмування [3, 11, 12].

Сформуємо модель функціонування ВТЛЛ, коли виробництво, транспортування і споживання відбуваються синхронно з режимом роботи ПАТ з випуску продукції, її навантаження, перевезення та споживання, що відповідає принципам функціонування японської логістичної системи «Канбан» [13]. Для початку формування математичної моделі в аналітичному вигляді сформуємо графоаналітичну модель процесів накопичення на сховищі у виробника, навантаження у вагони, надходження і споживання на підприємстві вантажоотримувача (рис. 1).

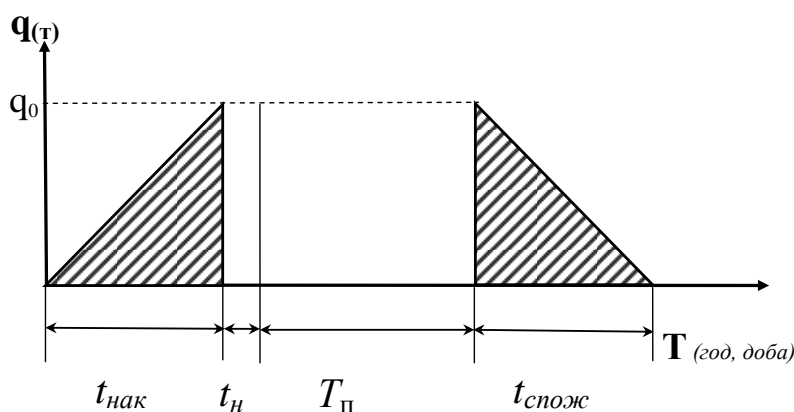


Рис. 1. Графоаналітична модель процесів накопичення, навантаження, перевезення та надходження продукції на сховище вантажоотримувача: $t_{нак}$ – час на накопичення партії продукції на сховищі виробника; $t_н$ – час на навантаження продукції у вагони; $T_п$ – час на перевезення; $t_{спож}$ – час на споживання продукції вантажоотримувачем

Розглянемо варіант роботи станції з під'їзними коліями при організації перевезень немаршрутизованими вантажами (повагонні партії) коли вантаж безперервно надходить на станцію в процесі виготовлення на ПАТ. Припустимо, що виробництво, навантаження, подача та формування

відбуваються синхронно і характеризується мінімальною потребою в запасі вантажу, а повагонні партії мають один тип вагонів. Формування цільової функції графоаналітичної моделі ВТЛЛ «ПАТ – Парк накопичення (П/Н) – Станція» в графічному вигляді представлено на рис. 2.

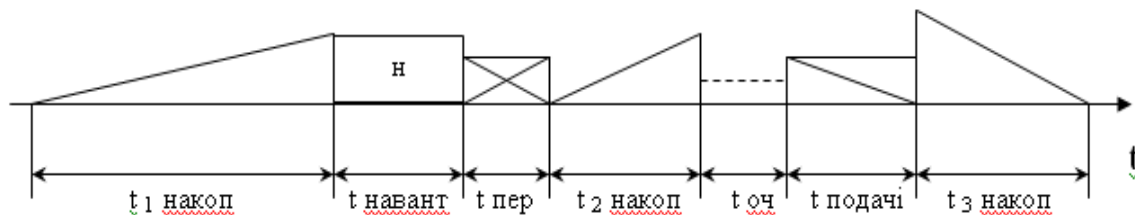


Рис. 2. Графічна модель ВТЛЛ «ПАТ – П/Н – Станція»:

$t_{1\text{накоп}}$ – час накопичення вагонів на ПАТ; $t_{\text{навант}}$ – час навантаження вагонів; $t_{\text{пер}}$ – час перестановки вагонів у П/Н; $t_{2\text{накоп}}$ – час накопичення вагонів у П/Н; $t_{\text{оч}}$ – регламентований час очікування перед подачею вагонів на станцію; $t_{\text{подачі}}$ – час подачі вагонів на станцію; $t_{3\text{накоп}}$ – час накопичення вагонів на станції

Формалізацію цих процесів проведено в умовах, що в пункті навантаження є постійний запас порожніх вагонів. З урахуванням вищенаведених особливостей сукупні витрати, що припадають на одиницю вантажу, при виконанні всіх операцій у ланцюгу можна виразити такою цільовою функцією:

$$C(q) = \sum_{i=1}^n C_i \rightarrow \min \quad (1)$$

До сукупних витрат належать витрати вагоно-годин простою при навантаженні партії вантажу q :

$$C_1 = 24 \cdot \frac{q^2 \cdot C_v}{Q_{\text{П}} \cdot q_{\text{см}}}, \quad (2)$$

де C_v – вартість вагоно-годин простою вагона, грн/ваг.год;

$q_{\text{ст}}$ – середнє статичне навантаження на вагон, т/ваг;

q – маса вантажу в подачі, т;

$Q_{\text{П}}$ – продуктивність підприємства, т/доба.

Витрати на утримання вантажу у вагонах при накопиченні на подачу складають

$$C_2 = \frac{C_x \cdot q^2}{2Q_{\text{П}}}, \quad (3)$$

де C_x – вартість схоронності одиниці вантажу у вагоні, грн/т доба.

Витрати на початкові та інформаційні операції

$$C_3 = \frac{f_n \cdot q}{q_{\text{см}}}, \quad (4)$$

де $f_{п}$ – витрати на початкові та інформаційні операції на всю транспортну партію, грн/ваг.

Витрати на переміщення вантажу з ПАТ в П/Н

$$C_4 = t_{пер1} \cdot \left(\frac{C_x \cdot q}{24} + 2C_{лз} \right), \quad (5)$$

де $C_{лз}$ – вартість локомотиво-години маневрової роботи, грн/год;

$t_{пер1}$ – час на переміщення вагонів з ПАТ в П/Н, год.

Витрати на накопичення вагонів у П/Н

$$C_5 = \frac{q}{q_{см}} \cdot C_6 \cdot \left(24 \cdot \frac{n_{нав} + n_{пор}}{Q_{П/Н}} + t_{оч} \right), \quad (6)$$

де $n_{нав}$ та $n_{пор}$ – кількість навантажених і порожніх вагонів у подачі, ваг;

$Q_{П/Н}$ – продуктивність П/Н, ваг/доба;

$t_{оч}$ – час очікування, пов'язаний з регламентом роботи, год.

Кількість навантажених вагонів у подачі визначається за формулою

$$n_{нав} = \frac{q}{q_{см}} + n_{нав.П/Н}, \quad (7)$$

де $n_{нав.П/Н}$ – кількість навантажених вагонів з П/Н, ваг.

Витрати на переміщення вантажу з П/Н на станцію

$$C(q) = \frac{24 \cdot q^2 \cdot C_{в.пор}}{Q_n \cdot q_{см}} + \frac{q^2 \cdot C_x}{2Q_n} + \frac{f_n \cdot q}{q_{см}} + t_{пер1} \cdot \left(\frac{C_x \cdot q}{24} + 24 \cdot C_{лз} \right) + \frac{q \cdot C_{в.нав}}{q_{пор}} \times \left(24 \frac{\frac{q}{q_{см}} + n_{нав.П/Н} + n_{пор}}{Q_{П/Н}} + t_{оч} \right) + t_{пер2} \cdot \left(\frac{C_x \cdot q}{24} + 2C_{лз} \right) + \frac{f_k \cdot q}{q_{см}} + \left(\frac{C_x \cdot q}{24} + C_{лз} \right) \cdot t_{ман} +$$

$$C_6 = t_{пер2} \cdot \left(\frac{C_x \cdot q}{24} + 2C_{лз} \right), \quad (8)$$

де $t_{пер2}$ – час на переміщення вагонів з П/Н в ПАТ, год.

Витрати на інформаційні та кінцеві операції

$$C_7 = \frac{f_k \cdot q}{q_{см}}, \quad (9)$$

де f_k – витрати на кінцеві та інформаційні операції на всю транспортну партію, грн/ваг.

Витрати на маневрові та комерційні операції

$$C_8 = \left(\frac{C_x \cdot q}{24} + C_{лз} \right) \cdot t_{ман} + C_6 \cdot \frac{q}{q_{см}} \cdot t_{ко}, \quad (10)$$

де $t_{ман}$ – час на виконання маневрових операцій, год;

$t_{ко}$ – час на виконання комерційного огляду, год.

Витрати на накопичення вагонів на станції

$$C_9 = \frac{24 \cdot q \cdot C_6}{q_{см} \cdot m}, \quad (11)$$

де m – продуктивність вантажної станції, поїзд/доба.

В остаточному вигляді модель функціонування ВТЛЛ має вигляд

$$+ C_{в.нав} \cdot \frac{q}{q_{см}} \cdot t_{ко} + \frac{24 \cdot q \cdot C_{в.нав}}{q_{см} \cdot m} \Rightarrow \min \quad (12)$$

Система обмежень, що забезпечує виконання технічних, технологічних, логістичних і правових умов, має такий вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 < q \leq q_{\max} - \text{маса вантажу не повинна перевищувати продуктивність підприємства} \\ (\text{q}_{\max} = Qn) \text{ і має бути більше нуля;} \\ n_{нав} + n_{пор} \leq n_{фр} - \text{кількість вагонів у подачі має бути не більше фронту навантаження,} \\ \text{вагонів;} \\ n_{нав} \leq n_{фр} - \text{кількість навантажених вагонів у подачі має бути не більше фронту} \\ \text{навантаження, вагонів;} \\ m_{ПФП \min} \leq m \leq m_{ПФП \max} - \text{продуктивність станції має бути в межах плану формування} \\ \text{поїздів.} \end{array} \right.$$

Спростимо цей вираз для цільової функції:

$$\begin{aligned} C(q) = q^2 \left(\frac{24 \cdot C_{в.пор}}{Q_n \cdot q_{см}} + \frac{C_x}{2 \cdot Q_n} + \frac{24}{q_{см}^2 \cdot Q_{П/Н}} \right) + q \left[\frac{C_{в} \cdot (t_{оч} + t_{ко}) + f_n + f_k}{q_{см}} + \right. \\ \left. + \frac{C_x \cdot (2 \cdot t_{неp2} + t_{ман})}{24} + \frac{24 \cdot C_{в} \cdot (n_{нав.П/Н} + n_{пор})}{q_{см} \cdot Q_{П/Н}} + \frac{24 \cdot C_{в}}{q_{см} \cdot m} \right] + \\ + (2 \cdot C_{лз} \cdot t_{неp1} + 2 \cdot C_{лз} \cdot t_{неp2} + C_{лз} \cdot t_{ман}) \Rightarrow \min \end{aligned} \quad (13)$$

Введемо позначення

$$A = \left(\frac{24 \cdot C_{в.пор}}{Q_n \cdot q_{см}} + \frac{C_x}{2 \cdot Q_n} + \frac{24}{q_{см}^2 \cdot Q_{П/Н}} \right), \quad (14)$$

$$B = \left[\frac{C_{в} \cdot (t_{оч} + t_{ко}) + f_n + f_k}{q_{см}} + \frac{C_x \cdot (2 \cdot t_{неp2} + t_{ман})}{24} + \frac{24 \cdot C_{в} \cdot (n_{нав.П/Н} + n_{пор})}{q_{см} \cdot Q_{П/Н}} + \frac{24 \cdot C_{в}}{q_{см} \cdot m} \right], \quad (15)$$

$$D = (2 \cdot C_{лз} \cdot t_{неp1} + 2 \cdot C_{лз} \cdot t_{неp2} + C_{лз} \cdot t_{ман}) \Rightarrow \min \quad (16)$$

Таким чином отримаємо

$$C(q) = q^2 \cdot A + q \cdot B + D \Rightarrow \min \quad (17)$$

Сформована модель являє собою модель нелінійного програмування і є основою при формуванні СППР на АРМ

логіста лінійного рівня управління залізничними перевезеннями.

Для інформаційного супроводу матеріального потоку формується відповідна інформаційно-керуюча система (ІКС) на ПЕОМ з використанням генератора підтримки прийняття рішень (ГППР) Microsoft Office Excel або іншого програмного продукту з отриманням оптимального значення величини партії вантажу q_0 як у цифровому значенні, так і в графічному вигляді (рис. 3 та 4).

Розглянутий вплив кількості партії вантажу на розмір сукупних витрат можна описати за поліноміальним законом розподілу.

Таким чином, виходячи з розрахунку, можна судити про те, що на величину сукупних затрат більшою мірою впливає схоронність вантажу у вагоні як при переміщенні, так і при простой вагонів, меншою мірою впливають затрати на експлуатацію локомотива.

Виходячи з цільової функції видно, що її елементи є додатними числами, а отже, у будь-якому випадку при збільшенні кількості вантажу будуть зростати і сукупні витрати.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному

напрямку. Підвищення ефективності взаємодії станції та під'їзних колій є актуальним завданням, яке потребує подальшого пошуку ефективних рішень. Оскільки сортувальні станції у взаємодії з поїзними коліями являють собою нечітку систему, то при формалізації завдання пропонується використовувати генетичні алгоритми. Удосконалення технології взаємодії станції та під'їзних колій можливо при диференційованому підході до кожного вантажовідправника та вантажоодержувача. Тому при визначенні порядку обслуговування клієнтів пропонується враховувати кількість вагонів різних типів, що прибувають чи відправляються, обсяги навантаження та вивантаження на окремих під'їзних коліях, нерівномірність надходження місцевих вагонопотоків на станцію та інші фактори.

Логістичний підхід до проблем технологічної взаємодії ПАТ із залізничним транспортом дозволить покращити транспортне обслуговування вантажовласників, зменшить витрати, пов'язані з організацією перевезень, і підвищить ефективність використання транспортних засобів.

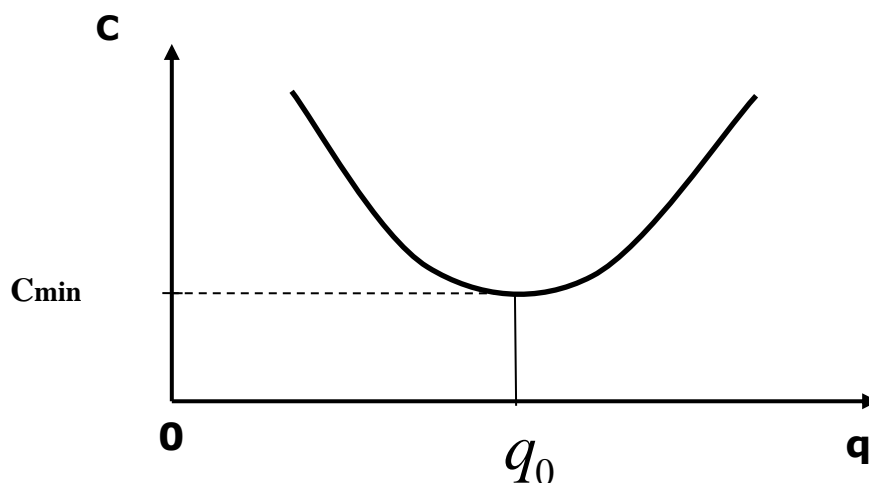


Рис. 3. Графічна інтерпретація визначення оптимальної партії вантажу q_0

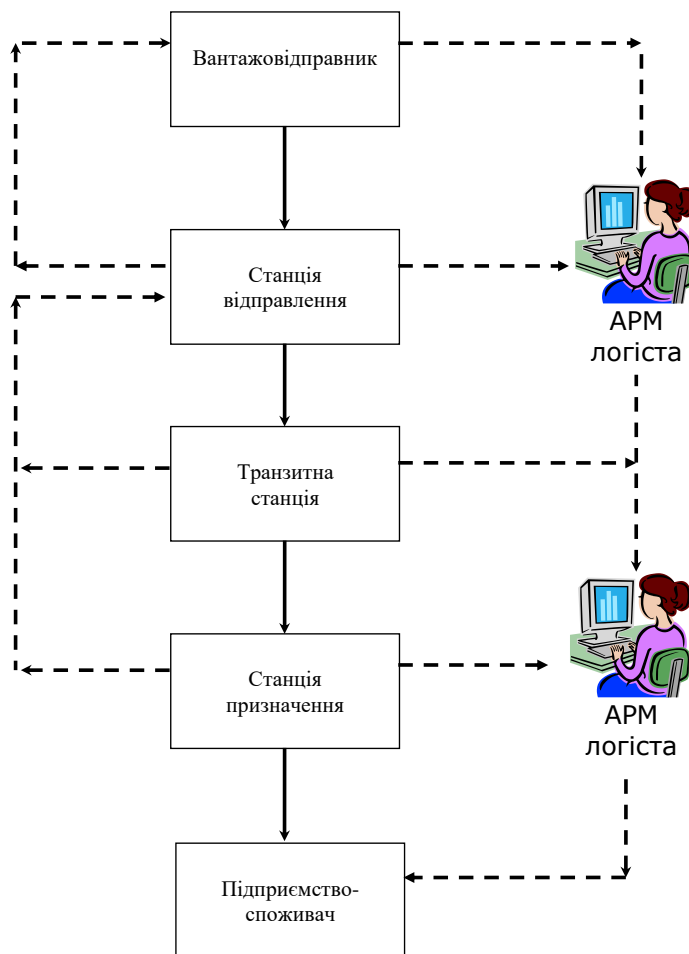


Рис. 4. Структурно-функціональна схема ІКС у виробничо-транспортному логістичному ланцюзі (ВТЛЛ) із зазначенням АРМ логіста

Список використаних джерел

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80>: схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174.
2. Iannone, F. The private and social cost efficiency of port hinterland container distribution through a regional logistics system [Text] // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – November 2012. – Vol. 46, is. 9. P. – 1424-1448.
3. Бутько, Т. В. Совершенствование совместной работы портов и железнодорожных узлов на основе логистических методов [Текст] / Т. В. Бутько, Д. В. Ломотько, Т. В. Головка // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 3/6(27). – С. 10-16.
4. Мілецька, І. М. Дослідження показників вантажної роботи на місцях незагального користування в умовах підприємства Д [Текст] / І. М. Мілецька // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 118. – С. 220-225.
5. Бутько, Т. В. Формування логістичної моделі обслуговування масових вантажів залізничним транспортом незагального користування (Частина 1) [Текст] / Т. В. Бутько, Д. В. Ломотько, Є. В. Сушарін // Інформарційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 1. – С. 55-59.

6. Бутько, Т. В. Удосконалення взаємодії підсистем у системах транспортно-логістичного обслуговування масових вантажів залізничним транспортом [Текст] / Т. В. Бутько, Д. В. Ломотько, Є. В. Сушарін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 3. – С. 24-29.
7. Данько, М. І. Удосконалення логістичних послуг місцевої роботи у перевізному процесі при взаємодії вантажовласників та залізниць України [Текст] / М. І. Данько, А. М. Котенко, А. В. Кулешов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С. 7-16.
8. Ковальов, А. О. Визначення нормувального часу перебування вагонів на під'їзних коліях [Текст] / А. О. Ковальов, Л. І. Сиром'ятникова // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 128. – С. 65-68.
9. Бутько, Т. В. Формування логістичних технологій на базі інформаційно-керуючої системи підприємствами промислового залізничного транспорту [Текст] / Т. В. Бутько, Д. В. Ломотько, В. І. Панкратов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 1. – С. 44-48.
10. Ломотько, Д. В. Удосконалення переробки масових вантажів залізничним транспортом в умовах створення інформаційно-керуючої системи [Текст] / Д. В. Ломотько, О. Є. Кльосов, С. Г. Корнійчук // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 120. – С. 119-125.
11. Малахова, О. А. Взаємодія станції та під'їзної колії на основі принципів логістики [Текст] / О. А. Малахова, В. В. Ковбаса // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 112. – С. 153-157.
12. Сіконенко, Г. М. Раціоналізація місцевої роботи станції на основі принципів логістики [Текст] / Г. М. Сіконенко, С. О. Мозговий // Зб. наук. праць НТУ «ХП», 2010. – Вип. 57. – С. 229-235.
13. Пономарьов, Ю. В. Логістика [Текст]: навч. посібник / Ю. В. Пономарьов. – К.: ЦНЛ, 2003. – 189 с.

Шумик Данило Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-88. E-mail: sdanil@ukr.net.
Пелешко Сергій Ігорович, слухач ІППК УкрДУЗТ, група МЗ ОПУТ-Б-14. Тел.: (066) 69-09-431.
E-mail: sergeipeleshko@mail.ru.
Стронська Надія Іванівна, магістр УкрДУЗТ, група 23-IV-ОПУТ. Тел.: (068) 30-15-493.
E-mail: stronskaya.nadya@mail.ru.

Shumyk Danylo V. Ph.D., Associate Professor, Department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-88. E-mail: sdanil@ukr.net.
Peleshko Sergei I., listener IPPK UkrSURT, group M3 OPYT-B-14. Tel.: (066) 69-09-431.
E-mail: sergeipeleshko@mail.ru.
Stronskaya Nadiya I. Master UkrSURT, group 23-IV-OPYT. Tel.: (068) 30-15-493. E-mail: stronskaya.nadya@mail.ru.

Стаття прийнята 03.11.2016 р.

УДК 624.012.45:624.023.87

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЕ ПЛОСКИЕ МОДЕЛИ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ СЦЕПЛЕНИЯ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ, ИХ СРАВНЕНИЕ И АНАЛИЗ

Д-р техн. наук В. И. Колчунов, канд. техн. наук И. А. Яковенко,
асп. Е. А. Дмитренко

СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНІ ПЛОСКІ МОДЕЛІ НЕЛІНІЙНОЇ ЗАДАЧІ ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРИ З БЕТОНОМ, ЇХ ПОРІВНЯННЯ І АНАЛІЗ

Д-р техн. наук В. І. Колчунов, канд. техн. наук І. А. Яковенко,
асп. Е. А. Дмитренко

FINITE-ELEMENT PLANE MODELS OF NONLINEAR PROBLEMS BOND ARMATURE WITH CONCRETE, THEIR COMPARISON AND ANALYSIS

Dr. sc. sciences V.I. Kolchunov, phd. tech. I. A. Yakovenko,
sciences pg. E. A. Dmytrenko

Рассмотрены плоские конечно-элементные модели нелинейной задачи сцепления арматуры с бетоном, включающие модель с элементами сцепления, работающими на сдвиг, модель со специальными стержневыми элементами и модель со специальными пластинчатыми элементами в программном комплексе Лира-САПР. Построен и выполнен сопоставительный анализ основных зависимостей распределения касательных напряжений сцепления по длине стержня, перемещения бетонной части торца, продольных усилий и деформаций в арматуре и бетонных конечных элементов, примыкающих к арматуре, смещений арматуры относительно бетона по длине стержня.

Ключевые слова: сцепление арматуры с бетоном, нелинейная задача сцепления, плоская конечно-элементная модель, сопоставительный анализ.

Розглянуто плоскі скінченно-елементні моделі нелінійної задачі зчеплення арматури з бетоном, що включають модель з елементами зчеплення, які працюють на зсув, модель зі спеціальними стрижневими елементами і модель зі спеціальними пластинчастими елементами в програмному комплексі Ліра-САПР. Побудовано та виконано порівняльний аналіз основних залежностей розподілу дотичних напружень зчеплення по довжині стрижня, переміщення бетонної частини торця, поздовжніх зусиль і деформацій в арматурі і бетонних скінченних елементів, які примикають до арматури, зсувів арматури відносно бетону по довжині стрижня.

Ключові слова: зчеплення арматури з бетоном, нелінійна задача зчеплення, плоска скінченно-елементна модель, порівняльний аналіз.

It is considered the plane finite element models of the nonlinear problem of bond armature with concrete, including model with bond elements, shear model with special core elements and the model with the special plate elements in the software package Lira-CAD. It is built and made a comparative analysis of the key dependencies distribution of tangential bond stress along the length of the rod, move the end of the concrete, longitudinal forces and strains in the reinforcement of concrete and finite element adjacent to the valve, the valve displacement relative to the concrete along the length of the rod.

Analysis of the graphs force distribution, deformation in the concrete, armature, in their contact zone, the length of the bar shows that the most close to the analytical model from the values of the above parameters and shape of the curve was one-axial three-element model. The most accurate model is the model with the bond elements in the form of rod FE210, the shear model with flat bond elements FE284.

Keywords: *bond armature with concrete, nonlinear problem of bond, flat finite element model, comparative analysis.*

Введение. В железобетоне сцепление арматуры с бетоном обеспечивает совместную работу этих разномодульных материалов. Поэтому проблема сцепления арматуры с бетоном является основополагающей в сопротивлении железобетонных конструкций силовым и деформационным воздействиям. Этой проблеме уделяется большое внимание.

Анализ последних исследований и публикаций. Для решения различных задач, связанных со сцеплением арматуры с бетоном, в нашей стране и за рубежом проведены обширные экспериментально-теоретические исследования. Однако анализ исследований в области сцепления арматуры с бетоном свидетельствует о неоднозначности подходов к решению этой проблемы и об отсутствии единой теоретически обоснованной методики расчета [1–6].

Снижение связей сцепления арматуры с бетоном приводит к чрезмерному раскрытию трещин, увеличению податливости и снижению несущей способности конструкции [1]. Выяснение закономерности контакта бетона и арматуры при передаче растягивающих усилий через арматуру в условиях трещинообразования является одной из важнейших задач железобетона [2, 3].

Случай центрального армирования одним стержнем при выдергивании его из бетонной матрицы наиболее полно раскрывает закономерность, проявляющуюся при выдергивании арматурного стержня из бетонного блока (представительного объема в виде призмы с арматурным стержнем), которая является одной из важнейших задач строительной

механики железобетона при наличии дискретных трещин [4, 5]. К этому случаю точно или приближенно сводятся все виды армирования железобетонных конструкций системой арматурных стержней [2, 3].

Процесс разрушения связей сцепления арматуры с бетоном при выдергивании арматурного стержня из бетонной матрицы представляет собой сложный многостадийный процесс, сопровождающийся присутствием неоднородного и неупругого деформирования, нарушением адгезионных связей, возникновением и развитием трещин различной формы и ориентации, наличием изменяющихся зон контакта. Для корректного решения данной задачи необходимо использовать достоверные аналитические модели, описывающие взаимодействие арматуры с бетоном, которое характеризуется силами сцепления [2–4].

Определение цели и задачи исследований. В данной статье авторами разработаны три плоскостные модели железобетонного призматического стержня, центрально-армированного стержневой горячекатаной арматурой, выдергиваемой из бетонной матрицы:

– плоская модель с элементами сцепления, работающими на сдвиг (подробное описание модели в данной работе [7]);

– плоская модель со специальными стержневыми элементами (КЭ264 в ПК Лира-САПР);

– плоская модель со специальными пластинчатыми элементами (КЭ284 в ПК Лира-САПР).

Построены и проанализированы графики распределения продольных

усилий, перемещений и деформаций, действующих в различных сечениях по длине стержня в рассматриваемых моделях и моделях других авторов [8–10].

Основная часть исследования. Общие исходные данные для построения моделей. Исходные данные для моделирования плоской задачи сцепления представлены в таблице.

Модель железобетонного стержня с выдергиваемой арматурой из бетонной матрицы представляет собой плоскую конечно-элементную задачу, состоящую из

бетонных пластинчатых элементов (физически нелинейных четырехугольных КЭ плоской задачи (балка-стенка) КЭ230) с размерами 10×10 мм (в плоскости XoY), на которые разбит весь исследуемый элемент высотой 150 мм, за исключением пластинчатых элементов, моделирующих арматуру. Элементы, моделирующие арматуру Ø10 класса А400С (четырёхугольный КЭ плоской задачи (балка-стенка) КЭ30), имеют размер 5×10 мм и примыкают с обеих сторон к продольной оси элемента (рис. 1, а).

Таблица

Исходные данные для моделирования плоской задачи сцепления

Характеристика	Значение	Характеристика	Значение
E_s (арматура класса А400С)	$2 \cdot 10^5$ МПа	Растягивающее усилие N_s	10 кН
E_{cm} (бетон класса С16/20)	$2,7 \cdot 10^4$ МПа	Диаметр арматуры	10 мм
Высота пластины h	150 мм	Коэффициент Пуассона для арматуры ν_s	0,3
Предел прочности бетона при растяжении f_{ctm}	2 МПа	Коэффициент Пуассона для бетона ν_c	0,2
Предел прочности бетона при сжатии f_c	15 МПа		

Толщина пластинчатых бетонных элементов принята равной 33 мм (3d арматуры) из соображений актуальности исследования работы арматуры и околоарматурной зоны, а не всего элемента. Также этот размер принят из условия минимально допустимого соотношения сторон конечного элемента в ПК Лири-САПР, равного 1:3.

Жесткость физически нелинейных пластинчатых бетонных элементов

задавалась путем введения 14 кусочно-линейного закона деформирования бетона (рис. 1–3), после включения меню “Учет нелинейности” в меню “Задание жесткости для пластин” / “Задание стандартного сечения”.

Жесткость арматурных элементов задавалась как для упругих пластин толщиной 1 см путем введения характеристик, указанных в таблице, в меню “Задание жесткости для пластин”.

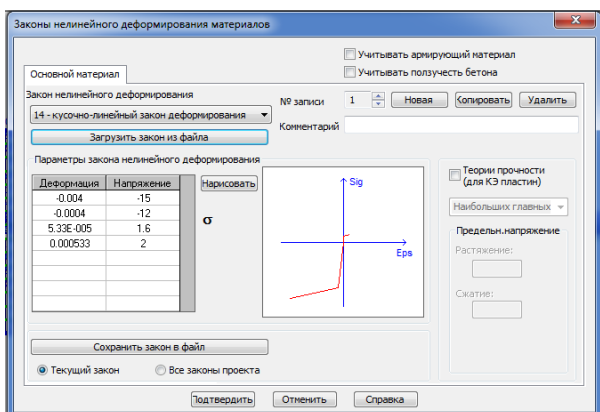


Рис. 1. Введение законов деформирования основного материала для пластинчатых элементов, моделирующих работу бетона в модели (единица измерения – МПа)

Плоская модель с элементами сцепления, работающими на сдвиг. Элементы сцепления имеют длину 10 мм и квадратное сечение 30×30 мм, с одной стороны закрепляются к арматурному КЭ, с другой стороны – к бетонному, и, таким образом, при выдергивании арматуры из бетона работают на сдвиг (рис. 3, а). Размеры поперечного сечения элементов сцепления приняты из соображений учета площади околоарматурного слоя, в котором происходят процессы взаимодействия арматуры и бетона.

Для улучшения защемления элементов сцепления к пластинчатым бетонным и арматурным элементам вводятся дополнительные элементы, расположенные на одной оси с элементами сцепления. Таким образом, каждое сцепление имеет два вспомогательных элемента (КЭ210), один из которых соединяет его с бетоном (задний), другой с арматурой (передний). Длина вспомогательных элементов элементов сцепления – 10 и 5 мм соответственно (рис. 4), размеры поперечного сечения

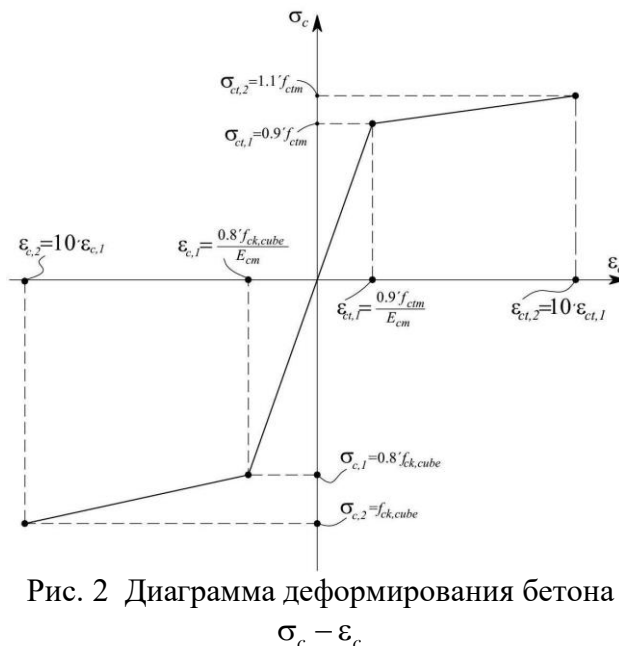


Рис. 2 Диаграмма деформирования бетона $\sigma_c - \varepsilon_c$

такие же, как и у основных элементов сцепления (рис. 3, б).

Моделирование элементов сцепления – физически нелинейных стержневых конечных элементов сцепления КЭ210 (в том числе и вспомогательных элементов сцепления) – осуществляется путем размещения их перпендикулярно действующей нагрузке. Арматурные конечные элементы не сдвигаются относительно бетонных, а их парные узлы не объединяются в один общий узел, хотя и полностью совпадают по координатам, и основной элемент сцепления с одной стороны присоединяется к узлу арматурного элемента, с другой стороны – к узлу бетонного элемента. Схема рассчитывается без упаковки узлов.

Жесткость физически нелинейных стержневых элементов КЭ210 задавалась путем введения 14 кусочно-линейного закона деформирования бетона (рис. 5, 6) после включения меню “Учет нелинейности” в меню “Задание жесткости для пластин” / “Задание стандартного сечения”.

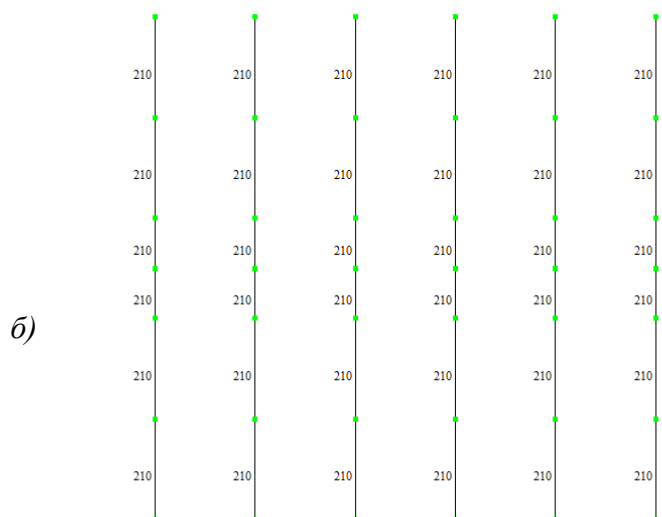
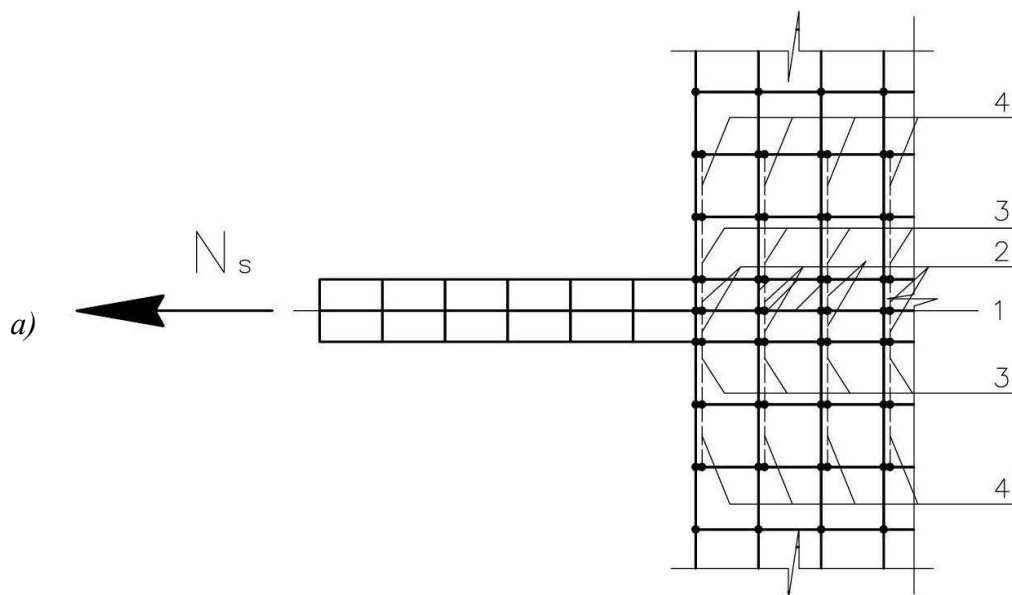


Рис. 3. Основные и вспомогательные элементы сцепления при сопряжении с элементами модели (а) и выделенные элементы по отдельности (б):
 1 – продольная ось;
 2 – вспомогательные элементы сцепления КЭ210, соединяющие основные элементы КЭ264 с арматурными;
 3 – основные элементы сцепления КЭ210;
 4 – вспомогательные элементы сцепления КЭ210, соединяющие основные элементы КЭ264 с бетонными

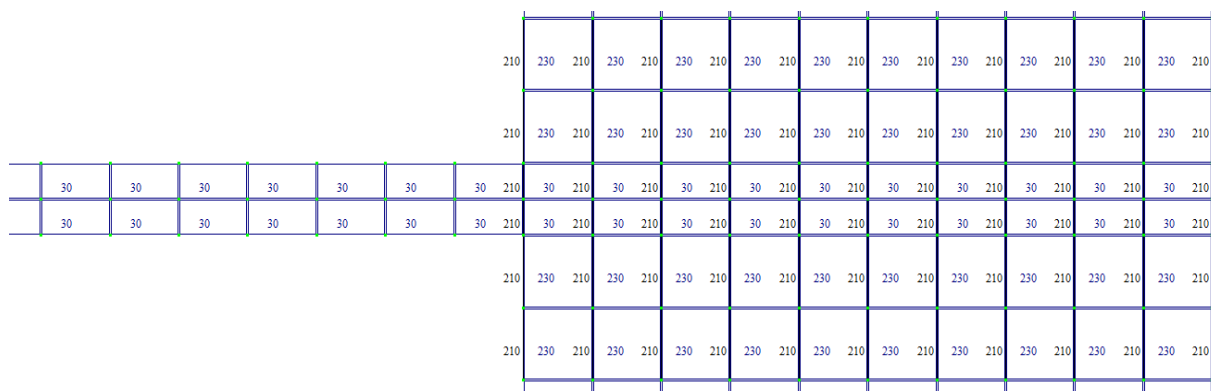


Рис. 4. Зона контакта КЭ арматуры, бетона и элементов сцепления, работающими на сдвиг, в расчетной схеме модели в ПК Лира-САПР

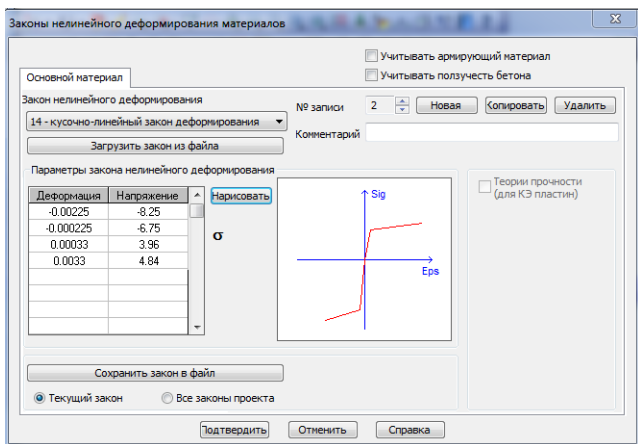


Рис. 5. Введение закона деформирования основного материала для стержневых элементов, моделирующих сцепление в модели (единица измерения – МПа)

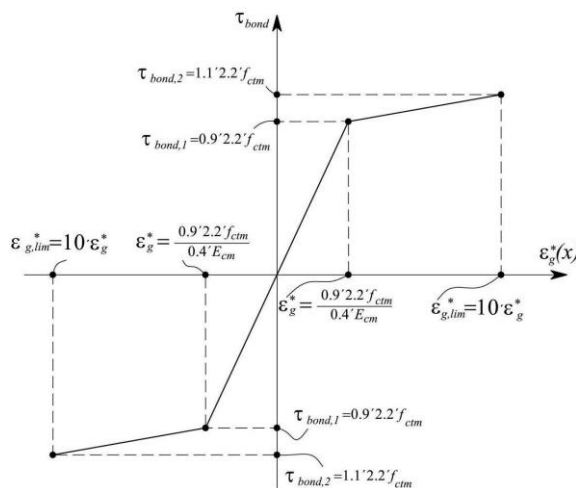


Рис. 6. Зависимость напряжений сцепления τ_{bond} от относительных взаимных смещений $\varepsilon_g^*(x)$

В середине моделируемого элемента, в узле арматурного КЭ, находящегося по оси симметрии, вводим опорное закрепление по оси Y . В четырех узлах, равноудаленных от этого узла на расстояние 50 мм в продольном

направлении и на ± 75 мм в поперечном, вводим опорные закрепления по оси X (рис. 7, а). Такое расположение опор препятствует повороту элемента в плоскости XOY .

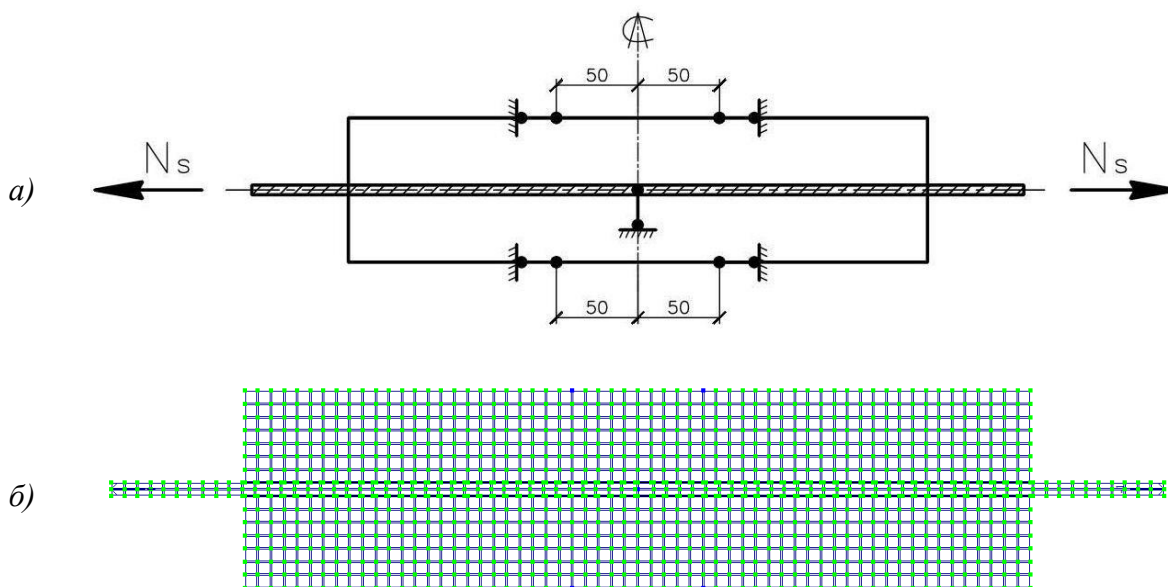


Рис. 7. Плоская модель сцепления арматуры с бетоном: а – схема расположения опор; б – расчетная схема модели в ПК Лира-САПР

Плоская модель со специальными стержневыми элементами (КЭ264). Элементами сцепления в данной модели являются специальные двухузловые односторонние элементы трения (КЭ264), расположенные перпендикулярно действующей нагрузке, в предварительно созданном зазоре по контакту между арматурными и бетонными конечными

элементами, равном 5 мм (рис. 9). Для корректной работы этих элементов необходимо приложение дополнительной вертикальной нагрузки, действующей по длине по обеим граням всего образца. Такая нагрузка задается в каждом узле по верхней и нижней граням образца и равна 3,63 кН (рис. 8, б).

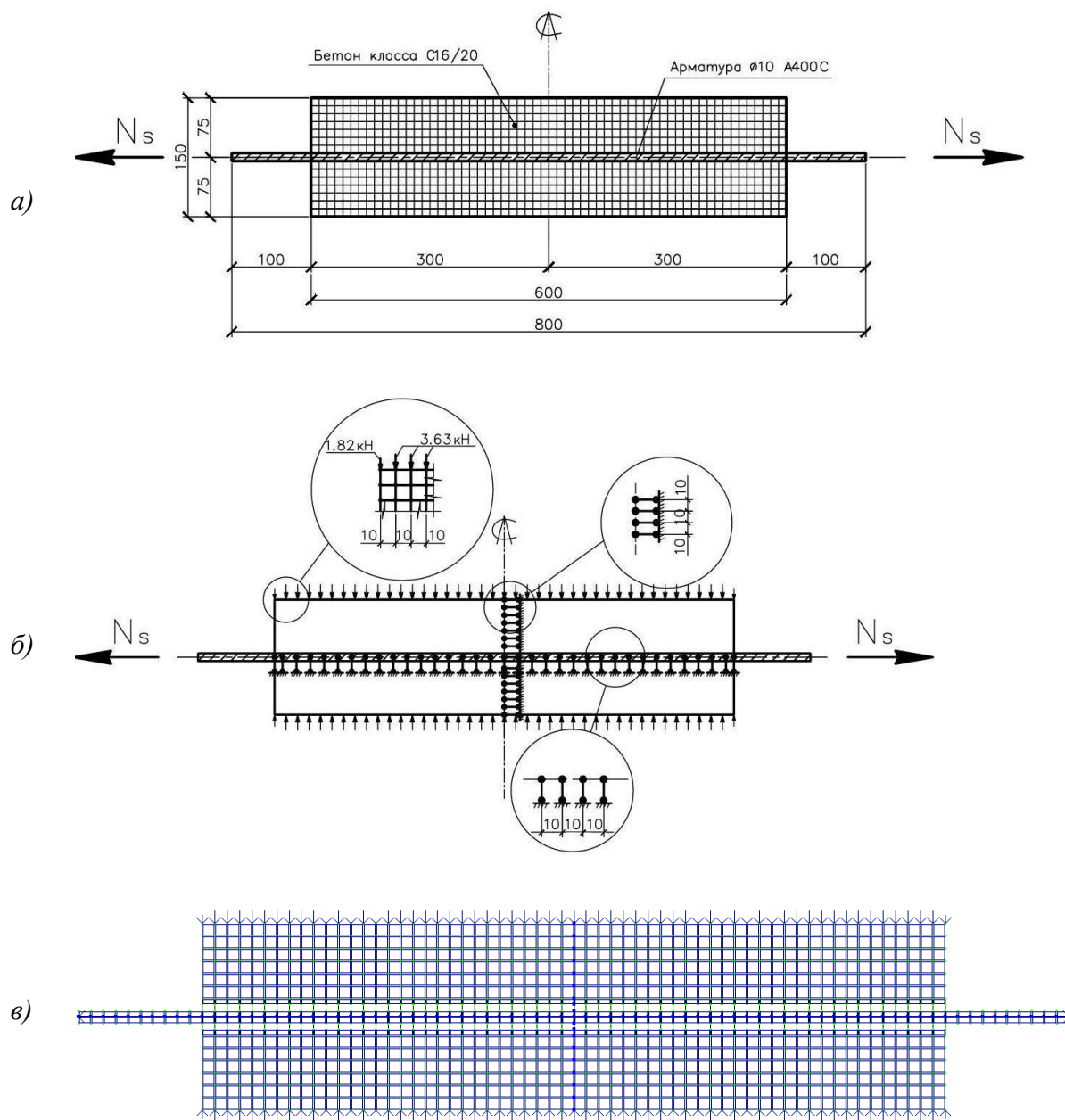


Рис. 8. Плоская модель сцепления арматуры с бетоном: а – общий вид модели; б – схема расположения опор и нагрузка; в – расчетная схема модели в ПК Лира-САПР

Для улучшения заземления элементов сцепления к пластинчатым бетонным и арматурным элементам, вводятся дополнительные элементы, расположенные на одной оси с элементами сцепления. Таким образом, каждый

сцепления имеет два вспомогательных элемента (КЭ264), один из которых соединяет его с бетоном (задний), другой с арматурой (передний). Длина вспомогательных элементов элементов сцепления – 5 мм (рис. 9, а).

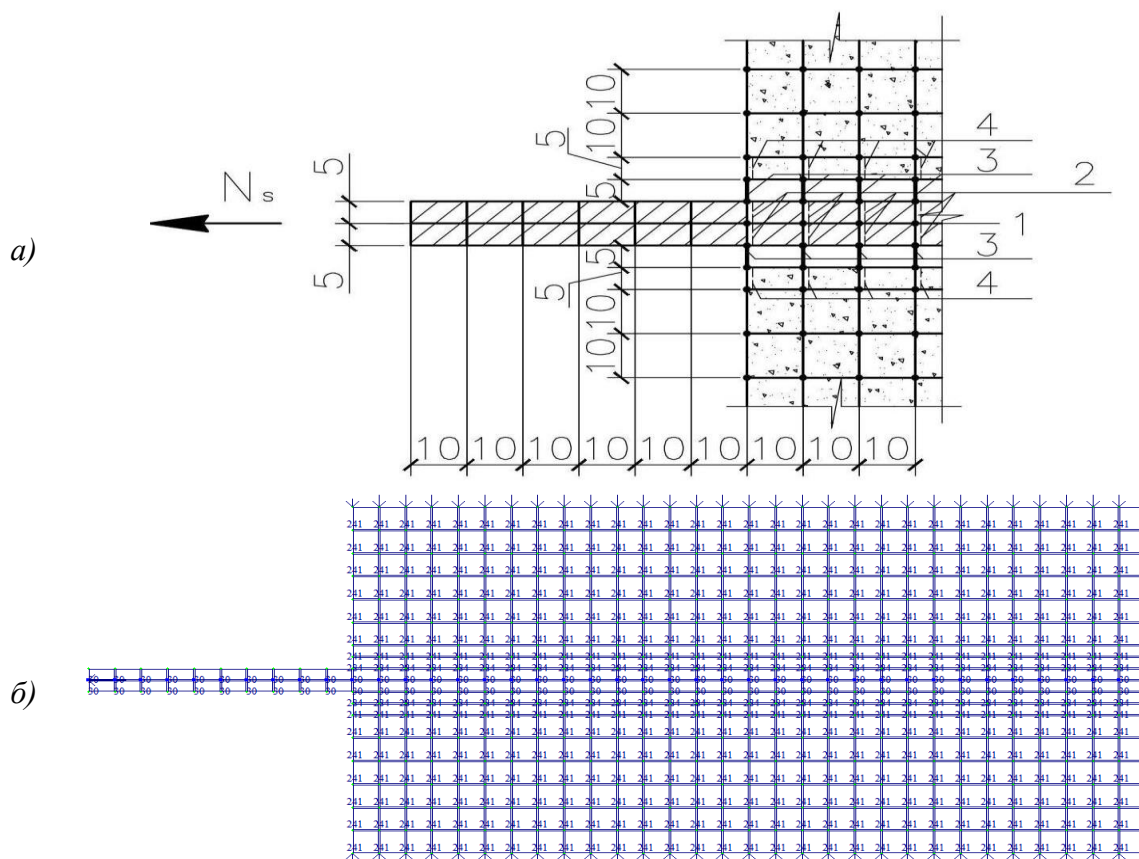


Рис. 9. Расположение элементов сцепления в модели с КЭ264:

- а – схематически; б – в интерфейсе ПК Лира-САПР (левая половина образца);
- 1 – продольная ось; 2 – вспомогательные элементы сцепления КЭ264, соединяющие основные элементы КЭ264 с арматурными;
- 3 – основные элементы сцепления КЭ264;
- 4 – вспомогательные элементы сцепления КЭ264, соединяющие основные элементы КЭ264 с бетонными

Жесткость специальных стержневых элементов вводится через меню “Численное описание КЭ264” (рис. 10, а, б), при этом задаются:

- осевая жесткость, кН/м,

$$G = \frac{E_{cm} \cdot A_c}{l}, \quad (1)$$

где G – осевая жесткость, кН/м;

A_c – площадь сечения специального конечного элемента сцепления КЭ264, размеры которого приняты 30×10 мм;

l – длина КЭ264, равная 5 мм;

– коэффициент трения покоя, принятый равным 0,45;

– жесткостью сцепления, которая вычислялась как произведение осевой жесткости и коэффициента трения покоя.

В работе рассматриваются два варианта модели:

– с жесткостью элементов сцепления (вычисленной по формуле (1)) и равной $18 \cdot 10^5 \frac{кН}{м}$;

– жесткостью элементов сцепления, уменьшенной в 3 раза и равной $6 \cdot 10^5 \frac{кН}{м}$.

Для получения корректной деформации торцов в данной модели (равномерно распределенная нагрузка по длине образца приводит к искажению деформации торцов призмы) необходимо принимать коэффициент Пуассона в бетонных элементах близким к 0 или равным 0.

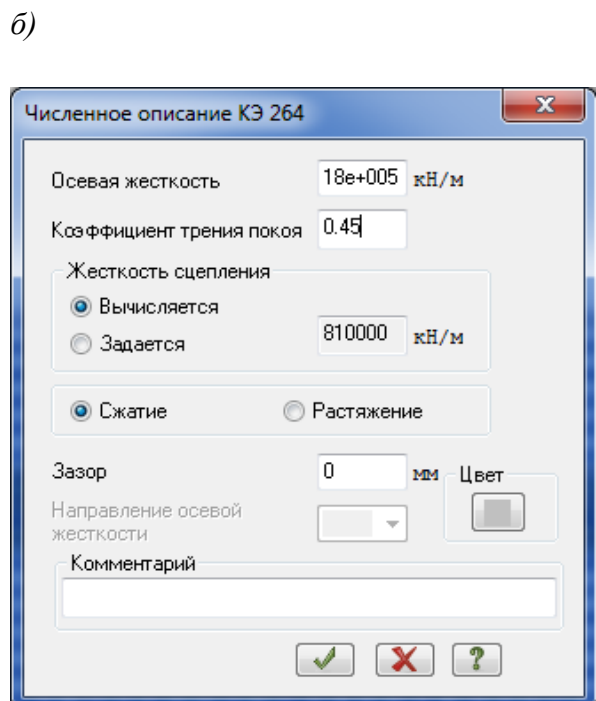
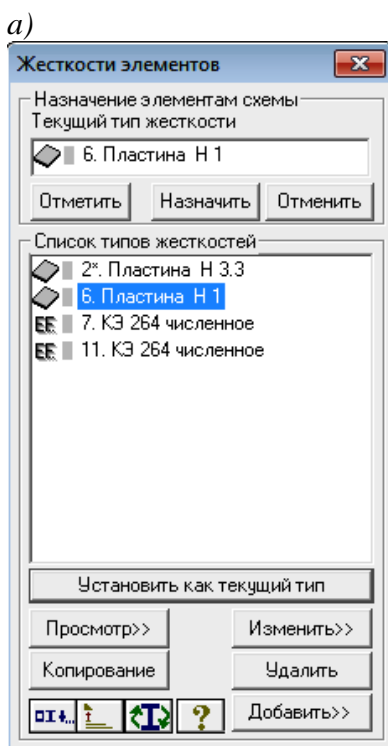


Рис. 10. Задание жесткости специальных КЭ264: а – диалоговое окно "Жесткости элементов"; б – диалоговое окно "Численное описание КЭ264"

Плоская модель со специальными пластинчатыми элементами (КЭ284). Особенностью данной модели является то, что в ней крайние конечные элементы, моделирующие бетон и примыкающие к арматурным элементам, удаляются по всей длине элемента и вместо них вводятся физически нелинейные универсальные прямоугольные КЭ плоской задачи КЭ284,

которые предназначены для моделирования односторонней работы грунта на сжатие с учетом сдвига по схеме плоской деформации в соответствии с законом Кулона (рис. 11).

При задании жесткости таких элементов через меню “Численное описание КЭ284” вводятся следующие параметры (рис. 12, а,б): E – модуль

деформации грунта по ветви первичного нагружения; ν – коэффициент Пуассона; H – толщина; k_e – коэффициент перехода к модулю деформации грунта по ветви вторичного нагружения $E_e = k_e \cdot E$; C – сцепление; R_t – предельное напряжение при растяжении; R_o – удельный вес материала; φ – угол внутреннего трения в градусах, при этом $\varphi < 90^\circ$; $C \geq R_t \cdot \text{tg}(\varphi)$; σ_p – предельное напряжение сжатия.

Ещё одной особенностью данной модели является то, что для её корректной

работы нужно менять тип КЭ, моделирующих бетон, с КЭ230 (физически нелинейный четырехугольный КЭ плоской задачи (балка-стенка)), использующийся во всех вышеупомянутых моделях, на КЭ241 (физически нелинейный универсальный прямоугольный КЭ оболочки).

В статье также рассматривается вариант этой модели, в которой все бетонные КЭ и КЭ, моделирующие сцепление арматуры с бетоном, имеют тип КЭ284, т. е. модель состоит из двух типов элементов: КЭ284 (бетон, сцепление) и КЭ30 (арматура).

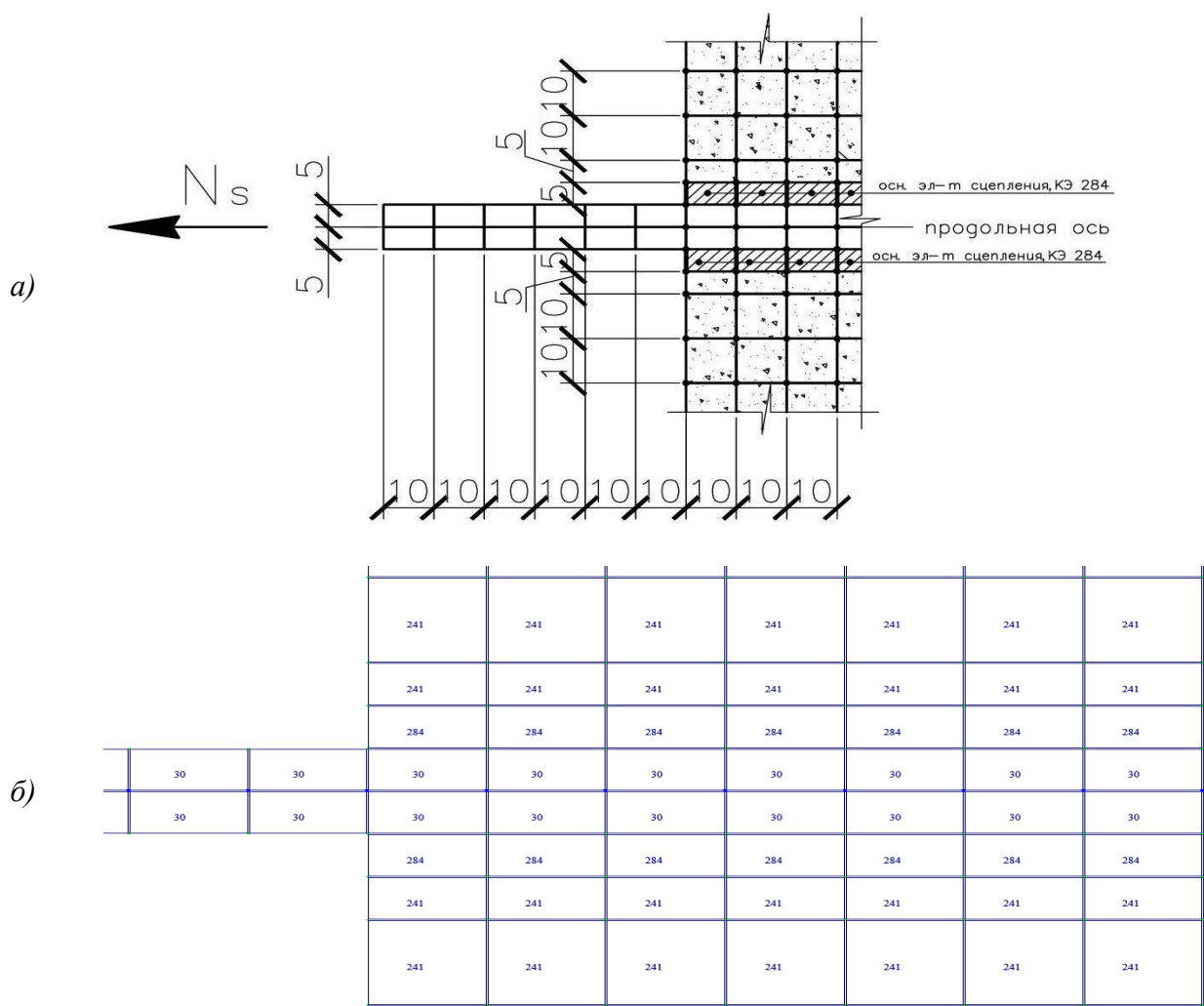
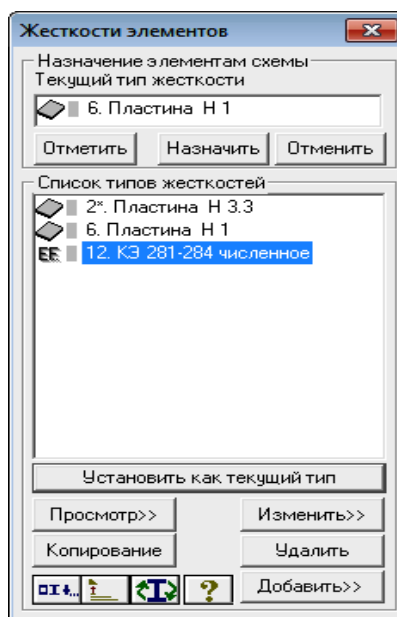


Рис. 11. Расположение элементов сцепления в модели с КЭ284:
 а – схематически; б – в интерфейсе ПК Лира-САПР

а)



б)

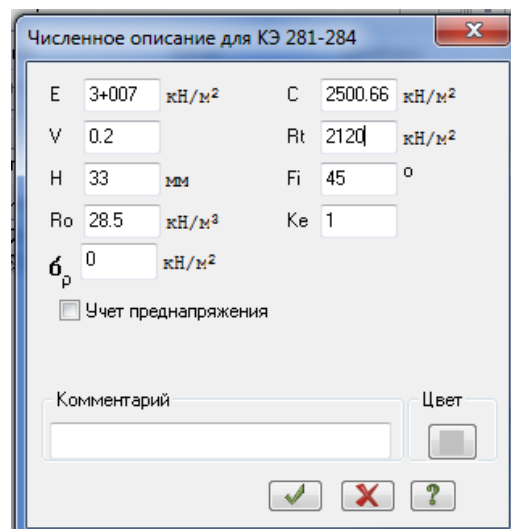


Рис. 12. Задание жесткости для специальных пластинчатых элементов КЭ284:
 а – диалоговое окно "Жесткости элементов";
 б – диалоговое окно "Численное описание для КЭ 281-284"

Анализ результатов расчета. По результатам расчета моделей в ПК Лира-САПР получаем графики распределения продольных усилий $N_s(x)$, $N_c(x)$ и деформаций $\varepsilon_s(x)$, $\varepsilon_c(x)$ в арматуре и бетонных элементах, примыкающих к арматуре, относительных взаимных смещений бетона и арматуры $\varepsilon_g(x)$, касательных усилий сцепления $\tau_{bond}(x)$, горизонтальных перемещений торца $U(x)$ (рис. 13–17). При этом следует отметить, что в представленных на рис. 13–17 графиках приняты следующие обозначения:

– **кривая 1** – модель с элементами сцепления (КЭ210), работающими на сдвиг, бетон нелинейный (КЭ230), арматура линейная (КЭ30);

– **кривая 2** – модель с пластинчатыми элементами сцепления (КЭ284), бетон нелинейный (КЭ241), арматура линейная (КЭ30);

– **кривая 3** – модель с пластинчатыми элементами сцепления (КЭ284), бетон нелинейный, моделируется также, как и элементы сцепления (КЭ284), арматура линейная (КЭ30);

– **кривая 4** – модель со специальными стержневыми элементами сцепления КЭ264, нормальная жесткость, бетон нелинейный (КЭ241), арматура линейная (КЭ30);

– **кривая 5** – модель со специальными стержневыми элементами сцепления КЭ264, уменьшенная в 3 раза жесткость, бетон нелинейный (КЭ241), арматура линейная (КЭ30).

Выводы и результаты исследования. 1. Графики распределения касательных напряжений сцепления $\tau_{bond}(x)$ по длине стержня x построены при упруго-пластической работе бетона и упругой работе арматуры для всех представленных моделей (рис. 13):

– кривая 1 имеет кососимметричный характер относительно оси длины стержня

с центром симметрии, проходящем по вертикальному геометрическому центру образца; при этом кривая по всей длине образца возрастает, однако на левой части исследуемого участка значения касательных напряжений сцепления отрицательные, кривая имеет выпуклый характер, а на правой – положительные, и кривая имеет вогнутый характер;

– кривая 2 имеет симметричный характер относительно оси длины стержня с центром симметрии, проходящем по вертикальному геометрическому центру образца; при этом на левом участке она возрастает (максимальное отклонение составляет 100 %), а на правом участке – убывает (максимальное отклонение составляет 185,2 %);

– кривая 3 имеет симметричный характер относительно оси длины стержня с центром симметрии, проходящем по вертикальному геометрическому центру образца, однако на растянутых бетонных фибрах по левому краю образца она убывает, а по мере увеличения длины плавно возрастает и остается на одном уровне по горизонтали (максимальное отклонение составляет 192 % для левой

части образца и 104,5 % для правой части соответственно);

– кривая 4 имеет кососимметричный характер относительно оси длины стержня с центром симметрии, проходящем по вертикальному геометрическому центру образца; при этом на растянутых бетонных фибрах по левому краю образца она убывает и переходит в отрицательные значения касательных напряжений сцепления, а далее плавно возрастает и имеет вогнутый характер до середины образца; на правой части исследуемого образца происходит плавное возрастание кривой вогнутого характера до растянутых бетонных фибр по правому краю образца, где впоследствии кривая резко изменяет свое направление и резко убывает;

– кривая 5, имеющая уменьшенную в 3 раза жесткость по сравнению с кривой 4, качественно не изменяет характер происходящего процесса, и кривые практически накладываются друг на друга на всем исследуемом участке, за исключением граничных участков (максимальное отклонение составляет до 52,1 % с кривой 4).

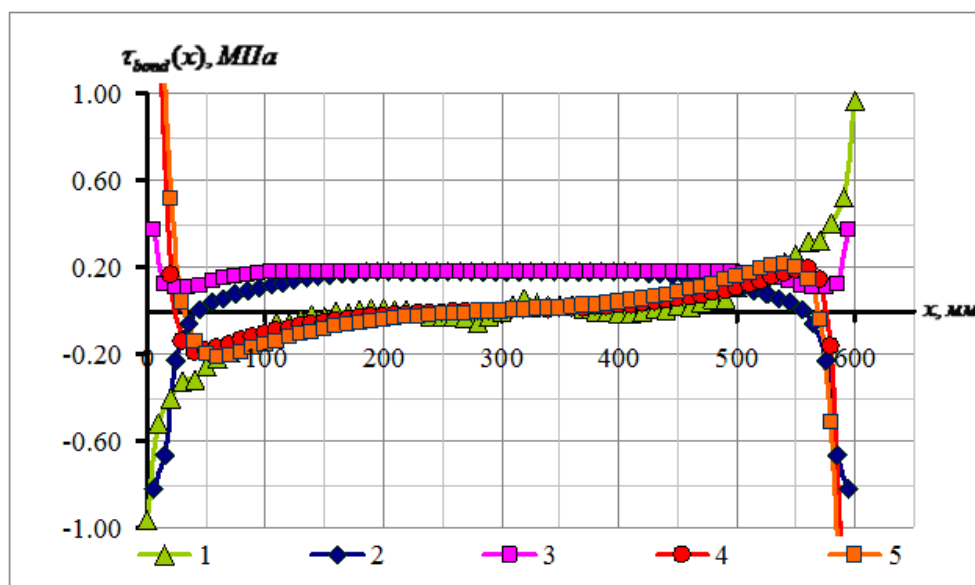


Рис. 13. Графики распределения касательных напряжений сцепления $\tau_{bond}(x)$ по длине стержня

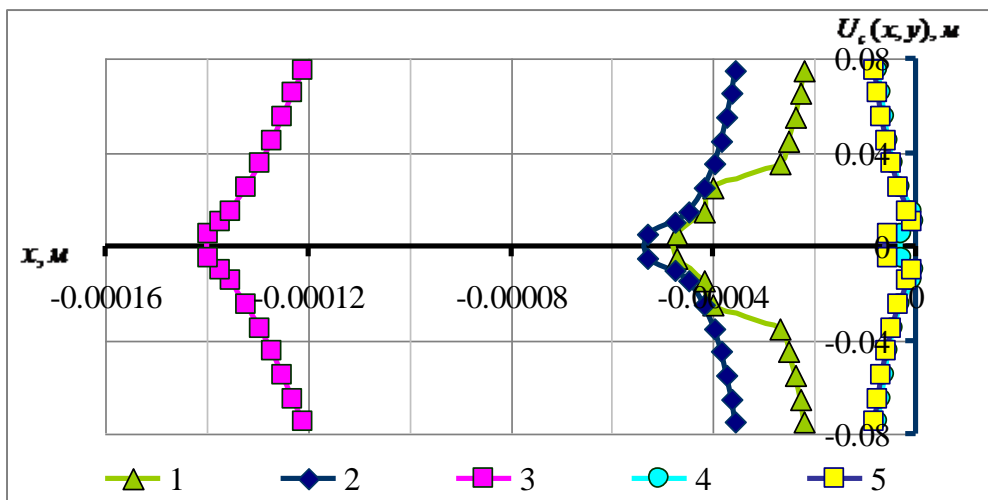


Рис. 14. Графики перемещения бетонной части торца $U_c(x, y)$ образца

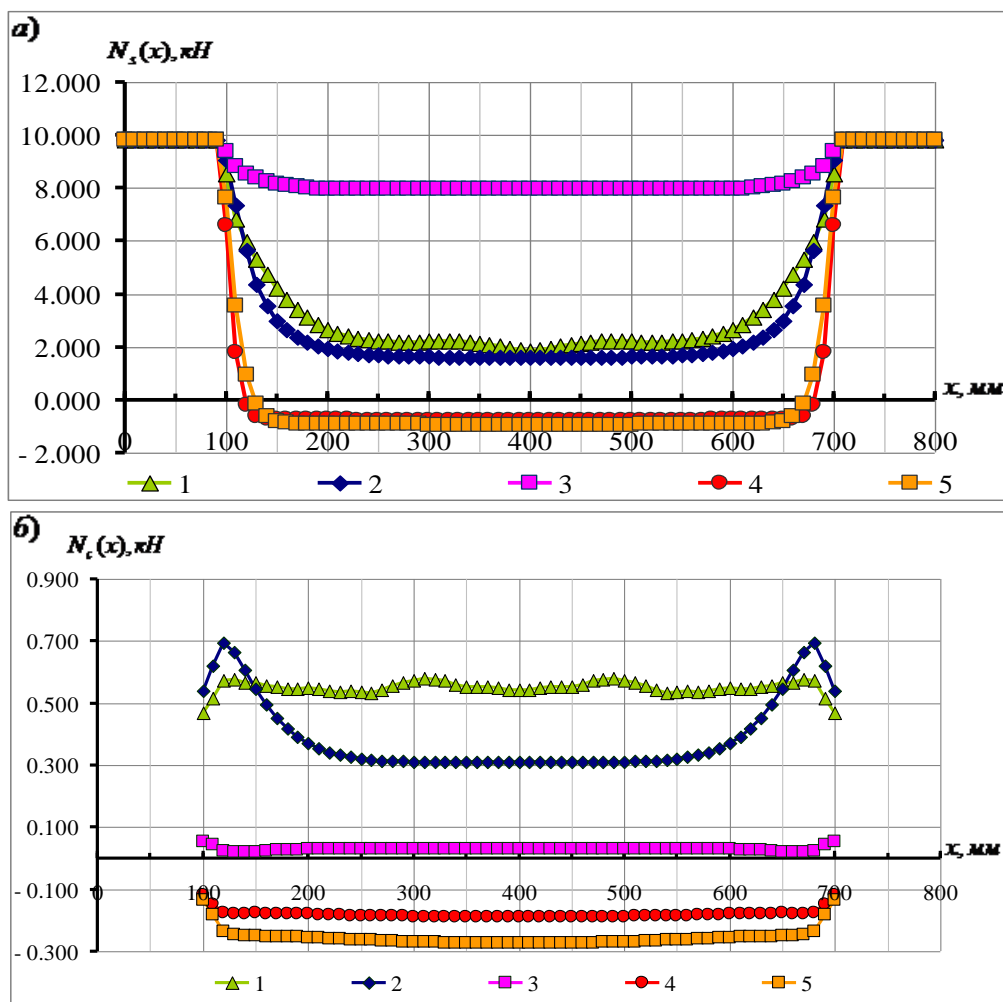


Рис. 15. Графики распределения продольных усилий в арматуре $N_s(x)$ (а) и бетонных КЭ, примыкающих к арматуре $N_c(x)$ (б) по длине стержня x

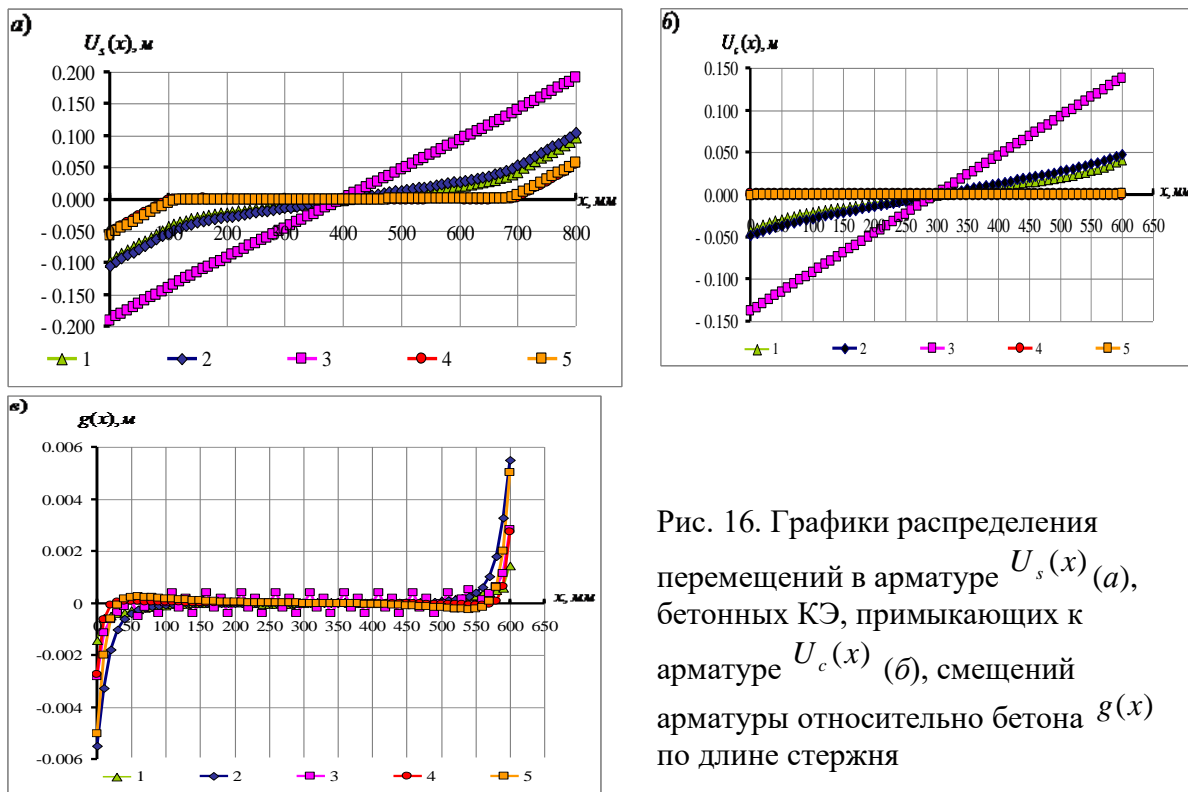


Рис. 16. Графики распределения перемещений в арматуре $U_s(x)$ (а), бетонных КЭ, примыкающих к арматуре $U_c(x)$ (б), смещений арматуры относительно бетона $g(x)$ по длине стержня

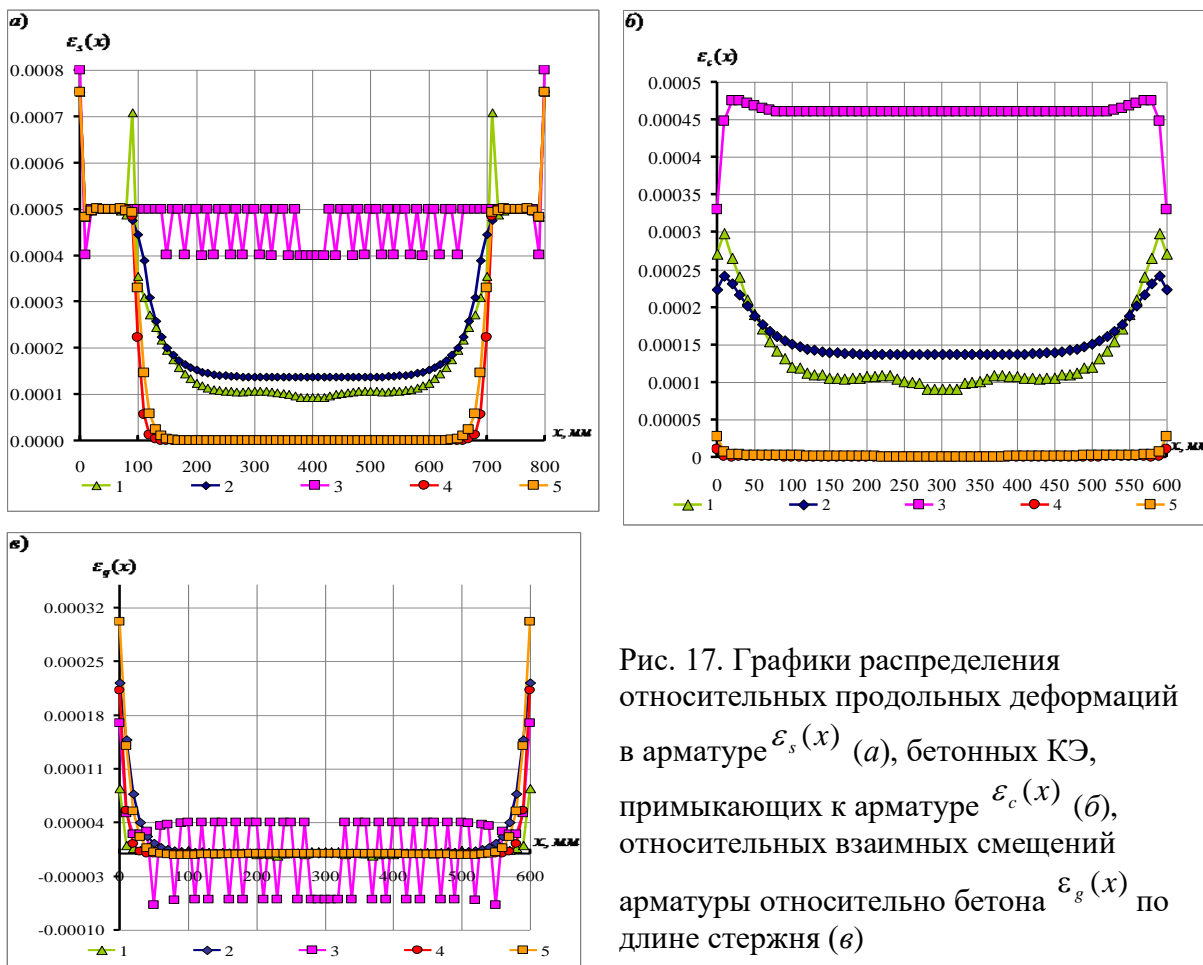


Рис. 17. Графики распределения относительных продольных деформаций в арматуре $\varepsilon_s(x)$ (а), бетонных КЭ, примыкающих к арматуре $\varepsilon_c(x)$ (б), относительных взаимных смещений арматуры относительно бетона $\varepsilon_g(x)$ по длине стержня (в)

2. Графики перемещения бетонной части торца $U_c(x, y)$ исследуемого образца построены при упруго-пластической работе бетона и упругой работе арматуры для всех представленных моделей (рис. 14):

– кривая 1 (принята в дальнейшем для анализа в качестве эталона для процентного сравнения) имеет симметричный характер относительно оси длины стержня с центром симметрии, проходящем по горизонтальному геометрическому центру образца; при этом кривая выше уровня оси симметрии возрастает по всей оставшейся высоте образца, но до четверти высоты образца носит выпуклый характер, а на оставшейся части – вогнутый; что же касается нижней части образца, здесь наблюдается обратная тенденция – до нижней четверти высоты сечения кривая 1 вогнутая и плавно убывает, а на оставшейся части кривая 1 выпуклая;

– кривая 2 имеет симметричный характер относительно оси длины стержня с центром симметрии, проходящем по горизонтальному геометрическому центру образца; следует отметить, что по всей верхней части образца кривая плавно возрастает и носит вогнутый характер (максимальное отклонение составляет до 62,2 %), что же касается нижней части образца, здесь наблюдается обратная тенденция – кривая 2 плавно убывает по всей высоте нижней части конструкции и носит выпуклый характер (максимальное отклонение составляет до 12,2 %);

– кривая 3 имеет симметричный характер относительно оси длины стержня с центром симметрии, проходящем по горизонтальному геометрическому центру образца, носит такой же характер, как у кривой 2, но имеет существенное отклонение от кривой 1 (более чем в 4,5 раза в сторону увеличения перемещения бетонной части торца образца);

– кривая 4 имеет симметричный характер относительно оси длины стержня с центром симметрии, проходящим по горизонтальному геометрическому центру

образца; при этом на первой шестой части высоты верхней части образца кривая возрастает, а на оставшейся части высоты верхней части образца кривая плавно становится убывающей (максимальное отклонение составляет до 78,8 %); что же касается нижней части образца, здесь наблюдается обратная тенденция – кривая 4 плавно убывает на первой шестой части высоты нижней части образца, а на оставшейся части высоты нижней части образца кривая плавно становится возрастающей (максимальное отклонение составляет до 98 %);

– кривая 5, имеющая уменьшенную в 3 раза жесткость по сравнению с кривой 4, качественно не изменяет характер происходящего процесса и кривые 4 и 5 практически накладываются друг на друга на всем исследуемом участке (максимальное отклонение составляет до 20,4 % от кривой 4).

3. Графики распределения продольных усилий в арматуре $N_s(x)$ по длине стержня x исследуемого образца построены при упруго-пластической работе бетона и упругой работе арматуры для всех представленных моделей (рис. 15, а). Для всех кривых характерным является то, что они имеют симметричный характер относительно вертикальной оси, проходящей по середине длины образца. При этом следует отметить, что:

– кривая 1 (принята в дальнейшем для анализа в качестве эталона для процентного сравнения); при этом на левой части образца кривая 1 носит убывающий характер, а на правой части – наоборот кривая плавно возрастает и остается выгнутой по всей длине образца;

– кривая 2 имеет такую же тенденцию, что и кривая 1 (максимальное отклонение составляет до 30,8 %), приближается к значению $N_s(x) = 2kH$ по всей длине образца;

– кривая 3, характеризующая модель с КЭ284, пластинчатыми элементами сцепления и упруго-пластической работой

бетона с заданными КЭ284 элементами качественно аналогична кривым 1 и 2, но приближается к значению $N_s(x) = 8кН$ по всей длине бетонного образца (максимальное отклонение составляет до 3,26 раза в сторону увеличения);

– кривая 4 качественно аналогична кривым 1 и 2, но уходит в отрицательную область и приближается к значению $N_s(x) = -1кН$;

– кривая 5, имеющая уменьшенную в 3 раза жесткость по сравнению с кривой 4, качественно не изменяет характер происходящего процесса, и кривые 4 и 5 практически накладываются друг на друга на всем исследуемом участке (максимальное отклонение составляет до 24,1 % от кривой 4).

4. Графики распределения продольных усилий бетонных КЭ, примыкающих к арматуре $N_c(x)$ по длине стержня x исследуемого образца, построены при упруго-пластической работе бетона и упругой работе арматуры для всех представленных моделей (рис. 15, б), имеют симметричный характер относительно вертикальной оси, проходящей по середине длины образца. При этом следует отметить, что:

– кривая 1 принята в дальнейшем для анализа в качестве эталона для процентного сравнения; при этом следует отметить, что кривая 1 меняет тенденцию на всем участке (то плавно возрастает, то плавно убывает симметрично вертикальной оси), но в целом приближается к прямой $N_c(x) = 0,5кН$;

– кривая 2 возрастает в начале левого участка и потом плавно убывает до вертикальной симметричной оси, на правом участке кривая 2 плавно возрастает до края правого участка, а потом убывает (максимальное отклонение составляет до 46,2 %), приближается к значению $N_c(x) = 0,3кН$ на середине длины образца (6/7 его длины);

– кривая 3 качественно аналогична кривой 1, но имеет значительно меньший градиент возрастания и убывания, приближается к значению $N_c(x) = 0,1кН$;

– кривая 4 качественно аналогична кривой 3, но уходит в отрицательную область и приближается к значению $N_s(x) = -0,15кН$ (максимальное отклонение составляет до 4,92 раза в сторону уменьшения);

– кривая 5 качественно аналогична кривой 2, но уходит в отрицательную область и приближается к значению $N_s(x) = -0,3кН$ (максимальное отклонение составляет до 4,45 раза в сторону уменьшения).

5. Графики распределения перемещений в арматуре $U_s(x)$ по длине стержня x исследуемого образца построены при упруго-пластической работе бетона и упругой работе арматуры для всех представленных моделей (рис. 16, а), имеют кососимметричный характер относительно вертикальной оси, проходящей по середине длины образца. При этом следует отметить, что:

– кривая 1 плавно возрастает, причем до начала бетонной призмы кривая носит выпуклый характер, а по всей длине бетонного образца меняет градиент увеличения почти в 2 раза; в правой части образца на промежутке длины бетонного образца кривая 1 возрастает, но уже с выгнутым характером кривой, причем в конце образца кривая увеличивает свой градиент до 2 раз;

– кривая 2 возрастает на всем участке, кривые 1 и 2 практически совпадают между собой (максимальное отклонение составляет до 50,9 % в середине элемента по длине), тогда как на остальном исследуемом участке отклонение не превышает 36,4 %;

– кривая 3 имеет линейную тенденцию возрастания на всем исследуемом участке, при этом максимальное отклонение составляет до 3,76 раза;

– кривая 4 качественно аналогична кривым 1 и 2, но имеет меньший градиент увеличения на всем исследуемом участке и приближается к оси абсцисс по всей длине бетонного образца (максимальное отклонение составляет до 100 % на краях арматурных стержней);

– кривая 5 имеет максимальное отклонение по значениям перемещений бетона $U_s(x)$ до 94,3 %, т. е. по кривой 5 получены большие значения $U_s(x)$, чем по кривой 4.

6. Графики распределения перемещений бетонных КЭ, примыкающих к арматуре $U_c(x)$ по длине стержня x исследуемого образца, построены при упруго-пластической работе бетона и упругой работе арматуры для всех представленных моделей (рис. 16, б), имеют кососимметричный характер относительно вертикальной оси, проходящей по середине длины образца. При этом следует отметить, что:

– кривая 1 плавно возрастает и имеет выпуклый характер на левой части бетонного образца и до вертикальной оси симметрии, в правой части образца кривая 1 возрастает, но уже с выгнутым характером кривой;

– кривая 2 возрастает на всем участке, кривые 1 и 2 практически накладываются друг на друга (максимальное отклонение составляет до 36,2 %) на всем исследуемом участке;

– кривая 3 имеет линейную тенденцию возрастания на всем исследуемом участке, при этом максимальное отклонение составляет до 4,2 раза на краях бетонного образца;

– кривая 4 имеет значительно меньший градиент увеличения на всем исследуемом участке и приближается к оси абсцисс по всей длине бетонного образца;

– кривая 5 имеет максимальное отклонение по значениям перемещений бетона $U_c(x)$ до 80,6 %, т. е. по кривой 5

получены большие значения $U_c(x)$, чем по кривой 4.

7. Графики распределения смещений арматуры относительно бетона $g(x)$ по длине стержня x исследуемого образца построены при упруго-пластической работе бетона и упругой работе арматуры для всех представленных моделей (рис. 16, в), имеют кососимметричный характер относительно вертикальной оси, проходящей по середине длины образца. При этом следует отметить, что:

– кривая 1 резко возрастает и имеет выпуклый характер в начале левого участка бетонного образца, после этого наблюдается тенденцию к убыванию на средней части образца (5/6 его длины), и на краю правого участка кривая резко возрастает и имеет вогнутый характер кривой;

– кривая 2 резко возрастает на краях образца и качественно имеет аналогичное направление, что и кривая 1 (максимальное отклонение составляет до 460 %) на всем исследуемом участке по длине стержня x ;

– кривая 3 резко возрастает на краях образца и качественно имеет аналогичное направление, что и кривая 1, но скачкообразно изменяет знак с положительного на отрицательный на середине длины образца (6/7 его длины);

– кривая 4 резко возрастает на краях образца и качественно имеет аналогичное направление, что и кривая 1, но скачкообразно изменяет знак с положительного на отрицательный на середине длины образца (6/7 его длины), максимальное отклонение составляет до 2,29 раза;

– кривая 5 отличается по значениям смещений (максимальное отклонение составляет до 79,6 % от кривой 4, значения взаимных смещений $g(x)$ по кривой 5 значения, получаемые по кривой 4).

8. Графики распределения продольных относительных деформаций в арматуре $\varepsilon_s(x)$ по длине стержня x исследуемого

образца построены при упруго-пластической работе бетона и упругой работе арматуры для всех представленных моделей (рис. 17, а). Для всех кривых характерным является то, что они имеют симметричный характер относительно вертикальной оси, проходящей по середине длины образца. При этом следует отметить, что:

- кривая 1 носит убывающий характер, а на правой части, наоборот, кривая плавно возрастает и остается выгнутой по всей длине образца;

- кривая 2 имеет такую же тенденцию, что и кривая 1 (максимальное отклонение составляет до 47,4 % в сторону увеличения), приближается к значению $\varepsilon_s(x) = 0,0001$ в середине длины образца;

- кривая 3 изменяется скачкообразно на 20 %, при этом кривая не отклоняется от величины продольных относительных деформаций в арматуре $\varepsilon_s(x)$ в промежутке от 0,004 до 0,0005 (максимальное отклонение составляет до 4,1 раза в сторону увеличения);

- кривая 4 качественно аналогична кривым 1 и 2, но приближается и стремится к оси абсцисс (максимальное отклонение составляет до 100 % в сторону уменьшения);

- кривая 5 имеет в некоторых точках по длине достаточно большие расхождения (максимальное отклонение составляет до 100 % от кривой 4, значения продольных относительных деформаций $\varepsilon_s(x)$ по кривой 5 больше значений, получаемых по кривой 4).

9. Графики распределения продольных относительных деформаций бетонных КЭ, примыкающих к арматуре $\varepsilon_c(x)$ по длине стержня x исследуемого образца, построены при упруго-пластической работе бетона и упругой работе арматуры для всех представленных моделей (рис. 17, б). Для всех кривых характерным является то, что они имеют симметричный характер относительно вертикальной оси,

проходящей по середине длины образца. При этом следует отметить, что:

- кривая 1 на левой части образца носит в самом начале возрастающий, а потом убывающий характер, а на правой части, наоборот, кривая возрастает и остается выгнутой по всей длине образца, а на правом краю кривая убывает;

- кривая 2 имеет такую же тенденцию, что и кривая 1 (максимальное отклонение составляет до 24,3 % в сторону увеличения), приближается к значению $\varepsilon_s(x) = 0,0001$ в середине длины образца;

- кривая 3 параллельна оси абсцисс (приближается к прямой $\varepsilon_c(x) = 0,00045$) в средней части образца (4/6 его длины), а по краям имеет аналогичную тенденцию поведения, что и кривая 1, но имеет значительно (более чем в 4 раза) больший градиент с самых краев и более чем в 4 раза меньший градиент в началах и концах левого и правого участков соответственно;

- кривая 4 качественно аналогична кривым 1 и 2, но приближается и стремится к оси абсцисс и имеет в значительной степени меньшие значения относительных деформаций бетона $\varepsilon_c(x)$;

- по кривой 5 получаем большие значения продольных относительных деформаций бетона $\varepsilon_c(x)$ (максимальное отклонение составляет до 4 раз от кривой 4).

10. Графики распределения продольных относительных взаимных смещений арматуры относительно бетона $\varepsilon_g(x)$ по длине стержня x исследуемого образца построены при упруго-пластической работе бетона и упругой работе арматуры для всех представленных моделей (рис. 17, в). Для всех кривых характерным является то, что они имеют симметричный характер относительно вертикальной оси, проходящей по середине длины образца. При этом следует отметить, что:

- кривая 1 на левой части образца носит в самом начале резко убывающий, а далее плавно убывающий характер, а на правой части – наоборот кривая плавно

возрастает и остается выгнутой по всей длине образца, а на правом краю кривая резко возрастает;

– кривая 2 имеет такую же тенденцию, что и кривая 1, приближается к значению $\varepsilon_s(x) = 0,0001$ в середине длины образца;

– кривая 3 имеет тенденцию, аналогичную кривой 1, но в средней части образца (4/6 его длины) скачкообразно переходит из положительной области в отрицательную;

– кривая 4 качественно аналогична кривым 1 и 2, но приближается и стремится к оси абсцисс (максимальное отклонение составляет до 2,67 раза);

– по кривой 5, характеризующей модель со специальными стержневыми элементами сцепления КЭ264 и имеющей уменьшенную в 3 раза жесткость по сравнению с кривой 4, получены большие значения относительных взаимных смещений $\varepsilon_g(x)$ (максимальное отклонение составляет 4 раза по сравнению с кривой 4).

Список использованных источников

1. Белов, В. В. Диахронная модель деформирования коррозионно-поврежденных железобетонных элементов с трещинами [Текст] / В. В. Белов, С. Е. Никитин // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 4. – С. 18–25.
2. Бондаренко, В. М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона [Текст]: монография / В. М. Бондаренко, В. И. Колчунов. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 472 с.
3. Карпенко, Н. И. Общие модели механики железобетона [Текст]: монография / Н. И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
4. Левин, В. М. Математическое моделирование совместного деформирования арматурного стержня и бетона в окрестности изолированной трещины (применительно к модели дискретных трещин) [Текст] / В. М. Левин, Н. Ю. Рогожин // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2015. – №3(113). – С. 5–7.
5. Холмянский, М. М. Контакт арматуры с бетоном [Текст]: монография / М. М. Холмянский. – М.: Стройиздат, 1981. – 184 с.
6. Kolchunov, V. I. The analytical core model formation of the nonlinear problem bond armature with concrete [Text] / V. I. Kolchunov, I. A. Yakovenko, E. A. Dmitrenko // Збірник наукових праць. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2016. – Вып. 2(47). – С. 115–122.
7. Колчунов, В. И. Конечно-элементное моделирование нелинейной плоской задачи сцепления бетона и арматуры в ПК Лира-САПР [Текст] / В. И. Колчунов, И. А. Яковенко, Е. А. Дмитренко // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2016. – № 3. – С. 6–15.
8. Salnikov, A. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending [Text] / A. Salnikov, V. I. Kolchunov, I. Yakovenko // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 725–726. – P. 784–789.
9. Pokorný, P. Problems and normative evaluation of bond-strength tests for coated reinforcement and concrete [Text] / P. Pokorný, M. Kouřil, J. Stoutil, P. Bouška, P. Simon, P. Juránek // Materials and technology. – 2015. – № 49(6). – P. 847–856.
10. Torre-Casanova, A. Confinement effects on the steel–concrete bond strength and pull-out failure [Text] / A. Torre-Casanova, L. Jason, L. Davenne, X. Pinelli // Engineering Fracture Mechanics. – 2013. – Vol. 97. – P. 92–104.

Колчунов Володимир Іванович, д-р техн. наук, професор, професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва, Навчально-науковий інститут Аеропортів, Національний авіаційний університет, академік Академії будівництва України. Тел.: +38(099)-555-35-14. E-mail: vlik52@mail.ru.

Яковенко Ігор Анатолійович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій будівництва, Навчально-науковий інститут Аеропортів, Національний авіаційний університет, докторант.
Тел.: +38(067)-440-19-39. E-mail: i2103@ukr.net.

Дмитренко Євгеній Анатолійович, аспірант кафедри комп'ютерних технологій будівництва, Навчально-науковий інститут Аеропортів, Національний авіаційний університет. Тел.: +38(095) 874-73-68.
E-mail: zdmitrenko@ya.ru.

Kolchunov Vladimir, Dr. Sc. science of building constructions, Professor, Professor of Computer technology building department Educational and Scientific Institute of Airport's National Aviation University, Academician of the Construction Academy of Ukraine. Tel.: +38(099)-555-35-14. E-mail: vlik52@mail.ru.

Yakovenko Igor, PhD. Sc. science of building constructions, Associate Professor of Computer technology building department Educational and Scientific Institute of Airport's National Aviation University, doctoral student.
Тел.: +38(067)-440-19-39. E-mail: i2103@ukr.net.

Dmitrenko Evgeniy, graduate student of building constructions of Computer technology building department Educational and Scientific Institute of Airport's National Aviation University. Тел.: +38(095)874-73-68.
E-mail: zdmitrenko@ya.ru.

Стаття прийнята 03.11.2016 р.

УДК 629.42.016.2

ПІДВИЩЕННЯ ТЯГОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА ПРИ РОЗГОНІ

Д-р техн. наук Д. С. Жалкін, С. В. Рогатюк

УЛУЧШЕНИЕ ТЯГОВЫХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА ПРИ РАЗГОНЕ

Д-р техн. наук Д. С. Жалкин, С. В. Рогатюк

TRACTION CHARACTERISTICS WHEN ACCELERATING DIESEL RAIL VEHICLES

Doct. of techn. sciences D. Zhalkin, S. Rohatyuk

У наведеній статті запропоновано підвищити тягові властивості дизель-поїздів (рейкових автобусів) з гідравлічною передачею потужності за рахунок використання гібридної енергетичної установки під час розгону.

Ключові слова: тягові розрахунки, енергоефективність режиму, розгін дизель-поїзда, гібридна енергетична установка.

В данной статье предложено улучшить тяговые свойства использования дизель-поездов (рельсовых автобусов) с гидравлической передачей мощности за счет использования гибридной энергетической установки во время разгона.

Ключевые слова: тяговые расчеты, энергоэффективность режима, разгон дизель-поезда, гибридная энергетическая установка.

Calculation of the acceleration mode diesel train with a hybrid power transmission showed the possibility of changing modes of movement by changing the acceleration rate. Significantly changing the time that is needed for acceleration.

Driving a hybrid transmission power corresponds to the requirements and improves traction and economic performance of diesel trains by reducing the travel time between stops. The study revealed a large number of variants of modes of dispersal and the need for further optimization of

modes of dispersal due to possible changes in the mode of operation of the power plant and the power of an additional energy source and as a consequence of identifying energy-saving options.

Keywords: *traction calculations, energy efficiency mode, acceleration of diesel rail vehicles, hybrid power plant.*

Вступ. Дослідження стосуються галузі ресурсозбереження та енергоефективності й спрямовані на вирішення важливої науково-технічної проблеми – зниження витрат пального під час експлуатації локомотивів.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Дизель-поїзди (ДП) набули широкого застосування в обслуговуванні пасажирських перевезень на залізницях багатьох країн світу в приміському або місцевому сполученні на неелектрифікованих залізничних ділянках як на другорядних лініях з невеликим пасажиропотоком, так і на головних напрямках з інтенсивними перевезеннями в міжнародних транс'європейських перевезеннях у багатовагонних дизель-поїздах із силовими установками потужністю понад 1500 кВт. У якості силових установок у дизель-поїздах, як правило використовуються чотиритактні швидкохідні дизелі, які розташовують у кузові, під вагоном і навіть на візках. Більшість дизелів мають V-подібне розташування циліндрів, але застосовуються й такі, кут розвалу циліндрів яких досягає 180°. Потужність двигунів дизель-поїздів у швидкісному сполученні складає 220 – 750 кВт [1, 2].

У якості передач потужності на дизель-поїздах використовуються всі відомі різновиди передач. Найбільш широко використовується на дизель-поїздах гідравлічна передача з такими перевагами: відносно невелика вага, краще використання зчипної ваги, зручна в керуванні та ремонті, невелика вартість (що складає незначну частину вартості дизель-

поїзда), високі трансформації крутного моменту, високі ходові якості екіпажів, що зменшує вплив на колію. Гідропередачі – компактні, надійні, довговічні, прості в експлуатації, але вони мають і недоліки: робота дизеля з гідропередачею визначається характеристикою насосного колеса, яку важко пов'язати з іншими характеристиками дизеля й витратою палива, що на 10-11% вища, ніж при електропередачі. У процесі перемикання режимів, що тривають 15-20 с, відбувається короткочасне зниження потужності дизеля до 25%, а потім швидке підвищення потужності до 1,25 номінальної, що позначається на тяговій характеристиці у вигляді уступів і падіння ККД. Низьким є розгін дизель-поїзда при рушанні з місця через витрати частини потужності в гідротрансформаторі. У той же час у приміському сполученні з метою підвищення середньої швидкості руху потрібне прискорення не менше 0,4-0,5 м/с² [3, 4].

Тому відомі діючі гібридні силові установки (ГСУ) автомобілів і тепловозів з електропередачею потужності з накопичувачами електроенергії неможливо застосувати на дизель-поїздах і тепловозах з гідравлічною передачею потужності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Скорочення часу перебування дизель-поїзда в дорозі та підвищення швидкості руху на невеликих по відстані дільницях між пунктами зупинок потребує збільшення прискорення при рушанні з місця (розгоні). Як показує аналіз, прискорення у всіх розглянутих у таблиці ДП прискорення фактично однакове й не залежить від типу передачі потужності.

Основні параметри дизель-поїздів Д1, ДР1А, ДПЛ1, ДЕЛ02

Параметр	Дизель-поїзд			
	Д1	ДР1А	ДПЛ1	ДЕЛ02
Країна побудови	Угорщина	Латвія	Україна	Україна
Склад, ваг	М+2П+М	М+4П+М	Т+3П+Пку	М+П+М
Потужність СУ, кВт	2 x 536	2 x 735	1470	2 x 550
Конструкційна швидкість, км/год	120	120	100	130
Максимальна швидкість на перегоні, км/год	82,7	86,9	87,1	82,6
Прискорення руху при рушанні з місця, м/с ²	0,4	0,42	0,43	0,40
Маса поїзда, т	237	346	411	232

Огляд літературних джерел показав, що відстань між зупинками поїздів складає в середньому від 3 до 5 км у приміському руху, а сам рух складається з повторних циклів: гальмування – стоянка – розгін, що відбувається на неекономічних і неекологічних режимах роботи двигунів [1].

Рушання з місця та розгін поїзда описаний у багатьох роботах, у т. ч. й офіційних документах. Розрахунок кривих руху базується на інтегруванні рівняння руху поїзда [4, 5]

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{(F - W - B)}{1 + \gamma}, \quad (1)$$

де m – маса дизель-поїзда;

v – швидкість руху дизель-поїзда;

$1 + \gamma$ – коефіцієнт інерції частинок, що обертаються;

t – значення часу;

F – сила тяги;

B – тормозна сила;

W – повний опір руху;

γ – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив обертових частин на прискорення руху дизель-поїзда.

На реально існуючих ділянках шляху мінімізація витрат енергії є складним багатокритеріальним завданням.

У роботі [6] наведено спосіб, за яким дотична сила тяги не має перевищувати силу зчеплення коліс з рейками

$$F_{\text{дот}} \leq F_{\text{зч}}. \quad (2)$$

Машиніст реалізує частину тягової характеристики від 0 км/год до виходу на автоматичний режим. Цей спосіб не враховує енергозбереження, але час розгону є мінімальним.

Метод Ейлера враховує зміну сил опору руху поїзда. Знаходження оптимального розв'язку рівняння виконується мінімізацією інтеграла [7]

$$Q = \int_0^T (\dot{v} + W)^2 dt. \quad (3)$$

У роботі [8] авторами розглянуто оптимізацію тягових розрахунків за мінімальними значеннями двох показників – витрати часу t на переміщення поїзда та роботи сил опору руху A .

$$t = \int_{s_1}^{s_2} \frac{ds}{v(s)} \rightarrow \min;$$

$$A = \int_{s_1}^{s_2} w(v) ds \rightarrow \min \quad (4)$$

При цьому оптимізація зводиться до вирішення двох завдань:

- виконання тягових розрахунків для визначення мінімального часу руху;
- мінімізація сил опору руху поїзда для знайденого часу ходу.

Вищевказані методики розглядають рух поїзда з початковою та кінцевою швидкістю $V = 0$ км/год.

У роботах [9, 10] на підставі багатоваріантних розрахунків удосконалено алгоритм визначення енергозаощаджуючих траєкторій руху поїзда під час рушання та розгону, побудовано багатопараметричну функцію управління потужністю локомотива, яка дозволяє зменшити витрату енергоресурсів від 13 до 25 % залежно від маси складу та ухилу порівняно з методикою, але не враховує особливості руху локомотивів з гідروпередачею потужності.

Вибору принципів схем гібридних силових установок, які визначають характеристики, режими і показники використання локомотивів в експлуатації, також присвячено значну кількість робіт. Прийнята схема повинна забезпечувати [2, 11]:

- необхідні тягові властивості локомотива;
 - високий експлуатаційний ККД силових установок в режимі тяги і рекуперацію кінетичної енергії;
 - простоту і надійність управління.
- Основними елементами схеми є:
- тепловий двигун;
 - накопичувач енергії;
 - передача потужності і перетворюючі пристрої, що забезпечують узгоджену роботу теплового двигуна і накопичувача енергії в різних режимах і формують необхідні тягові характеристики локомотива.

Накопичувачі енергії повинні задовільно працювати в комбінації з силовою установкою у всіх режимах експлуатації:

- холостий хід, при якому відсутній будь-який обмін енергією між окремими її компонентами;
- тяга з одночасною передачею енергії від теплового двигуна і накопичувача енергії на рушійні колеса через електричну передачу тепловоза;
- тяга з використанням тільки енергії теплового двигуна, а в разі надлишку його потужності – одночасна передача цієї надлишкової потужності накопичувачу енергії;
- вибіг з одночасним зарядженням накопичувача енергією;

Визначення мети та задачі дослідження. Мета дослідження – сформулювати вимоги до раціональних з точки зору енергозбереження режимів розгону дизель-поїздів з гідравлічною передачею потужності, які обладнано гібридною силовою установкою.

Завдання дослідження:

- розроблення моделі для виконання тягових розрахунків під час розгону дизель-поїзда;
- визначення потрібної потужності джерела додаткової енергії при використанні гібридної силових установок;
- виявлення можливості зміни режимів розгону дизель-поїзда за рахунок зміни швидкості настання прискорення.

Основна частина досліджень. Розгін будь-якого дизель-поїзда можна охарактеризувати такими особливостями:

- змінюються сили основного і додаткового опору;
- змінюються зчїпна вага, запас піску, води, палива, мастильних матеріалів, кількість пасажирів;
- коефіцієнт зчеплення змінюється в широкому діапазоні (0,15-0,36);
- змінюється час заповнення пускового гідротрансформатора.

Оптимальним за витратою палива є режим з постійною швидкістю руху [8, 10]. Якщо опір руху рухомого складу W постійний або змінюється в незначних межах (ухили не є крутими), то загальна структура оптимального режиму руху за перегоном безпосередньо впливає з узагальненої теореми Ейлера: у початковий момент часу, після початку руху з місця, визначальним є обмеження за максимальним прискоренням і здійснення режиму $F_{\text{дот}} = \max$. Якщо ухил не є постійним $i \neq \text{const}$, то сталість швидкості руху може бути досягнута за допомогою регулювання потужності дизеля. Отже, якщо для дизеля взятого ізольовано, оптимальним є підтримка постійної потужності, що дорівнює номінальній, то при врахуванні всіх чинників оптимальним режимом є режим підтримки постійної швидкості. При розгоні для забезпечення постійного навантаження дизеля або зменшення часу перехідних процесів потрібно підключення додаткового джерела енергії.

$$\frac{dv}{dt} = f(F_{\text{дот}}, Q, P, \psi_{\text{зч}}, \xi, N_e, \alpha, \beta, \varphi_{\text{дот}}, k_{\phi}, D_k, \Sigma J) \quad (5)$$

де $F_{\text{дот}}$ - дотична сила тяги, Н;
 w_0 - повний основний опір руху поїзда, Н;
 q - навантаження від колісної пари на рейки, кН;
 Q - вага поїзда, кН;
 P - службова вага дизель-поїзда, кН;
 $\psi_{\text{зч}}$ - коефіцієнт зчеплення;
 ξ - прискорення поїзда при дії сили км/хв^2 ;
 N_e - ефективна потужність дизеля, кВт;
 α - ступінь наповнення пускового ГТД;
 β - коефіцієнт відбору потужності дизеля на допоміжні потреби;
 $\varphi_{\text{дот}}$ - питома результуюча сил, діючих на поїзд, Н/кН;
 k_{ϕ} - коефіцієнт трансформації моменту ГТД передачі потужності;
 D_k - радіус колеса, м;

Для спрощення математичної моделі розгону дизель-поїзда і пов'язаних з цим розрахунків приймається система розгону з повністю розтягнутими вагонами.

Складний характер процесів руху поїзда ставить перед нами ряд обмежень:

- розрахунки будуть проводитися за умови, що дизель-поїзд рухається як єдине ціле, тобто пружність автозчеплення і пов'язане з цим неоднчасне зрушення з місця вагонів не враховується;

- основний питомий опір не залежить від швидкості.

При рушанні з місця і розгоні дизель-поїзда передача енергії від дизеля до колісних пар тепловоза здійснюється за допомогою пускового гідротрансформатора (ГДТ). Слід зазначити, що силова установка (дизель + ГДТ) у період розгону працює в невстановлених режимах [12]. При складанні математичної моделі розгону дизель-поїзда було використано рівняння руху поїзда в загальному вигляді:

ΣJ - момент інерції обертючих частин гідропередачі, дизеля і трансмісії тепловоза, $\text{кг}\cdot\text{м}$;
 n - частота обертання вала дизеля, хв^{-1} .

Дотична сила тяги, що розвивається тепловозом, з ГДП, Н,

$$F_{\text{дот}} = 2M_{\text{дот}}/D_k \quad (6)$$

де $M_{\text{дот}}$ - момент, прикладений до обода колеса, Н·м.

Дотична потужність тепловоза, кВт,

$$N_{\text{дот}} = F_{\text{дот}} v / 3600 \quad (7)$$

Момент дизеля, прикладений до вала насосного колеса, Н·м,

$$M_n = M_e / U_n \eta_n, \quad (8)$$

де M_e - момент на валу дизеля, Н·м;
 U_n - передаточне число редуктора;
 η_n - ККД передачі.

Поточне значення швидкості руху локомотива, км/год,

$$V = \frac{0,1884 \cdot D_k \cdot n}{U_i} \quad (9)$$

Визначення розгінних характеристик дизель-поїзда визначалось за методикою, запропонованою в роботі [13].

Використовуючи швидкісні характеристики дизеля, наведені на рис. 1, та універсальні характеристики ГПП визначалися залежності $F_{\text{дот}} = f(n_T)$, значення дотичної сили тяги залежно від частоти обертання турбінного колеса.

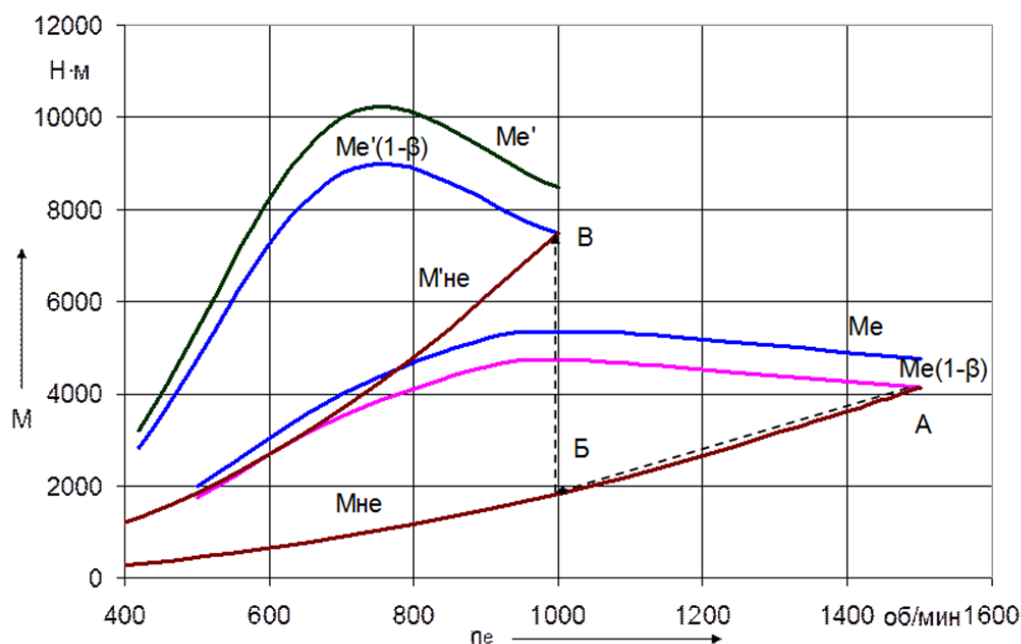


Рис. 1. Швидкісна характеристика дизеля: $M'ne$ – навантажувальна характеристика моменту насосного колеса, приведенного до вала дизеля М756Б; Me – швидкісна характеристика дизеля М756-Б

Отримані для різних положень контролера машиніста (ПКМ) значення перебудовувалися в залежності $F_{\text{дот}} = f(v)$. Одержані залежності, наведені на рис. 2, показують, що значення сили тяги на всіх ПКМ лежать нижче від обмеження за зчепленням. Таким чином, при час розгону дизель-поїзда та прискорення при розгоні визначаються потужністю силової

установки. При встановленні додаткового джерела енергії можливо знизити час розгону за рахунок підвищення прискорення руху.

На рис. 3 у вигляді блочної схеми представлена гібридна силова установка дизель-поїзда, який має гідравлічну передачу потужності [14].

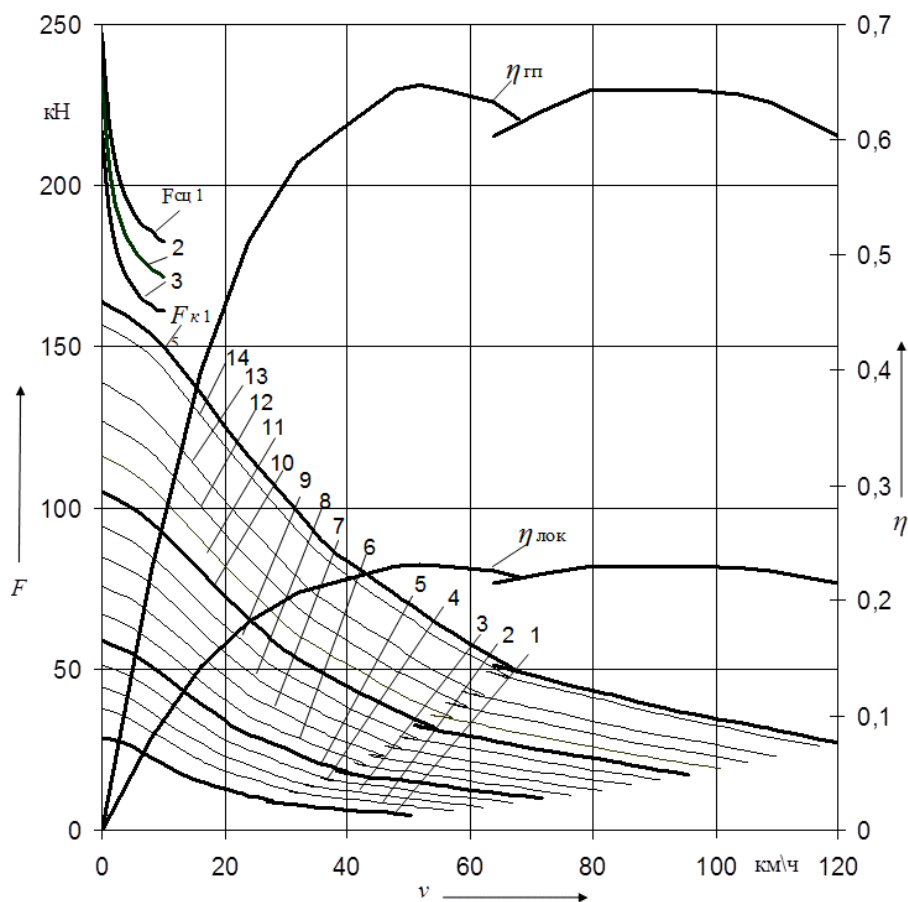


Рис. 2. Тягова характеристика дизель-поїзда

Керування роботою елементів ГСУ здійснюється в такій послідовності. При наближенні дизель-поїзда до зупинки (вокзалу або пункту зупинки) машиніст на певній відстані (наприклад, 1 км) вимикає двигун 5, який був тяговим і забезпечував рух дизель-поїзда, і додатковим контактом контролера машиніста 12 подає сигнал електронному блоку керування 13, який подає команду електронному регулятору тиску 9 на подачу стиснутої оливи через обмежник пропускної здатності 14 до пускового ГТР1, що підтримує рух дизель-поїзда до зупинки, наприклад від дії штатної гальмівної системи. Одночасно при зниженні тиску в резервуарі 10 електронний датчик тиску 11 подає сигнал

електронному блоку керування 13, який подає команду електромагнітному зворотному клапану високого тиску 8 на пропускання стиснутої оливи від додаткового насоса 4 в резервуар зі стиснутою оливою 10 до досягнення тиску певної величини, який є достатнім для створення крутного моменту та передачі його на рушійні колісні пари, після чого клапан 8 зачиняється, а додатковий насос переходить у режим холостого ходу. При зупинці дизель-поїзда гідропередача 3 вимикається і за сигналом її датчика електронний блок керування 13 через електронний регулятор тиску 9 зупиняє подачу стиснутої оливи, що зупиняє роботу ГТР1.

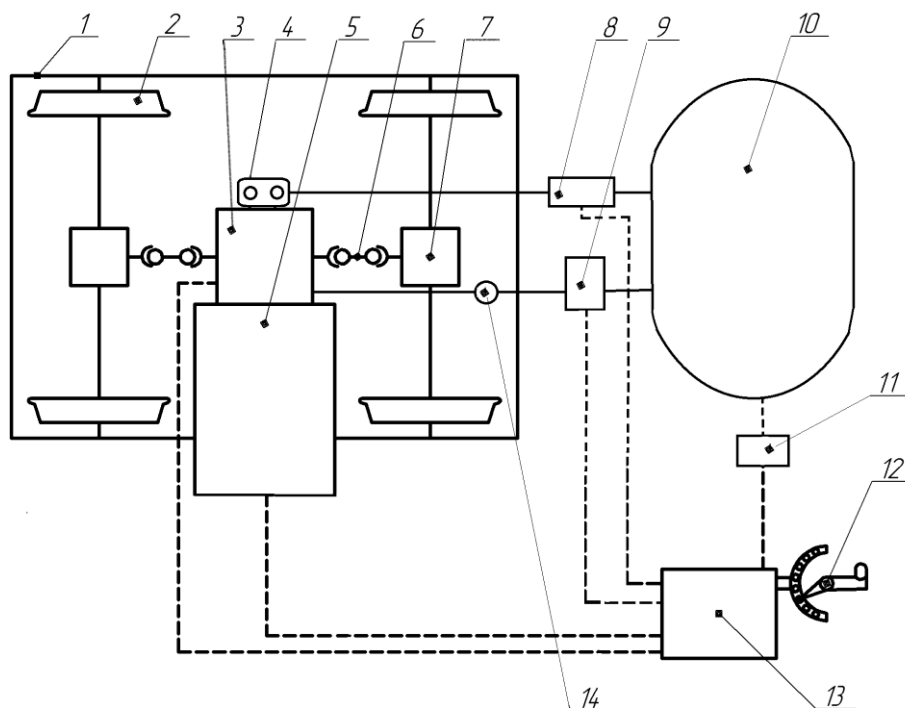


Рис. 3. Гібридна силова установка ТРС зі гідропередачею потужності:
 1 – рама візка; 2 – рушійна колісна пара; 3 – гідропередача; 4 – додатковий оливний насос; 5 – ДВЗ; 6 – карданний вал; 7 – осьовий редуктор; 8 – електромагнітний зворотний клапан високого тиску; 9 – електронний регулятор тиску; 10 – резервуар стиснутої оливи; 11 – датчик тиску; 12 – контролер машиніста; 13 – електронний блок керування; 14 – обмежник пропускнуої здатності

Початок руху дизель-поїзда після стоянки здійснюється також за сигналом контролера машиніста 12 електронному блоку керування 13, і дія гідроаккумулятора повторюється, як це було до зупинки, з тією різницею, що ГТР1 виконує тепер своє основне призначення – як пусковий при зрушенні дизель-поїзда з місця і подальшого руху до певної позиції контролера машиніста. Після віддалення від стоянки (наприклад, вокзалу) на певну відстань (наприклад, 1 км) машиніст вмикає ДВЗ 5 і установлює позицію контролера машиніста 12, яка відповідає швидкості руху дизель-поїзда (за показниками штатного швидкостеміра). Одночасно електронний блок керування 13 за сигналом датчиків гідропередачі 3 та ДВЗ 5 зупиняє роботу електронного

регулятора тиску 9 (стиснута олива з резервуара 10 не подається до гідропередачі), а робота додаткового насоса 4 буде продовжуватися до досягнення в резервуарі 10 певного тиску, що контролюється датчиком тиску 11. За його сигналом електронний блок керування зупиняє роботу електромагнітного зворотного клапана високого тиску 8, що переведе роботу додаткового насоса 4 в режим холостого ходу, і подача стиснутої оливи в резервуар 10 зупиняється. Запас стиснутої оливи в резервуарі гідроаккумулятора поповнюється додатковим насосом у процесі пересування дизель-поїзда (тепловоза).

При застосуванні розглянутої гібридної силової установки формула (10) набуде вигляду

$$M_n = (M_c + M_r) / U_n \eta_n, \quad (10)$$

де M_r - додатковий момент на валу насосного колеса, Н·м.

При зміні тиску оливи з гідроаккумулятора можливе одержання

різноманітних режимів розгону дизель-поїзда (рис. 4) без значної зміни режимів роботи енергетичної установки, яка більш інерційна. Можливі варіанти рушання зі станції без запуску дизеля та одержання додаткової сили тяги під час руху на перегоні.

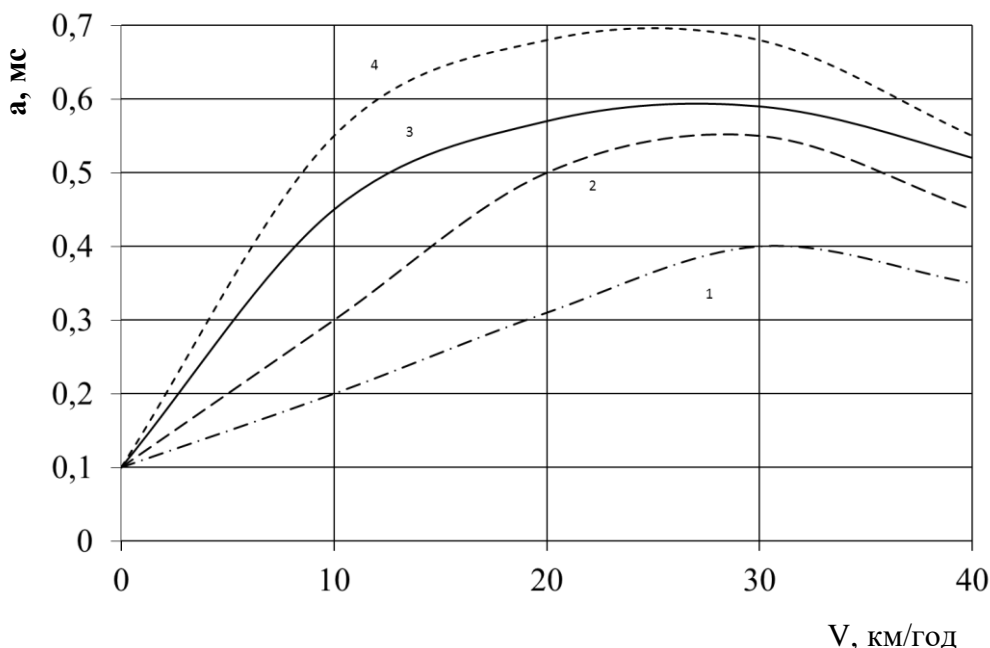


Рис. 4. Залежність прискорення від швидкості для дизель-поїзда: 1 – серійна силова установка; 2, 3, 4 – додаткова потужність 100, 200, 300 кВт

Виконані розрахунки показують, що зміна додаткової потужності, яку забезпечує гібридна силова установка, призводить до значної зміни прискорення та часу розгону. Змінюється швидкість зростання прискорення (кут нахилу графіків), що може призвести до додаткових динамічних навантажень на конструкцію та пасажирів. Підвищення додаткової потужності більш ніж на 200-250 кВт недоцільно, оскільки призводить до перевищення сили тяги обмеження за зчепленням, що спричинить інтенсивне боксування. Крім того, підвищення потужності додаткового джерела енергії призводить до значного зростання габаритних розмірів гідроаккумуляторів, які

неможливо розмістити у дизельному приміщенні, особливо при розміщенні силової установки під кузовом.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Розроблена методика тягових розрахунків розгону дизель-поїзда з гібридною передачею потужності дозволила виявити можливість зміни режимів руху за рахунок зміни швидкості прискорення, що призводить до значної зміни часу, яку потрібен для розгону.

Розроблена схема гібридної передачі потужності відповідає встановленим вимогам і дозволяє покращити тягові та економічні показники дизель-поїздів за рахунок зниження часу руху між

зупинками, витрат палива та викидів шкідливих речовин.

Виконане дослідження показує значну багатоваріантність режимів розгону дизель-поїзда з гібридною передачею потужності та необхідність розроблення методики додаткової оптимізації режимів розгону за рахунок можливої зміни режимів роботи силової установки (ПКМ) і потужності від

додаткового джерела енергії та, як наслідок, виявлення енергоефективних варіантів зміни не тільки сили тяги, швидкості, але й зміни швидкості прискорення руху. Також потрібно додаткове дослідження значень потужності додаткового джерела енергії, вибору їх оптимальних значень під час роботи дизель-поїзда.

Список використаних джерел

1. Басов, Г. Г. Прогнозування розвитку дизель-поїздів для залізниць України [Текст]: монографія / Г. Г. Басов. – Харків: Алекс+, 2004. – 240 с.
2. Meinert, M. Energy storage technologies and architectures for specific diesel-driven rail duty cycles: Design and system integration aspect [Text] / M. Meinert, P. Prenleloup, S. Schmid, R. Palacin // Applied Energy. – 2015. – Vol.157. – P. 619-629.
3. Hui, Hu A multi-objective trainscheduling optimization model considering locomotive assignment and segment emission constraints for energy saving [Text] / Hu Hui, Li Keping, Xu Xiaoming // Journal of Modern Transportation. – 2013. – Vol. 21, is. 1. – P. 9-16.
4. Овчинников, В.М. Гидравлические передачи тепловозов [Текст]: учеб. пособие / В. М. Овчинников, В. А. Халиманчик, В. В. Невзоров. – Гомель: БелГУТ, 2006. – 155 с.
5. Кузьмич, В. Д. Теория локомотивной тяги [Текст]: учеб. для вузов ж. - д. трансп. / В. Д. Кузьмич, В. С. Руднев, С. Я. Френкель. – М.: Маршрут, 2005. – 448 с.
6. Гребенюк, П. Т. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст] / П.Т. Гребенюк, А. Н. Долганов, О. А. Некрасов. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
7. Боднар, Б. Е. О несравнимых вариантах в задаче тяговых расчетов [Текст] / Б. Е. Боднар, А. А. Босов, Д. В. Бобырь // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 12. – С. 57–59.
8. Постол, Б. Г. Теоретические основы разработки рациональных режимов вождения поездов и расчета масс составов [Текст]: учеб. пособие / Б. Г. Постол. – Хабаровск: ДВГУПС, 1998. – 61 с.
9. Боднар, Б. Е. Определение энергосберегающих режимов разгона поездов [Текст] / Б. Е. Боднар, М. И. Капица, А. М. Афанасов, Д. М. Кислый // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 5. – С. 40–52.
10. Кислий, Д. М. Определение энергосберегающих режимов ведения поездов [Текст] / Д. М. Кислий // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2016. – Вип. 1. – С. 71–84.
11. Лосев, Е. П. Эффективность применения накопителей энергии в силовых установках автономных локомотивов [Текст]: дисс. канд. техн. наук: 05.22.07 / Е. П. Лосев. – М.: МГУПС, 2006. – 211 с.
12. Белов, В. А. Повышение эффективности работы гидропередач промышленных тепловозов [Текст]: дисс... канд. техн. наук: 05.22.07 / В. А. Белов. – М.: МГУПС, 2002. – 136 с.
13. Біленький, А. І. Удосконалення конструкції систем регулювання швидкості дизель-поїздів [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.07 / А. І. Біленький. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 19 с.

14. Гібридна силова установка рейкового транспорту з гідروпередачею потужності [Текст]: пат. ИА 112729 МПК F02В 73/00 / Жалкін О. Д., Тартаковський Е. Д., Жалкін С. Г., Жалкін Д. С., Михалків С. В., Фалендиш А. П., Анацький О. О.; заявник і патентовласник Український державний університет залізничного транспорту. - № ua 112729; заявл. 23.10.2015; опубл. 10.10.2016, Бюл. № 9. – 10 с.

Жалкін Денис Сергійович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 093-911-10-40.

E-mail: abdddenis@gmail.com.

Рогатюк Сергій Вікторович, слухач групи МЗ-ТЕМПУС-Б-15-Л, Локомотивне депо Харків-Сортувальний.

Тел.: 066-317-66-44. E-mail: abdd@mail.ru.

Denys Zhalkin doct. of techn. sciences, professor of cathedra maintenance and repair of rolling stock Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: +38093-911-10-40. E-mail: abdddenis@gmail.com.

Sergey Rogatyuk listener of the MZ-TEMPUS-B-15-L, Locomotive depot Khsrkiv-Sortuvalniy Tel.: 066-317-66-44.

E-mail: abdd@mail.ru.

Стаття прийнята 03.11.2016 р.

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

**COLLECTED SCIENTIFIC WORKS OF UKRAINIAN
STATE UNIVERSITY OF RAILWAY**

Випуск 165

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

Статті друкуються в авторській редакції мовою оригіналу

Відповідальний за випуск Янченко Л.В.

Редактор Ібрагімова Н.В.

КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Підписано до друку 27.10.2016 р.
Формат паперу А4. Папір писальний.
Умовн.друк. арк. 22,0. Тираж 105. Замовлення № .

Видавець Український державний університет залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха,7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.