



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 172

Харків 2017

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 31 жовтня 2017 р.

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

Редакційна колегія

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

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

Ломотько Д.В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Мартинов І.Е., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Мойсеєнко В.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Мороз В.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Огар О.М., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Приходько С.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Плугін А.А., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Пузир В.Г., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Тимофеева 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
Bachumont, 75002 PAFIS, FRANCE

© Український державний університет
залізничного транспорту, 2017

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| <i>Крашенінін О. С., Одегов М. М.</i> Обґрунтування тактики організації ремонту обладнання ТРС при подовженні терміну його експлуатації | 4 |
| <i>Продащук С. М., Шаповал Г. В., Богомазова Г. Є., Продащук М. В.</i> Дослідження розподілу навантажувально-розвантажувальних ресурсів при виконанні вантажних операцій | 13 |
| <i>Забелін С. А., Алейнікова А. І.</i> Сучасний підхід до дослідження біогенної корозії каналізаційних колекторів | 20 |
| <i>Яцько С. І., Карпенко Н. П., Ващенко Я. В., Панченко В. В.</i> Розвиток обладнання розподільних пристроїв тягового електропостачання. Частина 1 | 37 |
| <i>Фалендиш А. П., Клецька О. В., Катеренюк Т. С., Кривонос О. О.</i> Прогнозування параметрів твердопаливних котлів для опалення приміщення дизельної лабораторії | 48 |
| <i>Берестов І. В., Кулешов В. В., Берестова Т. Т.</i> Підвищення ефективності транспортної системи прикордонного вузла в умовах функціонування інформаційно-керуючих систем залізниць України | 55 |
| <i>Семко П. О.</i> Числове моделювання трубобетонних колон із рознімними стилями методом скінченних елементів | 65 |

УДК 629.4.083

ОБГРУНТУВАННЯ ТАКТИКИ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕМОНТУ ОБЛАДНАННЯ ТРС ПРИ ПODOВЖЕННІ ТЕРМІНУ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Д-р техн. наук О. С. Крашенінін, старш. викл. М. М. Одетов

ОБОСНОВАНИЕ ТАКТИКИ ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ ТПС ПРИ ПРОДЛЕНИИ СРОКА ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Д-р техн. наук А. С. Крашенинин, старш. препод. Н. Н. Одегов

THE SUBSTANTIATION OF THE TACTICS OF ORGANIZATION OF THE REPAIR OF THE EQUIPMENT OF THE STP FOR EXTENSION OF THE TERM OF ITS OPERATION

Doctor of technical sciences A. S. Krashenin, senior lecturer M. M. Odiehov

Стаття присвячена питанням визначення і обґрунтування тактики організації ремонту обладнання ТРС на основі оптимізації приведених витрат на його проведення. Разом з технічними заходами при обґрунтуванні тактики ТО, ПР ТРС необхідно проводити економічні розрахунки, що визначають зону ефективності дії заходів з організації ТО, ПР ТРС, враховуючі як витрати, так і термін експлуатації ТРС.

Ключові слова: технічний стан, ресурс, ТРС.

Статья посвящена вопросам определения и обоснования тактики организации ремонта оборудования ТПС на основе оптимизации удельных затрат на его проведение. Вместе с техническими мероприятиями при обосновании тактики ТО, ПР ТПС необходимо проводить экономические расчеты, которые определяют зону эффективности мероприятий по организации ТО, ПР ТПС, учитывая как расходы, так и термин службы ТПС.

Ключевые слова: техническое состояние, ресурс, ТПС.

The article is devoted to the questions of definition and justification of the tactics of organization of repair the equipment of locomotives on the basis of optimization of the reduced expenses for its carrying out. Together with the technical measures in justifying the tactics of the maintenance, the current repair of locomotives it is necessary to conduct economic calculations, which determine the area of effectiveness of the activities for the organization of maintenance, current repair of locomotives, taking into account both the cost and the lifetime of the locomotives.

When switching to the modular design and repair of the locomotive system, it is necessary to take into account both the number of implemented modules and the capital and operating costs for their development, which also has its own efficiency zone.

The usage a high-reliability locomotive aggregates allows a greater savings in capital investments. In the latter one must also take into account the reduction in the cost of parts stock in the consumer equipment. In addition to saving capital investment use in the system of aggregates of increased reliability will also be able to obtain savings in operating costs.

Keywords: Technical condition, resource, locomotives.

Вступ. Ремонт будь-якого обладнання ТРС супроводжується проведенням комплексу заходів, що направлені на відновлення або наближення до початкових його характеристик [1-3]. В залежності від типу і форми організації виробництва проведення ремонту навіть для одного і того ж обладнання виконується по-різному [2-4]. Це знаходить відображення в обсягах, часі і інших складових організації ремонту [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В багатьох країнах, що експлуатують залізничну техніку, стає практикою, що фірма або завод, які виготовляють залізничну техніку, починають активно брати участь у забезпеченні її утримання з метою оптимізації витрат за життєвий цикл. Також створюються сервісні центри, що проводять моніторинг технічного стану ТРС і визначають політику забезпечення підприємств, які експлуатують ТРС, ремонтним фондом, запасними частинами тощо.

Суб'єкти інфраструктури залізниць, що надають послуги перевезень, виконують моніторинг стану основних засобів, тому виникає питання про досконалість використання ресурсів протягом експлуатації [1]. Ці питання поставали з моменту виникнення транспортної системи [1,5-11]. Отримали розвиток стратегії та алгоритми утримання ТРС [5-11]. Однак під час розвитку інфраструктури необхідно долучити сучасні підходи до організації ремонту з урахуванням стандартних рішень та додаванням обґрунтованої економічної доцільності для підтримки працездатного стану обладнання ТРС як нового, так із подовженим терміном служби..

Визначення мети та задачі дослідження. Мета статті полягає в обґрунтуванні:

– тактики ТО, ПР ТРС з урахуванням економічних розрахунків щодо зони ефективності дії заходів з організації ТО, ПР ТРС;

– переходу на модульне конструювання й ТО, ПР ТРС.

Основна частина дослідження. Від термінів служби окремих вузлів і агрегатів залежить термін служби всього ТРС у цілому й витрати на його ремонт. Терміни служби окремих вузлів і агрегатів ТРС неоднакові. Вони повинні бути зв'язані із установленою для всього ТРС періодичністю ТО і ремонтів і узгоджені із терміном служби ТРС у цілому [11-15].

Велике значення має досягнення рівномірності деталей вузлів і агрегатів ТРС. В експлуатації часто терміни служби вузлів і агрегатів не рівні й не кратні міжремонтному терміну служби ТРС. Це викликає потребу заміни вузлів і агрегатів, що вийшли з ладу, при проведенні планових та непланових ремонтів ТРС.

У практику інженерних розрахунків давно ввійшли розрахунки на статичну міцність і утому. У той же час методи розрахунків зміни надійності агрегатів ТРС і втрат ними економічності не набули необхідного розвитку.

Іноді вважається, що термін служби вузла або агрегату є суто технічним показником. Однак у будь-якому ТРС є агрегати й вузли, зношування яких погіршує економічні показники роботи ТРС.

Формули для розрахунків термінів служби агрегатів ТРС дають підставу для припущення, що терміни служби можна визначити на основі тільки технічних міркувань. Дійсно, у ці технічні формули входять такі величини, які вимагають економічного обґрунтування.

Так, міжремонтний термін служби вузла, що зношується під впливом тертя, визначається за формулою

$$T_m = \frac{\delta_m - \delta_n}{tg \alpha}, \quad (1)$$

де T_m – міжремонтний термін служби вузла, рр.;

δ_n – початковий зазор між агрегатами, що сполучають, мм;

δ_m – максимально припустимий зазор у місці найбільшого вироблення, мм;

$tg\alpha$ – величина, що характеризує ступінь інтенсивності наростання зношування після періоду прироблення.

Величина δ_m в (1) формулі вимагає економічного обґрунтування. Без установлення обґрунтованих допусків зношування агрегатів не можна визначити межі їх служби за фізичним зношуванням.

Розглянемо питання, як визначити економічний ефект від підвищення термінів служби окремих агрегатів ТРС. Якщо середній очікуваний термін служби розглянутого агрегату збільшився з T_{c_1} до T_{c_2} років, а ціна її при цьому зросла з C_{a_1} до C_{a_2} грн/агрегат, то в економічних розрахунках треба визначити ту економію Δa_c , яка буде отримана на власне амортизаційних відрахуваннях за цим агрегатом

$$\Delta a_c = \frac{C_{a_1}}{T_{c_1}} - \frac{C_{a_2}}{T_{c_2}} \frac{\text{грн/р.}}{\text{агрегат}}, \quad (2)$$

де Δa_c – економія амортизаційних відрахувань за даним агрегатом, грн/р.;

C_{a_1} і C_{a_2} – ціна агрегату, що має менший і більший термін служби, грн;

T_{c_1} і T_{c_2} – середній очікуваний термін служби цього агрегату в колишньому варіанті й більш тривалий, у новому варіанті, що вимірюється роками.

У тих же випадках, коли терміном дії агрегату визначається корисний термін служби всього ТРС, на якому вони встановлені, економія амортизаційних відрахувань $\Delta a'_c$, одержувана завдяки можливості збільшення терміну служби агрегатів, складе

$$\Delta a'_c = \frac{C_c + C_b}{T_{c_1}} - \frac{C_c + C_b + C_l}{T_{c_2}}, \quad (3)$$

де C_c – ціна агрегату (без вартості додаткового встаткування), тис. грн;

C_b – вартість установлення на агрегаті нових деталей, тис. грн;

C_l – вартість додаткових діагностичних приладів для контролю агрегату, тис. грн.

У деяких випадках, крім вартості деталей C_a , у порівнюваних варіантах агрегатів різного рівня надійності буває потрібно враховувати ще й витрати праці, що пов'язані з їхньою заміною. Останнє суттєво залежить від того, як розміщені ці агрегати в устаткуванні. Буває так, що ціна самого агрегату зросла ($C_{a_2} > C_{a_1}$), але оскільки її більш зручно розмістили в схемі, ремонтпридатність агрегату теж підвищилася, а сумарні витрати, пов'язані з її заміною, зменшилися

$$(C_{a_2} + B_{e_2}) < (C_{a_1} + B_{e_1}), \quad (4)$$

де B_{e_1} й B_{e_2} – основна й додаткова заробітна плата працівника, що здійснює заміну даного агрегату, разом з нарахуваннями соціального страхування, тис. грн.

Тому, оскільки вдалося підвищити також і термін служби нового агрегату $T_{c_1} > T_{c_2}$, щорічна економія засобів, пов'язана з їх заміною, складе

$$\Delta S_3 = \frac{C_{a_1} + B_{e_1}}{T_{c_1}} + \frac{C_{a_2} + B_{e_2}}{T_{c_2}}, \text{ тис. грн.} \quad (5)$$

Як видно з наведених прикладів, структура амортизаційних відрахувань зводиться до вигляду $\Delta a_l = k_1 - k_2$,

$$k_1 = \frac{C_1}{T_1}, \quad k_2 = \frac{C_2}{T_2}.$$

Також c_1 і c_2 включають в себе інші додаткові складові, в залежності від вирішування завдань. Це дозволяє в загальному вигляді подати зміну

$\Delta a_l = f(k_1, k_2)$, як показано на рис. 1. Розрахункові дані для побудови цієї залежності подано в табл. 1.

Таблиця 1

Розрахункові дані для визначення функції амортизаційних відрахувань

| $k_2 \backslash k_1$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 6 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 7 | -6 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 |
| 8 | -7 | -6 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 |
| 9 | -8 | -7 | -6 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 |

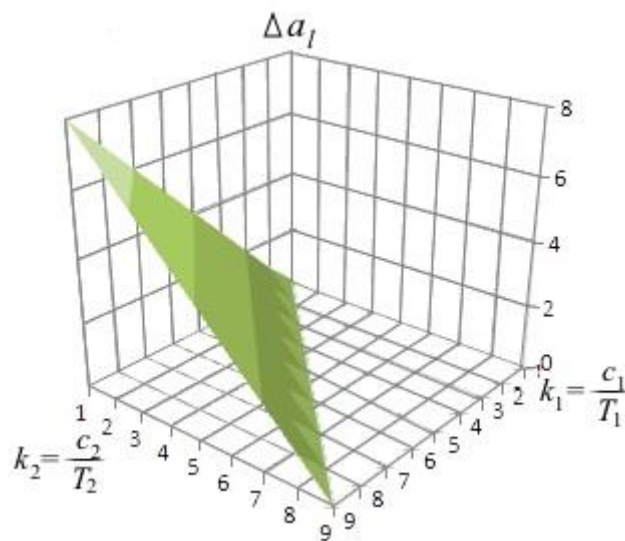


Рис. 1. Економічний ефект від підвищення терміну служби вузла та агрегату ТРС

При визначенні економічно оптимального терміну служби будь-якого агрегату ТРС слід враховувати також взаємозв'язок між зносостійкістю агрегатів, що сполучаються. У деяких випадках збільшення терміну служби одного зчленованого агрегату, що сполучається з

іншими, може привести до зменшення терміну служби іншого агрегату. Тому не можна визначати економічно оптимальний термін служби кожного агрегату окремо. Оптимальними термінами служби окремих агрегатів є ті терміни їх служби, які забезпечують економічно оптимальні

терміни служби всіх агрегатів вузлів, у які вони входять.

Розглянемо хід розв'язання завдання докладніше на загальному прикладі.

У табл. 2 наведені витрати при п'яти варіантах термінів служби охоплюваного вузла.

Таблиця 2

Порівняння витрат охоплюваного агрегату

| № варіанта | Термін служби T_c , рр. | | Ціна агрегату z_d , грн | | | Річна амортизація агрегату a_c , грн/р. | | | Термін окупності додаткових капітальних вкладень τ , рр. |
|------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|--------------|---|----------------------|-----------------|---|
| | охоплюваного агрегату | охоплюючого агрегату | охоплюваного агрегату | охоплюючого агрегату | усього вузла | охоплюваного агрегату | охоплюючого агрегату | усього агрегату | |
| 1 | 1 | 4,5 | 100 | 500 | 600 | 100 | 110 | 220 | – $\tau_{2/1}=1,3$ неефективні варіанти |
| 2 | 1,5 | 4 | 120 | 500 | 620 | 80 | 125 | 205 | |
| 3 | 2 | 3 | 140 | 500 | 640 | 70 | 166 | 236 | |
| 4 | 3 | 2,5 | 180 | 500 | 680 | 60 | 200 | 260 | |
| 5 | 5 | 1,5 | 220 | 500 | 720 | 44 | 320 | 374 | |

З табл. 2, у якій наведені витрати на весь вузол, видно, що найбільш ефективним варіантом є другий, при якому охоплюваний вузол має термін служби $T_c=1,5$ р. Варіанти № 3, 4 і 5 виключаються як явно неефективні, оскільки вони вимагають більших капітальних вкладень і більших експлуатаційних витрат.

На цьому прикладі видно, що терміни служби вузлів слід визначати виходячи із ефективних термінів служби вузлів, у які вони входять. У ряді випадків при розрахунках оптимальних термінів служби вузлів та агрегатів треба враховувати також вплив їх на терміни служби інших агрегатів, а не тільки на терміни служби агрегатів, до складу яких входять дані вузли.

Першорядне значення при визначенні термінів служби агрегатів і вузлів у багатьох випадках має зменшення втрат від простоїв машини в ремонтах, пов'язаних з їхньою заміною. Оскільки кожний агрегат

ТРС має свій власний термін служби, прагнення максимально довготерміново використовувати агрегат може викликати збільшення простоїв ТРС у ремонті. Щоб не виводити ТРС занадто часто в ремонт і разом з тим мати гарантію від аварій, агрегати з різними термінами служби поєднують в одну ремонтну групу. Таке об'єднання агрегатів проводиться за принципом зближення термінів ремонту. Внаслідок цього частина агрегатів замінюється раніше, ніж вичерпується термін їх служби по фізичному зношуванню. Тільки для тих агрегатів, заміна яких може бути зроблена без розбирання й тривалої зупинки, термін заміни відповідає терміну служби. Тому одним із важливих завдань конструювання ТРС є таке конструювання вузлів, при якому максимальна кількість деталей могла б легко замінюватися. Тим самим збільшується використання деталей вузлів ТРС, а

терміни служби їх не треба зменшувати шляхом формування деталей у групи, що замінюються при одному ремонті.

Таким чином, конструкція кожного вузла ТРС повинна визначатися з урахуванням його терміну служби в співвідношенні витрат на виготовлення й ремонт у процесі експлуатації. Розглянемо як ілюстрації, як повинно вирішуватися питання щодо доцільності виготовлення ТРС модульної конструкції. Якщо виготовляти ТРС модульної конструкції, то такі ТРС можуть обійтися дорожче на суму

$$K_{\bar{0}.m} + \sum_{i=1}^{n_m} K_{m_i} n_{m_i} - K_{\bar{0}}, \quad (6)$$

де $K_{\bar{0}}$ – вартість виготовлення ТРС, що не мають модулів, тис.грн;

$K_{\bar{0}.m}$ – вартість виготовлення ТРС із модулями, тис. грн;

K_{m_i} – вартість виготовлення i -х модулів, тис. грн;

n_m, n_{m_i} – відповідно кількість усіх модулів та i -х модулів, агрегат.

Через T років експлуатації ТРС модульної конструкції буде отримана економія на ремонтах у розмірі

$$n_m (S_{p.\bar{0}} - S_m), \quad (7)$$

де $S_{p.\bar{0}}$ – вартість ремонту устаткування ТРС без модулів через T років його експлуатації;

S_m – вартість ремонту ТРС модульної конструкції через T років його експлуатації.

Щоб зрівняти витрати, в різний термін експлуатації, потрібно витрати, що отримані через T років експлуатації ТРС, помножити на величину $\frac{1}{(1 + \alpha'_n)^T}$, де α'_n – норматив для приведення різночасових витрат; T – кількість років експлуатації ТРС.

Отже, виготовлення ТРС модульного типу буде ефективним за умови

$$\left(K_{\bar{0}.m} + \sum_{i=1}^{n_m} K_{m_i} n_{m_i} - K_{\bar{0}} \right) < \frac{n_m (S_{p.\bar{0}} - S_m)}{(1 + \alpha'_n)^T}. \quad (8)$$

Подамо формулу (8) у вигляді

$$\Delta K < \frac{n_m \Delta S}{(1 + \alpha)^T}, \quad (9)$$

де $\Delta K = K_{\bar{0}.m} + \sum_{i=1}^{n_m} K_{m_i} n_{m_i} - K_{\bar{0}}$ – капітальні витрати, тис. грн;

$\Delta S = S_{p.\bar{0}} - S_m$ – економія експлуатаційних витрат, тис. грн.

Для визначення T – терміну експлуатації ТРС прологарифмуємо формулу (9) і отримаємо вираз

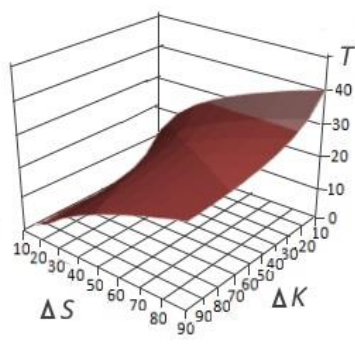
$$T = \log_{1+\alpha} \frac{n_m \Delta S}{\Delta K}. \quad (10)$$

Зручно подати поведінку $T = f(n_m, \Delta S, \Delta K)$ у графічному вигляді рис. 2 (а, б, в, які сформовані на підставі розрахунків для $n_m=5, 10, 20$ в табл. 3).

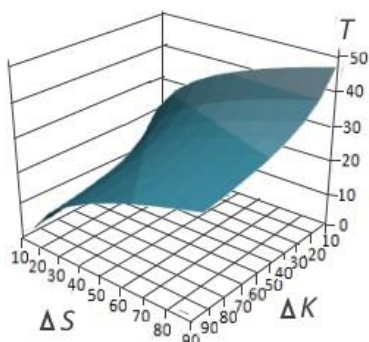
Таблиця 3

Розрахунок терміну експлуатації ТРС

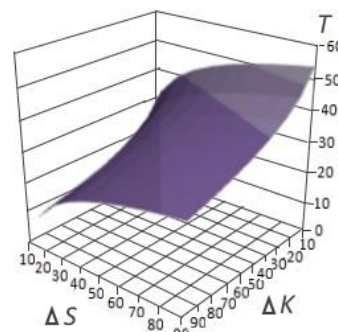
| n_m | $\Delta S \backslash \Delta K$ | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| | 5 | 10 | 16,89 | 9,614 | 5,36 | 2,341 | 0 | -1,913 | -3,53 | -4,931 |
| 20 | | 24,16 | 16,89 | 12,63 | 9,614 | 7,273 | 5,36 | 3,742 | 2,341 | 1,105 |
| 30 | | 28,41 | 21,14 | 16,89 | 13,87 | 11,53 | 9,614 | 7,996 | 6,595 | 5,36 |
| 40 | | 31,43 | 24,16 | 19,9 | 16,89 | 14,55 | 12,63 | 11,01 | 9,614 | 8,378 |
| 50 | | 33,77 | 26,5 | 22,25 | 19,23 | 16,89 | 14,97 | 13,36 | 11,96 | 10,72 |
| 60 | | 35,69 | 28,41 | 24,16 | 21,14 | 18,8 | 16,89 | 15,27 | 13,87 | 12,63 |
| 70 | | 37,3 | 30,03 | 25,78 | 22,76 | 20,42 | 18,5 | 16,89 | 15,49 | 14,25 |
| 80 | | 38,7 | 31,43 | 27,18 | 24,16 | 21,82 | 19,9 | 18,29 | 16,89 | 15,65 |
| 90 | | 39,94 | 32,67 | 28,41 | 25,39 | 23,05 | 21,14 | 19,52 | 18,12 | 16,89 |
| 10 | 10 | 24,16 | 16,89 | 12,63 | 9,614 | 7,273 | 5,36 | 3,742 | 2,341 | 1,105 |
| | 20 | 31,43 | 24,16 | 19,9 | 16,89 | 14,55 | 12,63 | 11,01 | 9,614 | 8,378 |
| | 30 | 35,69 | 28,41 | 24,16 | 21,14 | 18,8 | 16,89 | 15,27 | 13,87 | 12,63 |
| | 40 | 38,7 | 31,43 | 27,18 | 24,16 | 21,82 | 19,9 | 18,29 | 16,89 | 15,65 |
| | 50 | 41,05 | 33,77 | 29,52 | 26,5 | 24,16 | 22,25 | 20,63 | 19,23 | 17,99 |
| | 60 | 42,96 | 35,69 | 31,43 | 28,41 | 26,07 | 24,16 | 22,54 | 21,14 | 19,9 |
| | 70 | 44,58 | 37,3 | 33,05 | 30,03 | 27,69 | 25,78 | 24,16 | 22,76 | 21,52 |
| | 80 | 45,98 | 38,7 | 34,45 | 31,43 | 29,09 | 27,18 | 25,56 | 24,16 | 22,92 |
| | 90 | 47,21 | 39,94 | 35,69 | 32,67 | 30,33 | 28,41 | 26,8 | 25,39 | 24,16 |
| 20 | 10 | 31,43 | 24,16 | 19,9 | 16,89 | 14,55 | 12,63 | 11,01 | 9,614 | 8,378 |
| | 20 | 38,7 | 31,43 | 27,18 | 24,16 | 21,82 | 19,9 | 18,29 | 16,89 | 15,65 |
| | 30 | 42,96 | 35,69 | 31,43 | 28,41 | 26,07 | 24,16 | 22,54 | 21,14 | 19,9 |
| | 40 | 45,98 | 38,7 | 34,45 | 31,43 | 29,09 | 27,18 | 25,56 | 24,16 | 22,92 |
| | 50 | 48,32 | 41,05 | 36,79 | 33,77 | 31,43 | 29,52 | 27,9 | 26,5 | 25,26 |
| | 60 | 50,23 | 42,96 | 38,7 | 35,69 | 33,34 | 31,43 | 29,81 | 28,41 | 27,18 |
| | 70 | 51,85 | 44,58 | 40,32 | 37,3 | 34,96 | 33,05 | 31,43 | 30,03 | 28,79 |
| | 80 | 53,25 | 45,98 | 41,72 | 38,7 | 36,36 | 34,45 | 32,83 | 31,43 | 30,2 |
| | 90 | 54,48 | 47,21 | 42,96 | 39,94 | 37,6 | 35,69 | 34,07 | 32,67 | 31,43 |



а



б



в

Рис. 2. Залежність терміну експлуатації ТРС від параметрів $n_m, \Delta S, \Delta K$

При розв'язанні питань щодо вибору найбільш ефективних засобів підвищення надійності й довговічності окремого устаткування необхідно враховувати й те значення, яке воно має для всієї системи, у яку вони вбудовуються. Це вимагає обліку збитків U_n , обумовлених простоями ТРС в ремонті через відмову даного агрегату. У деяких випадках при розв'язанні розглянутого завдання треба враховувати ще й економію коштів ΔF від зменшення запасу цих агрегатів, що зберігається в споживача. Крім того, оскільки зросла вартість самого агрегату підвищеної надійності ($c_{a_2} > c_{a_1}$), у розрахунках

наведених річних витрат треба врахувати додаткові витрати, пов'язані із цим, $\varepsilon_n (c_{a_2} - c_{a_1})$.

Для визначення оптимальних термінів утримання агрегатів необхідно визначити закони зміни відповідних робочих характеристик ТРС і витрат на їх експлуатацію у функції від часу роботи даного вузла.

З урахуванням усіх перерахованих факторів економія наведених річних витрат E_l , обумовлена підвищенням терміну служби окремого агрегату встаткування, визначиться як

$$E_l = \Delta Z_l + \varepsilon_n \Delta K_c + \Delta E_n - \varepsilon_n (c_{a_2} - c_{a_1}), \text{ тис. грн,} \quad (11)$$

де ΔZ_l – економія витрат, пов'язана із заміною агрегату, *грн/р.*;

ΔE_n – зменшення збитків, обумовлених простоями ТРС в ремонті через відмову даного агрегату, $\frac{\text{грн/р.}}{\text{агрегат}}$;

ΔK_c – економія коштів, виведених у запас агрегатів, що зберігається у споживача, *грн/агрегат*;

c_{a_2} і c_{a_1} – ціна нового й старого агрегату, *грн/агрегат*.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку:

1. Разом з технічними заходами при обґрунтуванні тактики ТО, ПР ТРС необхідно здійснювати економічні розрахунки, що визначають зону ефективності дії заходів з організації ТО, ПР ТРС, враховуючі як витрати, так і термін експлуатації ТРС. Графічні залежності термінів експлуатації ТРС від параметрів $n_m, \Delta S, \Delta K$ (рис. 2) дозволяють визначити зону ефективності дії заходів з організації ТО, ПР ТРС, наприклад, при

зміні відсотка капітальних вкладень на 30 % та незмінній економії експлуатаційних витрат термін експлуатації ТРС доцільно збільшити на 18 %.

2. При переході на модульне конструювання й ремонту ТРС слід урахувати як кількість упроваджених модулів, так і капітальні, експлуатаційні витрати на їх освоєння, що також має свою зону ефективності. На прикладі залежностей терміну експлуатації ТРС від параметрів $n_m, \Delta S, \Delta K$ отримуємо при зміні кількості модулів з 5 до 20 при однакових ΔS і ΔK зростання терміну майже вдвічі.

3. Використання для ТРС агрегатів підвищеної надійності дозволяє одержати більшу економію капітальних вкладень ΔK_e . В останній треба врахувати ще й зменшення вартості запасу частин у споживача встаткування. Крім економії капітальних вкладень використання в системі агрегатів підвищеної надійності дозволить одержати також економію на експлуатаційних витратах ΔE_e .

Список використаних джерел

1. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог [Текст]: монография / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин, А. П. Фалендиш. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2011. – 174 с.
2. Колегаев, Р. Н. Определение оптимальной долговечности технических систем [Текст] / Р. Н. Колегаев. – М.: Советское радио, 1967. – 212 с.
3. Половко, А. М. Основы теории надежности [Текст] / А. М. Половко. – М.: Наука, 1964. – 194 с.
4. Проников, А. С. Повышение долговечности станочного парка [Текст] / А. С. Проников. – М.: Высшая школа, 1961. – 534 с.
5. Селиванов, А. И. Основы теории старения машин [Текст] / А. И. Селиванов. – М.: Машиностроение, 1964. – 174 с.
6. Григорьев, М. А. Обеспечение надежности двигателей [Текст] / М. А. Григорьев, В. А. Долецкий. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 323 с.
7. Гурвич, И. Б. Оценка предельного технического состояния двигателей на основе ускоренных стендовых испытаний [Текст] / И. Б. Гурвич, В. И. Чумак, А. П. Егорова // Автомобильная промышленность. – 1972. – №8. – С. 6-9.
8. Михлин, В. М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники [Текст] / В. М. Михлин. – М.: Колос, 1984. – 186 с.
9. Чумак, В. И. Пути повышения народнохозяйственной эффективности производства и эксплуатации двигателей [Текст] / В. И. Чумак // Автомобильная промышленность. – 1983. – №1. – С. 2-4.
10. Чумак, В. И. Разработка метода оценки ресурса подвижных сопряжений ДВС на основе физической модели изнашивания [Текст] / В. И. Чумак // Двигателестроение. – 1987. – №12. – С. 9-11,31.
11. Покращення організації технічного обслуговування та поточного ремонту тягового рухомого складу в післянормативний термін його використання [Текст] / О. С. Крашенінін, О. О. Шапатіна, Ю. В. Черняк [та ін.] // Транспортні інновації. – К., 2011. – № 9. – С. 26-28.
12. Оценка периодичности технического обслуживания и ремонта в период посленормативных сроков эксплуатации ТПС [Текст] / А. С. Крашенінін, О. А. Шапатіна, С. А. Матвиенко, К. А. Зезюлин // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2011. – Вип. 128. – С. 165-167.
13. Крашенінін, О. С. Оцінка ефективності системи подовження терміну служби ТРС більш нормативного і оновлення експлуатаційного парку [Текст] / О. С. Крашенінін, П. О. Харламов // Вісник Східноукраїнського університету ім. Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ, 2012. – № 3(174). – С. 109-113.
14. Parada Puig, J.E., Basten, R.J.I. and L.A.M. van Dongen Investigating maintenance decisions during initial fielding of rolling stock [Text] // Selection and peer-review under responsibility of the International Scientific Committee of the “2nd International Through-life Engineering Services Conference” and the Programme Chair – Ashutosh Tiwari. Procedia CIRP 11, 2013. – P. 199-203.
15. Aghil Rezaei Somarin, Songlin Chen, Sobhan Asian, David Z.W. Wang. A heuristic stock allocation rule for repairable service parts // International Journal of Production Economics. Vol. 184, 2017. - P. 131-140.

Крашенінін Олександр Семенович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-19-99. E-mail: alsem1512@gmail.com.
Одегов Микола Миколайович, старший викладач кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: 8084214@ukr.net.

Krashenin Oleksandr Semenovych, doctor of technical sciences, professor, department of exploitation and repair of rolling stock Ukrainian State Academy of Railway Transport.

Odiehov Mykola, senior lecturer power engineering, electrical engineering and electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-74. E-mail: 8084214@ukr.net.

Стаття прийнята 05.10.2017 р.

УДК 656.212.6

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖУВАЛЬНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РЕСУРСІВ ПРИ ВИКОНАННІ ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ

Кандидати техн. наук С. М. Продащук, Г. В. Шаповал, асист. Г. Є. Богомазова, студ. М. В. Продащук

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ

Кандидаты техн. наук С. Н. Продащук, А. В. Шаповал, ассист. А. Е. Богомазова, студ. Н. В. Продащук

THE STUDY OF THE DISTRIBUTION OF THE LOADING AND UNLOADING RESOURCES WHEN PERFORMING CARGO OPERATIONS

Phd. tehn. S. M. Prodashchuk, G. V. Shapoval, as. G. E. Bogomazova, stud. M. V. Prodashchuk

Значну частину обігу вантажні вагони перебувають під виконанням вантажних операцій. Це найбільш трудомісткі, складні та дорогі роботи, на ефективність яких суттєво впливає технологія роботи. Для зменшення витрат, що виникають під час здійснення вантажних операцій, запропонована модель оптимального розподілу навантажувально-розвантажувальних ресурсів, застосування якої дозволить визначити найбільш раціональну технологію роботи шляхом скорочення експлуатаційних витрат.

Ключові слова: вантажні операції, вантажні фронти, технологія роботи, раціональний розподіл.

Значительную часть оборота грузовые вагоны находятся под выполнением грузовых операций. Это наиболее трудоемкие, сложные и дорогостоящие работы, на эффективность которых существенно влияет технология работы. Для уменьшения затрат на выполнение грузовых операций предложена модель оптимального распределения погрузочно-разгрузочных ресурсов, которая позволит определить наиболее рациональную технологию работы грузового фронта за счет сокращения эксплуатационных расходов.

Ключевые слова: грузовые операции, грузовые фронты, технология работы, рациональное распределение.

The analysis carried out in the work showed that a significant part of their turnover time freight cars are under the performance of cargo operations. These operations are the most laborious, complex and have a high cost. Time for performing loading, unloading, reloading and sorting operations depends on the type and technical characteristics of the loading and unloading

resources that are used for this purpose. In addition, during the operation of cargo operations, the technology of the cargo front operation is affected. Efficiency of cargo operations depends on the distribution of loading and unloading resources by type of work performed and types of cargo that are processed. To reduce the costs that arise when carrying out freight operations on the freight fronts of the station and the access road, a model is proposed to determine the optimal distribution of loading and unloading resources. The use of the proposed model will allow to determine the most optimal technology of the freight front operation by reducing operating costs at a rational level of loading and unloading resources. Simulation of the work of a cargo front for the conditions of a freight station using combinatorial analysis methods is carried out.

Keywords: cargo operations, cargo fronts, technology, rational distribution.

Вступ. В сучасних умовах реформування залізничного транспорту при несприятливому економічному становищі в країні, збитковості пасажирських перевезень, зменшенні обсягу перевезень вантажів питання ефективності та раціоналізації використання виробничих і трудових ресурсів, максимальної економії та скорочення витрат на залізничному транспорті набувають актуальності [1]. На сьогодні понад 70 % вантажів перевозяться за низькими тарифами [2]. Тому одним з основних джерел доходу залізниці є вантажна та комерційна діяльність. На залізничному, як і на інших видах транспорту, ці роботи найбільш трудомісткі, важкі та мають велику вартість. За даними Укрзалізниці, в теперішній час на мережі залізниць нараховується 1521 станція, з яких 1100 станцій відкриті для виконання вантажних операцій, тобто 76,3 %. Вантажні операції виконують сортувальні, дільничні, вантажні станції та майже 60 % проміжних станцій.

Але недостатній розвиток прогресивних технологій виконання вантажних операцій, нераціональний розподіл вантажних ресурсів по вантажних фронтах викликають суттєву потребу в трудових і матеріальних ресурсах, що значно зменшує дохідність залізниць. Тому невідкладного вирішення потребують питання технічного переоснащення та модернізації об'єктів вантажного господарства, раціонального розподілу існуючих ресурсів та удосконалення

технології роботи з урахуванням взаємодії усіх ланок виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання удосконалення технології роботи тісно пов'язані з оптимізацією технічного оснащення станцій.

Питаннями організації вантажної та комерційної роботи, комплексної механізації і автоматизації навантажувально-розвантажувальних робіт, надійності роботи навантажувально-розвантажувальних машин, моделювання технології роботи на основі прогнозування займалися Ломотько Д. В. [3], Бутько Т. В. [4], Сміхов А. О. [5, 6], Котенко А. М. [7] та багато інших вчених. В роботах [8, 9] розглянуті питання побудови математичних моделей прогнозування кількісних та якісних показників вантажної роботи, обслуговування транспортних заявок, керування запасами, розподілу вантажних пристроїв по вантажних фронтах та побудови оптимізаційних динамічних моделей. В моделях не враховані витрати, що пов'язані із затримкою документів і вантажу на шляху прямування. Автори в дослідженні [10] стверджують, що головним напрямом щодо покращення ефективності функціонування залізниць України є оптимальний розподіл вагонопотоків по дільницях і напрямках мережі. При цьому не врахована переробна спроможність вантажних фронтів. Організація роботи залізничного транспорту з промисловими підприємствами для скорочення непродуктивних простоїв під вантажними операціями розглядається в

[11]. Необхідною складовою для ефективного виконання вантажних операцій є достовірне прогнозування та, на його основі, якісне планування вантажних робіт. У галузі вдосконалення оперативного планування навантаження-вивантаження працювали вчені [12, 13]. Для планування роботи вантажного транспорту в [14] пропонується алгоритм нечіткої регресії з точним передбаченням і пристосованістю системи до реальної ситуації. Автори стверджують, що алгоритм нечіткої регресії є більш ефективним, ніж нейронна мережа при великомасштабному плануванні та прогнозуванні. До останнього часу не ставилось питання про оптимальний розподіл технічних засобів між окремими вантажними фронтами. Тому виникає необхідність перегляду існуючих технологій роботи, розробки нових методів розрахунку технологічних параметрів та моделей роботи станцій та вантажних районів.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою дослідження є вирішення прикладної задачі підвищення ефективності функціонування вантажного фронту станції шляхом удосконалення технології роботи навантажувально-розвантажувальних ресурсів при виконанні вантажних операцій шляхом їх раціонального розподілу.

Сформована мета потребує розв'язання таких завдань:

- формалізація технології роботи вантажного фронту станції при виконанні вантажних операцій різними типами навантажувально-розвантажувальних ресурсів;

- надання оцінки ефективності запропонованої технології роботи при раціональному розподілі навантажувально-розвантажувальних ресурсів.

Основна частина дослідження. При застосуванні на вантажних фронтах декількох видів пересувних навантажувально-розвантажувальних ресурсів (НРР), за допомогою яких переробляються різні види навалочних вантажів, наприклад, тракторні

та ківшові навантажувачі різних типів, екскаватори різних типів, грейфери, однакшові навантажувачі та ін., які в однаковій мірі можливо використовувати при переробці гравію, вугілля, щебеню, піску та інших навалочних вантажів, необхідно визначення ефективної технології роботи при раціональному розподілі існуючих НРР з метою мінімізації експлуатаційних витрат. Різні види ресурсів мають різну вартість і продуктивність при переробці різних видів вантажів.

При відомому обсязі $Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_m$ ($i=1, 2, \dots, b$) позначимо кількість НРР кожного типу $M_1, M_2, \dots, M_k, \dots, M_n$ ($i=1, 2, \dots, M^{\max}$). Необхідно знайти такі Q_{ik} і M_{ik} , при яких функціонал R^w набуває мінімуму

$$R^w(M_{ik}, Q_{ik}) = \min \sum_{k=1}^{M^{\max}} \sum_{i=1}^b R_{ik}, \quad (1)$$

при обмеженнях

$$\begin{cases} M_i^{\min} \leq M_i \leq M_i^{\max} \\ T_i^{\min} \leq T_i \leq T_i^{\max} \\ T_{доцм} = T_{см} \end{cases} \quad (2)$$

де b – кількість видів вантажу на вантажному фронті;

M_{ik} – кількість НРР k -го типу для роботи з вантажем i -го виду, шт;

Q_{ik} – обсяг вантажу i -го виду, що перевантажено k -м типом НРР, т;

$T_{см}$ – статутний термін доставки, доб.

Вираз критерію оптимізації для переробки i -го вантажу k -м типом машин, тобто модель розподілу НРР для переробки різних видів вантажів при недетермінованому надходженні транспортних засобів до вантажного фронту

$$R_{ik} = V_{рем}^{HPM} + V_{пр}^a + V_{оч}^{H(e)} + V_{обсл}^{HPM} + V_{оч}^{HPM} + V_{ел(n)}^{HPM} + V_{затр}^{док} + V_{затр}^{вант}. \quad (3)$$

Витрати, пов'язані з амортизацією і ремонтом НРР з урахуванням коефіцієнта ефективності капіталовкладень

$$V_{рем}^{HPM} = K_{ik} M_{ik} (s_k + e_k), \quad (4)$$

де K_{ik} – вартість одного НРР k -го типу, грн;

s_k – частка амортизаційних відрахувань на НРР k -го типу;

e_k – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень на НРР k -го типу.

Витрати, пов'язані з простоем автотранспортних засобів при навантаженні або вивантаженні НРР k -го типу i -го вантажу

$$V_{оч}^{H(e)} = N_a t_{aik} C_a, \quad (5)$$

де N_a – кількість автомобілів, що надходять до вантажного фронту за час його роботи, шт;

t_{aik} – час виконання вантажних операцій НРР k -го типу з i -м вантажем, год;

C_a – вартість години простою автомобілю, грн.

Витрати через очікування автотранспортом виконання вантажних операцій

$$V_{оч}^{H(e)} = N_a t_{owa} C_a, \quad (6)$$

$$t_{owa} = \frac{\frac{1}{2} Q_{ik} t_a (1 + v_a^2)}{TP_{ik} M_{ik} (1 - \frac{Q_{ik}}{TP_{ik} M_{ik}})}, \quad (7)$$

$$t_{kow} = \frac{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{Q_{ik} M_{ik} P_{ik}}{T} \right) t_a (1 + v_a^2) Q_{ik} M_{ik} P_{ik}}{T}, \quad (11)$$

де t_{kow} – час очікування НРР k -го типу початку вантажних операцій, год;

C_{prk} – вартість години простою НРР k -го типу, грн.

де t_{owa} – час очікування автотранспортом виконання вантажних операцій, год;

t_a – час простою автотранспорту, год;

v_a – коефіцієнт варіації надходження автомобілів до вантажного фронту;

T – час роботи вантажного фронту, год;

P_{ik} – продуктивність НРР k -го типу при переробці i -го вантажу, т/год.

$$V_{оч}^{H(e)} = \frac{\frac{1}{2} N_a Q_{ik} t_a (1 + v_a^2) C_a}{TP_{ik} M_{ik} (1 - \frac{Q_{ik}}{TP_{ik} M_{ik}})}. \quad (8)$$

Витрати на утримання працівників, що обслуговують НРР k -го типу,

$$V_{обсл}^{HPM} = \frac{Q_{ik} M_{ik} C_{kw}}{k_o P_{ik}}, \quad (9)$$

де C_{kw} – заробітна платня працівників, що обслуговують НРР k -го типу, грн;

k_o – коефіцієнт використання робочого часу НРР k -го типу.

Витрати, пов'язані з очікуванням НРР k -го типу виконання вантажних операцій, обумовлені випадковим підходом автомобілів до вантажного фронту,

$$V_{оч}^{HPM} = M_{ik} t_{kow} C_{prk}, \quad (10)$$

$$V_{оч}^{HPM} = \frac{\frac{1}{2} M_{ik} \left(1 - \frac{Q_{ik} M_{ik} P_{ik}}{T} \right) t_a (1 + v_a^2) Q_{ik} M_{ik} P_{ik} C_{prk}}{T}. \quad (12)$$

Витрати на електроенергію або паливо для НРР

$$V_{ел(n)}^{HPM} = \frac{Q_{ik} M_{ik} (C_{ke} + C_{kt})}{P_{ik}}, \quad (13)$$

де C_{ke} – вартість електроенергії для переробки i -го вантажу k -м типом НРР, грн;

C_{kt} – вартість палива для переробки i -го вантажу k -м типом НРР, грн.

Витрати, пов'язані з затримкою оформлення перевізних документів на вантажі, що прибули або відправляються,

$$V_{затп}^{док} = N_d C_d (t_{stc} + t_{dd}), \quad (14)$$

де N_d – кількість затриманих документів, шт;

C_d – вартість години затримки документа, грн;

t_{stc} – тривалість затримки документів в станційному технологічному центрі, год;

t_{dd} – тривалість затримки документів при їх доставці, год.

Витрати, пов'язані із затримкою вантажу на шляху прямування,

$$V_{затп}^{вант} = Q_i C_{Q_i} (t_{prm} + t_a + t_{stc} + t_{dd}), \quad (15)$$

де C_{Q_i} – вартість затримки тонни i -го вантажу, грн;

t_a – час затримки автотранспорту при очікуванні НРР, год;

t_{prm} – час затримки НРР при очікуванні автотранспорту, год.

Цільова функція в явному вигляді

$$R^w = \sum_{k=1}^{M^{\max}} \sum_{i=1}^b \left[K_{ik} M_{ik} (s_k + e_k) + N_a t_{aik} C_a + \frac{\frac{1}{2} N_a Q_{ik} t_a (1 + v_a^2) C_a}{T M_{ik} P_{ik} \left(1 - \frac{Q_{ik}}{T M_{ik} P_{ik}} \right)} + \frac{Q_{ik} M_{ik} C_{kw}}{k_o P_{ik}} + \frac{Q_{ik} M_{ik} (C_{ke} + C_{kt})}{P_{ik}} + N_d C_d (t_{stc} + t_{dd}) + \frac{\frac{1}{2} (M_{ik} \left(1 - \frac{Q_{ik} M_{ik} P_{ik}}{T} \right) t_a (1 + v_a^2) Q_{ik} M_{ik} P_{ik} C_{prk}}{T}}{T} + Q_{ik} C_{Q_i} (t_{prm} + t_a + t_{stc} + t_{dd}) \right] \rightarrow \min. \quad (16)$$

Проведено моделювання роботи для вихідних умов станції К за таких умов: на вантажний фронт станцій за добу надходить Q_1 т вугілля, Q_2 т щебеню та Q_3 т піску; вантажі вивантажуються з вагонів за допомогою підвищеної колії, а до автомобілів – за допомогою ківшових навантажувачів: типу Д547 – 3 шт. та

типу Д483 – 2 шт.; продуктивність навантажувачів: на навантаженні вугілля Д547(ТО-7) – q_{11} т/год, Д483 – q_{21} т/год; на навантаженні щебеню Д547(ТО-7) – q_{12} т/год, Д483 – q_{22} т/год; на навантаженні піску Д547(ТО-7) – q_{13} т/год, Д483 – q_{23} т/год, x_{11} – кількість навантажувачів Д547, що використовуються при

навантаженні вугілля; x_{12} – кількість навантажувачів того ж типу, що використовуються при навантаженні щебеню; x_{13} – піску; x_{22} – кількість навантажувачів Д483, що використову-

ються при навантаженні вугілля; x_{22} – кількість навантажувачів того ж типу, що використовуються при навантаженні щебеню; x_{23} – піску.

Система обмежень

$$\begin{cases} 0 \leq x_{11} \leq x_1; 0 \leq x_{12} \leq x_1; 0 \leq x_{13} \leq x_1; \\ 0 \leq x_{21} \leq x_2; 0 \leq x_{22} \leq x_2; 0 \leq x_{23} \leq x_2 \\ 0 \leq x_{31} \leq x_3; 0 \leq x_{32} \leq x_3; 0 \leq x_{33} \leq x_3; \\ T(x_{11}Q_{cm11} + x_{21}Q_{cm21}) \geq Q_1; \\ T(x_{12}Q_{cm12} + x_{22}Q_{cm22}) \geq Q_2; \\ T(x_{13}Q_{cm13} + x_{23}Q_{cm23}) \geq Q_3, \end{cases} \quad (17)$$

де Q_{cm} – виробнича норма вироблення НРР, т/год.

Після моделювання роботи для вихідних умов станції К отримано залежність витрат від обраної технології

роботи (рисунок). Результати дослідження цільової функції свідчать про наявність мінімуму, що дозволяє визначити таку кількість обслуговуючих пристроїв та їх розподіл, який буде відповідати раціональній технології роботи.

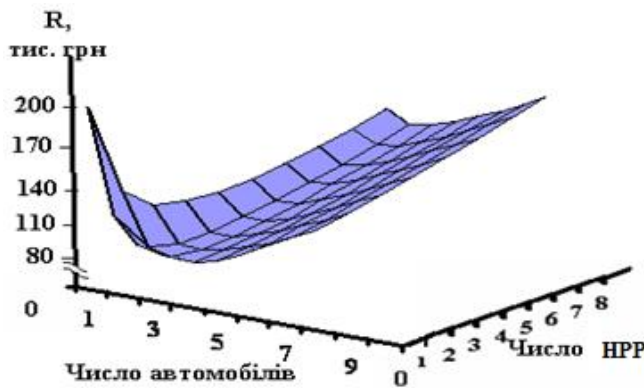


Рис. Дослідження цільової функції ефективного функціонування вантажного фронту

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Запропонована модель дозволяє за допомогою методів комбінаторного аналізу отримати такі значення змінних $x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, N_a$, при яких функціонал (16) набуває мінімального значення, що і буде оптимальним

розподілом навантажувально-розвантажувальних ресурсів при переробці різних вантажів на вантажному фронті. Виявлено можливість економії експлуатаційних витрат завдяки удосконаленню технології на 5,3 % у порівнянні з існуючою технологією.

Список використаних джерел

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс] / Схвалена розпорядженням Кабінету міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80> – Загол. з екрану.
2. Продашук, С. М. Нова концепція тарифної політики для внутрішніх залізничних вантажних перевезень [Текст] / С. М. Продашук, Г. Є. Богомазова, Р. А. Пурій // Зб. наук. праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2016. – Вип. 164. – С. 160-168.
3. Ломотько, Д. В. Удосконалення підходів до оптимізації режимів роботи вантажних фронтів в умовах завезення-вивозу вантажів [Текст] / Д. В. Ломотько, Д. О. Голоколов // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2010. – Вип. 23. – С. 78-83.
4. Butko T. et al. Improvement of technology for management of freight rolling stock on railway transport [Text] / T. Butko, S. Prodaschuk, G. Bogomazova, M. Prodaschuk, R. Purii // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Т. 3. – № 3 (87). – С. 4-11
5. Смехов, А. А. Математические модели процессов грузовой работы [Текст] / А. А. Смехов. – М.: Транспорт, 1982. – 256 с.
6. Смехов, А. А. Применение математических методов для расчета оптимальных параметров грузовых фронтов [Текст] / А. А. Смехов // Труды МИИТа. – М.: МИИТ, 1968. – Вып. 286. – С. 5-60.
7. Котенко, А. Н. Совершенствование технологий погрузочно-разгрузочных операций [Текст] / А. Н. Котенко // Железнодорожный транспорт. – 1992. – № 7. – С. 27-30.
8. Берестов, І. В. Підвищення ефективності взаємодії станції примикання та під'їзних колій [Текст] / І. В. Берестов, Г. В. Шаповал, Н. В. Мерзлякова // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-т залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 156. – С. 68-73.
9. Бауліна, Г. С. Формування оптимізаційної моделі роботи вантажного фронту [Текст] / Г. С. Бауліна // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДУЗТ, 2013. – № 5. – С. 44-46.
10. Лаврухин, А. В. Усовершенствование регулирования парка грузовых вагонов разных собственников [Текст] / А. В. Лаврухин, А. Е. Богомазова // Логистическое управление грузо- и вагонопотоками: Труды специалистов УкрГАЗТ. – Германия: Palmarium Academic Publishing, 2014. – С. 83-95.
11. Удосконалення технології оперативного планування вантажної роботи при взаємодії власників рухомого складу із залізницею [Текст] / О. В. Лаврухин, В. С. Блиндюк, Г. Є. Богомазова [та ін.] // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 156. – С. 12-17.
12. Butko, T. Devising a method for the automated calculation of train formation plan by employing genetic algorithms [Text] / T. Butko, V. Prokhorov, D. Chekhunov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 1, Issue 3 (85). – P. 55–61.
13. 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. – Vol. 41, Issue 3, March 2007. – P. 249-266.
14. Najaf, P., & Famili, S. (2013). Application of an Intelligent Fuzzy Regression Algorithm in Road Freight Transportation Modelling [Text] / P. Najaf, S. Famili // Promet – Traffic&Transportation, 2013. – № 25 (4). – P. 311-322.

Продашук Світлана Миколаївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.:(057)730-10-26. E-mail: sp7728@ukr.net.

Шаповал Ганна Василівна, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-26. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.

Богомазова Ганна Євгенівна, асистент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-85. E-mail: annabogomazova1234@gmail.com.

Продашук Микола Вікторович, студент кафедри теоретичної і прикладної інформатики факультету математики і інформатики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Тел.: (095)449-71-18. E-mail: pn9920@ukr.net.

Prodashchuk Svitlana, Associate Professor, Doctor of Science (Rh.D), Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-26. E-mail: sp7728@ukr.net.

Shapoval Ganna, Associate Professor, Doctor of Science (Rh.D), Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-26. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.

Bogomazova Ganna, assistant of Chair of manage freight and commercial work, Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-85 E-mail: annabogomazova1234@gmail.com.

Prodashchuk Mikola, student at the department of Theoretical and applied Informatics, faculty of Mathematics and Computer Sciences, Kharkiv national University named after V. N. Karazin. Tel.: (095)449-71-18. E-mail: pn9920@ukr.net.

Стаття прийнята 09.10.2017 р.

УДК 620.193.8

СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО ДОСЛІДЖЕННЯ БІОГЕННОЇ КОРОЗІЇ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ КОЛЕКТОРІВ

Кандидати техн. наук С. А. Забелін (КП Харківводоканал), А. І. Алейнікова (ХНУБА)

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ БИОГЕННОЙ КОРРОЗИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Кандидаты техн. наук С. А. Забелин (КП Харьковводоканал),
А. И. Алейникова (ХНУСА)

MODERN APPROACH TO RESEARCH OF BIOGENIC CORROSION OF SEWAGE COLLECTORS

Phd. tehn. S. Zabelin, A. Aleinikova

Роботу присвячено дослідженню біогенної корозії каналізаційних колекторів. Виконано аналіз новітніх робіт, підходів, практик, присвячених вивченню корозійних процесів каналізаційних колекторів, виявлено їх основні переваги та недоліки. Аналіз ґрунтується на дослідженнях вчених ближнього і далекого зарубіжжя. За результатами проведеного аналізу сформовано узагальнений підхід до вивчення процесу біогенної корозії мереж водовідведення, що знаходяться в тривалій експлуатації.

Ключові слова: колектор, знос, біокорозія, водовідведення, експлуатація, довговічність.

Работа посвящена исследованию биогенной коррозии канализационных коллекторов. Выполнен анализ новейших работ, подходов, практик, посвященных изучению коррозионных процессов канализационных коллекторов, выявлены их основные преимущества и недостатки. Анализ основывается на исследованиях ученых ближнего и дальнего зарубежья. По результатам проведенного анализа сформулирован обобщенный подход к

изучению процесса биогенной коррозии сетей водоотведения, которые находятся в длительной эксплуатации.

Ключевые слова: коллектор, износ, биокоррозия, водоотведение, эксплуатация, долговечность.

The work is devoted to the study of biogenic corrosion of sewer collectors. The analysis of newest works, approaches, practices, devoted to the study of corrosion processes of sewerage collectors has been carried out. The analysis is based on the researches of the scientists of the near and far abroad countries. According to the results of the analysis, to formulate a generalized approach to the study of the biogenic corrosion process of drainage networks. It has been established that microorganism populations and their vital activities are the main cause of biogenic corrosion, which subsequently leads to a decrease in the operational reliability of sewerage collectors. The results of most experimental studies indicate that changes in temperature and acidity of a solution of sulfuric acid contribute to the control of biogenic corrosion. Laboratory tests of multicomponent epoxy coatings of various compositions indicate that they, to varying degrees, have an effect on increasing the durability of sewage collector designs. The accuracy of forecasting the development of biogenic corrosion is considered through the prism of the received evidence regarding the pipeline. The results obtained by researchers on the presence and degree of exposure to biogenic corrosion of sewerage collectors can be useful for substantiating potential problems of the areas of distribution networks for the drainage for further work on the restoration of their design strength.

Key words: collector, wear, biocorrosion, drainage, exploitation, durability.

Вступ. Система каналізації будь-якого населеного пункту – одна з найдорожчих й найуразливіших частин підземної інженерної інфраструктури. Від її надійної та безперебійної роботи залежить стан навколишнього середовища, комфортність проживання населення, ефективна робота підприємств міста.

Значна частина каналізаційних колекторів міст і селищ України, побудованих в минулому столітті, в даний час повністю вичерпала свій амортизаційний ресурс. Їх будівництво частіше здійснювалося з бетону та залізобетону, які схильні до руйнування внаслідок впливу багатьох факторів, і в першу чергу – мікробіологічної корозії. Крім того, термін служби таких матеріалів становить близько 50 років, а з моменту їх зведення на деяких ділянках пройшов значно більший термін. Це свідчить про необхідність вживання термінових заходів з дослідження умов експлуатації каналізаційних мереж і здійснення ефективних ремонтних заходів з

метою уникнення екологічної та соціальної катастроф.

На даний момент практично відсутній плановий підхід в підготовці комплексу організаційно-технологічних рішень, що підвищують експлуатаційний ресурс каналізаційних колекторів. Крім цього, такі мережі, приховані під землею, звертають на себе увагу лише тоді, коли виникають аварійні ситуації, і комплекс рішень з підтримки цих систем зводиться до аварійно-відновлювальних робіт на ділянці колектору з ліквідації наслідків аварії. Такий підхід до організації робіт веде до високої витрати всіх видів ресурсів комунальних служб і, відповідно, до негативних економічних, екологічних та соціальних ефектів.

Викладене вище свідчить про необхідність вирішення **актуальної наукової проблеми**, пов'язаної з теоретичним обґрунтуванням та розробкою методики дослідження мікробіологічної корозії каналізаційних колекторів, що дозволить підвищити їх експлуатаційний ресурс.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом все більше уваги приділяється питанням підвищення експлуатаційного ресурсу будівельних конструкцій та споруд системи водовідведення, в першу чергу шляхом покращення її експлуатаційних характеристик. Крім того, дані численних наукових досліджень [1-29] дозволяють прийти до такого висновку – біогенна корозія каналізаційних тунелів, колекторів і споруд на них відбувається, як правило, в надводній зоні на внутрішній поверхні конструкцій.

Процес вивчення біогенної корозії відбувається шляхом теоретичних [5,6, 12, 14, 15, 18, 20, 25] та експериментальних досліджень. Як правило, експериментальні дослідження проводяться шляхом занурення зразків в агресивне середовище (натурне або лабораторне) для подальшого виявлення характеристик матеріалу трубопроводу [1, 9, 10, 15, 17] або захисних покриттів [11,13, 22, 23, 26].

Все більшу увагу дослідники приділяють питанням ймовірного прогнозування експлуатаційної відмови трубопроводу, для цього, як правило, використовується детермінований метод фактора життя, основою якого є оцінка факторів та мінімізація впливу на їх експлуатаційну надійність [1, 3, 4, 7, 14, 15, 20, 27].

Метою даної роботи є дослідження сучасних підходів щодо діагностики мікробіологічної корозії колекторів водовідведення та основних методів боротьби з нею.

Для досягнення поставленої мети були поставлені такі завдання дослідження:

- виконати аналіз новітніх робіт, підходів, практик, присвячених вивченню корозійних процесів каналізаційних колекторів, що ґрунтується на дослідженнях дослідників ближнього і далекого зарубіжжя;
- за результатами проведеного аналізу згрупувати сучасні дослідження відповідно до основного змісту наукових праць;
- запропонувати єдину методіку дослідження мікробіологічної корозії колекторів водовідведення та основних методів боротьби з нею

Основний матеріал. Сьогодні існують різні підходи до вивчення мікробіологічної корозії трубопроводів водовідведення. Питаннями підвищення експлуатаційного ресурсу каналізаційних колекторів займаються дослідники з усього світу. Виходячи з порівняння наукових праць дослідників ближнього і далекого зарубіжжя між собою можна згрупувати їх відповідно до напрямку робіт досліджень:

- теоретичні дослідження мікробіологічної корозії (табл. 1);
- експериментальні дослідження процесу корозії (табл. 2);
- дослідження методів боротьби з мікробіологічною корозією (табл. 3);
- експериментальні дослідження матеріалів проти корозії (табл. 4);
- методіки прогнозування корозійних процесів, подовження експлуатаційного ресурсу трубопроводів (табл. 5).

Таблиця 1

Теоретичні дослідження мікробіологічної корозії

| № з/п | Вчений (колектив вчених) | Країна, рік дослідження | Основні положення дослідження | Коментар авторів |
|-------|--------------------------|-------------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Наземі М. [20] | Австралія, 2016 | Мікробіологічна корозія внутрішньої поверхні каналізаційних колекторів розглядається як корозія, що індукована активністю різних мікроорганізмів, включаючи бактерії та грибки | В роботі не в повній мірі висвітлено процес впливу анаеробного середовища на стан трубопроводу в процесі тривалої експлуатації |

Продовження табл. 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----------------------------------|-------------------------|--|--|
| 2 | Метьюс Д., Кокс А. [18] | США, 2015 | Розглянуто процес впливу анаеробних мікроорганізмів на технічний стан металевих трубопроводів водопровідно-каналізаційного господарства | Специфіка анаеробного середовища в мережах водопостачання і водовідведення має суттєві відмінності, проте узагальнення їх в єдине ціле не є доцільним |
| 3 | Мехмудіан М., Слейні А. [14] | Великобританія, 2016 | Розглянуто сульфідну корозію залізобетонних каналізаційних колекторів, яка є найпоширенішою формою зниження їх експлуатаційного ресурсу. Параметри корозії розглядаються як випадкові величини внаслідок дефіциту даних та невизначеностей, пов'язаних з впливом корозії на технічний стан каналізаційних мереж | В роботі слід було використати результати вже існуючих досліджень стосовно впливу корозії на стан трубопроводів, тим самим кількість маловідомих параметрів корозії могла бути знижена |
| 4 | Мехмудіан М., Слейні А. [15] | Великобританія, 2017 | Визначено, що глибини корозійної лінзи є важливим елементом для прогнозування працездатності чавунних труб, що постраждали від корозії | Досить змістовне дослідження, проте не показано як саме буде відбуватися прогнозування залишкового ресурсу чавунних трубопроводів |
| 5 | Донг К. з співавторами [6] | Китай, 2017 | Зауважується, що цикл сірки, який виникає в результаті діяльності мікробної популяції, може, в кінцевому підсумку, спричинити серйозні проблеми розподільчих каналізаційних систем. Результати дослідження показали, що більш висока різноманітність мікробних видів наявна в місцях розташування каналізацій з високою концентрацією H_2S . Актинобактерії та протеобактерії були домінуючими в каналізаційній системі, в той час як лише актинові бактерії були домінуючими на ділянках мереж з високою концентрацією H_2S . | В роботі недостатньо висвітлено характер мікробних спільнот в умовах динамічних факторів навколишнього середовища у фактичній системі каналізації під час її тривалої експлуатації |

Продовження табл. 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-------------------------------|---------------------------------------|--|--|
| | | | Визначення розподілів та пропорцій критичних мікробних спільнот у каналізаційних системах дає уявлення про те, як мікроорганічний цикл сірки впливає на динамічні умови навколишнього середовища, які існують в каналізаційних мережах | |
| 6 | Лото С. [12] | Південна африканська республіка, 2017 | Представлено детальний огляд мікробіологічної корозії, досліджено популяцію бактерій. В огляді також повідомляється про біоплівки, різні механізми зменшення сульфатуючих бактерій, методи біодетермізації навколишнього середовища тощо | Не подано граничне співвідношення змісту мікроорганізмів, що впливають на час протікання корозійного процесу |
| 7 | Биль Д. з співавторами [5] | Австралія, 2016 | Надано поглиблення питання впливу мікробіологічних та біоплівкових процесів на корозію. Авторами запропоновано вивчення інгібіції мікробіологічної корозії з застосуванням Omics-методів, де можна глибше зрозуміти бактеріального населення в плані диверсифікації та обміну речовин. Таким чином, в даному дослідженні обговорено останні досягнення для вдосконалення фундаментального розуміння процесів біоплівки та мікробіологічної корозії | Висвітлено як традиційні методи досліджень біогенної корозії, так і інноваційні для України - Omics, що з використанням молекулярних маркерів дають результати, щодо впливу тих чи інших мікроорганізмів на стан трубопроводу на молекулярному рівні |
| 8 | Роутил Л. з співавторами [25] | Чехія, 2015 | Вченими досліджено вплив мікробіологічно індукованої корозії на несучу здатність бетонних каналізаційних колекторів в процесі їх експлуатації. Авторами встановлено, що з кожним роком трубопроводу, що перебувають в експлуатації, втрачають свою несучу здатність, в першу чергу за рахунок зносу армуючих стержнів | В роботі слід було розглядати конструкції каналізаційних шахт комплексно, відокремлення армуючих стержнів не відображає загальний процес зниження їх несучої здатності, так як в першу чергу впливу біогенної корозії піддається бетон |

Експериментальні дослідження процесу корозії

| № з/п | Вчений (колектив вчених) | Країна, рік дослідження | Основні положення дослідження | Коментар авторів |
|-------|--------------------------------|-------------------------|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Юрченко В. з співавторами [10] | Україна, 2016 | В роботі висвітлено експериментальні дослідження вимірювання концентрації сірководню в каналізаційних трубопроводах міста Харкова. На основі отриманих даних були оцінені викиди сірководню через каналізаційні шахти в міському середовищі конкретних міських районів | Змістовне дослідження, що висвітлює кількісну і якісну оцінку дисперсії шкідливих речовин в атмосфері безпосередньо для м. Харкова |
| 2 | Мехмудіан М., Єлейні А. [15] | Великобританія, 2017 | Висвітлено результати аналізу параметрів корозії залізобетону, які показали, що лужність бетону та відносна глибина потоку найбільше впливають на ймовірність відмови мереж водовідведення. Тому ці параметри не вважаються випадковими змінами, і їх можна розглядати як детерміністичні постійні значення для подальших досліджень процесу сульфідної корозії | В роботі не наведено хімічний склад бетонної суміші для залізобетонних конструкцій |
| 3 | Мехмудіан М., Лі С. [17] | Великобританія, 2016 | Авторами досліджено вплив температури та кислотності розчину сірчаної кислоти на конкретні зразки залізобетонних каналізаційних труб. Бетонні зразки занурювались в три розчини сірчаної кислоти (рН = 0,5 рН = 1 і рН = 2) протягом 91 дня при різних температурах (10, 20 та 30 °С). Масова втрата та міцність на стиск бетонних зразків були протестовані та зареєстровані на 7, 14, 28, 42, 56 та 91 дні, надаючи цікаві дані для візуалізації змін, що відбуваються в конкретних зразках (зміна властивостей) протягом часу занурення. | Дані експериментальних досліджень продемонстрували високу кореляцію між кислотністю розчину та швидкістю корозії щодо часу, проте для детального вивчення процесу корозії недостатньо 91 дня лабораторних досліджень. Перебування зразків у розчинах понад 91 день дасть змогу отримати більш ймовірні результати |

Продовження табл. 2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--------------------------------|----------------------|---|---|
| | | | Результати показали, що загальна маса зразків збільшується на ранніх етапах корозійного процесу. Також було виявлено, що загальна маса зразків значно знизилася на пізніх стадіях процесу тестування щодо кислотності використовуваних розчинів | |
| 4 | Орлова С.С. з співавторами [1] | Росія, 2016 | Використовуючи статистичні та натурні дані зростання глибини корозійної каверни, проведена кількісна оцінка корозійної небезпеки металевих трубопроводів водовідведення. Аналіз отриманих залежностей показав, що деякий час після контакту трубопроводу зі стічною водою метал не буде руйнуватися, далі процес корозії розвивається з деяким прискоренням, а потім набуває явно загасаючого характеру | Слід зазначити, що ймовірно доцільно було б виконати порівняння даних натурних та лабораторних досліджень. Процес корозії труб, що перебувають в експлуатації, залежить від багатьох факторів, та може значно відрізнятися від зразків для експерименту |
| 5 | Хуан Ч. з співавторами [9] | Китай, 2017 | Вивчено вплив складу рідини на швидкість корозії металевих трубопроводів. Авторами встановлено, що концентрація гідроксиду натрію 30 або 50 % сірчаної кислоти для регулювання значення рН води може забезпечити швидкість корозії металевого трубопроводу не менше 0,075 мм/р., що відповідає вимогам безпеки відповідних стандартів у межах діапазону | Тривалі лабораторні дослідження дадуть змогу отримати більш ймовірні результати щодо швидкості і характеру протікання корозії |
| 6 | Романова А. [24] | Великобританія, 2016 | Досліджено процес корозії бетонних та залізобетонних каналізаційних труб, викликаний сірководнем, основну увагу приділено лабораторним експериментам з встановлення | В дослідженні доцільно було б занурювати зразки в різну концентрацію сірчаної кислоти, що дало б |

Продовження табл. 2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-------------|-----------------|--|--|
| | | | швидкості корозії бетону шляхом занурення зразків у розчин сірчаної кислоти на термін до 120 днів при температурних режимах 10-30 °С. Результати показали, що деякі зразки на дуже ранній стадії процесу корозії отримали загальну масу і щільність зі зворотним процесом з плином часу. В цілому, в лабораторних умовах спостерігалися швидкості корозії 5-25 мм/р. | змогу для порівняння та побудови відповідних залежностей |
| 7 | Ганс І. [8] | Туреччина, 2015 | Автор відмічає, що багато досліджень було проведено стосовно різних видів корозії сталевих стержнів. Проте лише деякі роботи присвячені впливу корозії внаслідок дії сірчаної кислоти на знос арматури. У роботі були проведені дослідження для вивчення корозійної поведінки незахищеної вуглецевої армованої сталі під дією різних концентрацій розчинів H ₂ SO ₄ . Арматура розмірами Ø12, Ø14, Ø16 і зігнута під кутами 0°, 45°, 90°. Результати свідчать, що швидкість корозії та втрата поперечного перерізу сталевих брусків зростають зі збільшенням концентрації кислот. З іншого боку, зниження корозії зменшувалося зі збільшенням кута згину | Слід зазначити, що сталеві стержні та бетон працюють комплексно для забезпечення несучої здатності колекторів, тому доцільно розглядати це питання не відокремлено одне від одного |

Дослідження методів боротьби з мікробіологічною корозією

| № з/п | Вчений (колектив вчених) | Країна, рік дослідження | Основні положення дослідження | Коментар авторів |
|-------|-----------------------------------|-------------------------|--|--|
| 1 | Наземі М. [20] | Австралія, 2016 | Як основному методу боротьби з мікробіологічною корозією (МК) особлива увага приділяється полімерним покриттям, таким як епоксидні розчини, ефективність яких залежить від розуміння того, як властивості покриття впливають на їх здатність протистояти поширенню корозії. Також у дослідженні висвітлено взаємодію антикорозійного покриття із органічними та неорганічними кислотами, які виявляються в каналізаційному середовищі | Сучасні каналізаційні трубопроводи являють собою складний комплекс взаємопов'язаних структур, в яких відбуваються різні фізичні, хімічні та біологічні процеси. Дія таких процесів не контролюється і супроводжується значними витратами, пов'язаними, зокрема, з зниженням експлуатаційної надійності функціонування каналізаційних колекторів. |
| 2 | Москвічева Е. з співавторами [19] | Росія, 2016 | Проаналізовано проблеми сталевих трубопроводів водовідведення, що виникають у результаті виникнення корозії та біологічного наростання. Авторами в роботі надано рекомендації щодо запобігання та захисту від біогенної корозії існуючих та трубопроводів водовідведення, які будуються | Майже всі сучасні дослідження методів підвищення експлуатаційного ресурсу мереж водовідведення, що руйнуються під впливом мікробіологічної корозії, пов'язані з застосуванням технологій з використанням полімерних матеріалів. |
| 3 | Ноахай Т. [21] | Австралія, 2017 | В роботі розглядається біогенний вплив на технічний стан каналізаційних колекторів. Останнім часом для запобігання та контролю ушкоджень біогенною корозією бетонних конструкцій в агресивних середовищах успішно розроблені наноматеріали з новими функціональними можливостями, такими як самозахист і антикорозійна здатність. Автором подано огляд як існуючих контрольних заходів для запобігання біокорозії, так і прогресивних нанопідходів для захисту конкретних конструкцій від біогенного зносу | Багатокомпонентні сучасні матеріали мають якісні характеристики, що протидіють корозійним пошкодженням конструкцій |

Експериментальні дослідження матеріалів проти корозії

| № з/п | Вчений (колектив вчених) | Країна, рік дослідження | Основні положення дослідження | Коментар авторів |
|-------|-------------------------------|-------------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Метьюс Д., Кокс А. [18] | США, 2015 | Авторами подано полімерні нанопокриття для контролю корозії залізних трубопроводів | Запропоновані авторами композиції епоксидних покриттів при дослідженні мікробіологічної корозії металевих труб в лабораторних умовах продемонстрували їх високі якісні показники. Проте було б доцільно провести детальний аналіз та випробування зразків в різних концентраціях H_2SO_4 |
| 2 | Тамбе С. з співавторами [26] | Індія, 2016 | Імітовано мікробіологічні явища корозії каналізаційних мереж в лабораторії та досліджено характеристики епоксидних покриттів з біоцидами та без них шляхом екстракції їх культури сульфатзнижуючої бактерії при анаеробному стані. Мікробіологічна ефективність оцінювалася шляхом формування зони гальмування, візуального спостереження, SEM-аналізу (скануюча електронна мікроскопія), антикорозійної властивості EIS (електрохімічна імпедансна спектроскопія) та адгезії покриття з внутрішньою стінкою колектора | |
| 3 | Роем Н. з співавторами [23] | Бразилія, 2016 | Дослідження присвячено вивченню використання полімерних матричних композитів для ремонту і зміцнення пошкоджених структур трубопроводів. На основі експериментальних досліджень виявлена ефективність нового композитного матеріалу для відновлення внутрішньої стінки трубопроводів | |
| 4 | Позокі М. з співавторами [22] | Іран, 2016 | Подана порівняльна оцінка поліуретану та полівінілхлориду в облицюванні бетонних каналізаційних труб для запобігання біологічній корозії. Експериментальні результати показали, що після трьох місяців, в порівнянні з ПВХ, поліуретан показав кращу міц- | Авторами експериментально досліджено композиційні матеріали для захисту бетонних та залізобетонних каналізаційних колекторів від біогенної корозії. Випробування зраз- |

Продовження табл. 4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----------------------------|---------------------------------------|--|---|
| | | | ність і стійкість в кислому агресивному середовищі. Крім того, завдяки міцному зв'язку з бетонною поверхнею поліуретанова футеровка зводила до мінімуму проникнення кислого розчину (викликаного ферментацією стічних вод у каналізаційні труби) до тіла бетону | ків протягом часу (більше 120 діб) не проводились, проте враховуючи складність популяцій мікроорганізмів, доцільно було б провести дослідження строком більше 120 діб |
| 5 | Луо К. з співавторами [13] | Китай, 2016 | Дослідження присвячено опису трубчастих композиційних сировинних матеріалів та порівнянню методів формування та оцінки їх продуктивності, перш за все з позиції довговічності експлуатації та протидії корозії | |
| 6 | Колісві М. [11] | Південна африканська республіка, 2016 | Дослідження вченого присвячено вивченню швидкості протікання біогенної бетонної корозії, яка залежить, зокрема, від хімічного складу зв'язуючих (цемент, додаткові цементні матеріали і мікроструктурні характеристики бетонних сумішей, що використовувались при виробництві каналізаційних труб) | |

Таблиця 5

Методики прогнозування корозійних процесів, подовження експлуатаційного ресурсу трубопроводів

| № з/п | Вчений (колектив вчених) | Країна, рік дослідження | Основні положення дослідження | Коментар авторів |
|-------|--------------------------|-------------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Наземі М. [20] | Австралія, 2016 | На основі отриманих експериментальних результатів розроблено напівемпіричні моделі для прогнозування терміну служби покриття в умовах агресивного середовища колекторів водовідведення | В роботі не враховано вплив агресивного середовища на трубопровід, що експлуатується протягом певного часу, лише на покриття облицювання |

Продовження табл. 5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--------------------------------|----------------------|--|---|
| 2 | Мехмудіан М., Єлейні А. [14] | Великобританія, 2016 | Подано методологію, що заснована на надійності для оцінки працездатності труб під впливом біогенної корозії. Глибина корозійної лінзи розглядається як критичний параметр, який спричиняє відмову працездатності каналізаційного колектора, коли вона перевищує товщину стінки труби | Розроблена авторами модель визначення глибини корозії чавунних труб дозволяє кількісно оцінити ймовірність виходу з експлуатаційної розподільчої мережі, проте особливу увагу не приділено стиковим з'єднанням труб, що може не точно спрогнозувати її вихід з робочого стану |
| 3 | Мехмудіан М., Єлейні А. [15] | Великобританія, 2017 | В дослідженні введена залежна від часу модель нелінійного стану для структурного аналізу корозійно-стійких сталевих трубопроводів, посиленних зовнішніми силами. Виконуючи концепцію граничного стану, одночасний ефект зовнішнього навантаження та корозії матеріалу авторами розглядається в режимах відмови. Для обліку невизначеності, пов'язаної з параметрами проектування та навколишнього середовища, була застосована методика моделювання методом Монте-Карло з використанням MATLAB | Авторами було застосовано модель щодо моделювання втрат товщини стінки труби протягом періоду експлуатації. Проте, з точки зору прогнозування виходу трубопроводу з працездатного стану, втрата товщини стінки труби не є основним показником, необхідно враховувати фактори, що впливають на надійність комплектно |
| 4 | Орлова С.С. з співавторами [1] | Росія, 2016 | За допомогою диференціальної геометрії розроблено підхід до визначення надійності експлуатації каналізаційних колекторів. Графічне диференціювання дозволило знайти кількісні значення швидкості корозійного процесу, виявити характер її зміни в часі; визначити взаємозв'я- | Поданий підхід змістовний, та для подальшого впровадження у виробництво і використання на практиці потребує певної кваліфікації |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-------------------------------|----------------------|--|---|
| | | | зок між глибиною корозійної каверни і швидкістю утворення цієї каверни; встановити, що процес корозії може бути описаний диференціальним рівнянням | |
| 5 | Анбари М. з співавторами [4] | Іран, 2017 | Подана ймовірнісна модель оцінки ризику мережі водовідведення, в яку були включені як структурні, так і гідравлічні відмови, насамперед з причини пошкодженості їх мікробіологічною корозією. Дана модель базується на підході для обчислення ймовірності відмови і середньозваженого методу для розрахунку наслідків значень відмови з використанням байєсівських мереж. Для розгляду невизначеностей і наслідків значень відмови застосовано підхід з використанням системи нечітких висновків (FIS) | Система нечітких висновків потребує високої бази знань для їх формування. Для оцінки ризику відмови робочого стану мережі необхідно особливу увагу приділити факторам, що впливають на працездатність певної ділянки трубопроводу |
| 6 | Єлейні А. з співавторами [3] | Великобританія, 2016 | Розроблено три ймовірнісних методи аналізу надійності: часову модель, включаючи теорію ймовірності, модель гамма-розподіленого зносу та методологію моделювання Монте-Карло | Часова модель оцінки надійності повинна базуватися на експериментальних дослідженнях, проте це в роботі не висвітлено |
| 7 | Станик Н. з співавторами [27] | Нідерланди, 2017 | Авторами подано вдосконалений прототип технології оцінки впливу біогенної корозії і технічного стану трубопроводу з 3D-зображенням труби | 3D-зображення труби, що знаходиться в експлуатації, дає візуальне уявлення щодо її експлуатації в середовищі під впливом факторів |
| 8 | Елмесри М. з співавторами [7] | Канада, 2017 | Подано модель зносу колекторів водовідведення на основі дефектів (в першу чергу внаслідок корозії) для | Впровадження та апробація на практиці запропонованої моделі та точ- |

Продовження табл. 5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----------------------------|---------------|--|---|
| | | | каналізаційних трубопроводів з використанням моделей байєсівських мереж (BBN), що використовується для розробки статичної моделі з використанням вірогідності подій та умовних вірогідностей від спостережень існуючої каналізаційної мережі. Часові виміри вносять до розробленої моделі, використовуючи логістичну регресію як тимчасові зв'язки, необхідні для побудови динамічної байєсівської мережі вірувань | ність її роботи залежить від фактичних даних, стосовно трубопроводу, що знаходиться в експлуатації. Тому повнота даних дасть змогу прогнозування відмови |
| 9 | Иан Н. з співавторами [29] | Франція, 2015 | Робота присвячена моделюванню зносу та деструкції бетону під впливом нападу біогенної кислоти. Запропоновано реактивну транспортну модель для імітації всіх процесів біопоглинання бетону при контакті з H_2S та сірчистими бактеріями | Авторами описано цей процес у три наступних етапи: нейтралізація бетонної поверхні, що забезпечує відповідне середовище для вирощування сірчистими бактеріями, утворення сірчаної кислоти (H_2SO_4) та хімічна реакція між продуктами H_2SO_4 та гідратація цементу |

На основі виконаного аналізу новітніх робіт, підходів, практик, присвячених вивченню корозійних процесів каналізаційних колекторів, та за результатами їх згрупування відповідно до напрямку робіт досліджень авторами було запропоновано методику дослідження мікробіологічної корозії колекторів водовідведення та основних методів боротьби з нею (рисунки).

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. На основі виконаного аналізу новітніх робіт, підходів, практик, присвячених вивченню корозійних процесів каналізаційних колекторів, та за результатами їх згрупування відповідно до напрямку робіт досліджень авторами було запропоновано методику дослідження мікробіологічної корозії колекторів водовідведення та основні методи боротьби з нею.

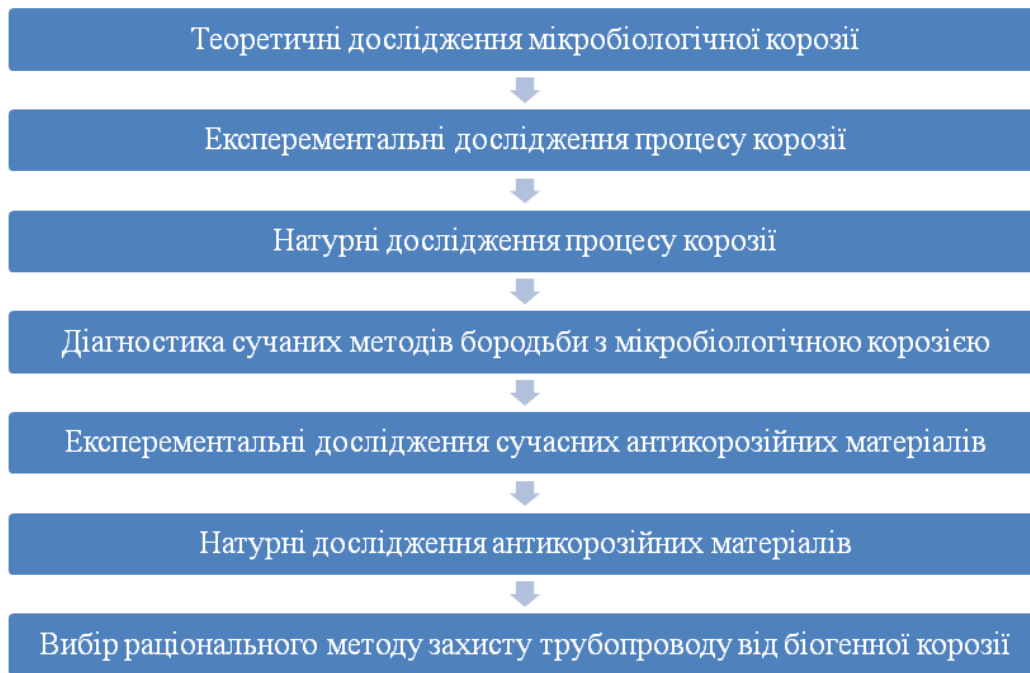


Рис. Блок-схема методики дослідження мікробіологічної корозії колекторів водовідведення та основних методів боротьби з нею

Доцільність вибору саме цієї методики обґрунтовано тим, що логічна структура проведення досліджень повинна базуватися на теоретичних, експериментальних (натурні та лабораторні) дослідженнях процесу біогенної корозії. На основі отриманого уявлення стосовно складного процесу біогенної корозії необхідно виконати діагностику сучасних методів боротьби з нею (натурні та лабораторні випробування антикорозійних матеріалів, композицій тощо). На основі

отриманих даних здійснити вибір раціонального методу захисту трубопроводу, що знаходиться в експлуатації, від біогенної корозії.

Викликають особливу увагу подальші дослідження мікробіологічної корозії колекторів водовідведення, а саме експериментальні і натурні дослідження сучасних антикорозійних матеріалів на прикладі занурення їх в агресивне середовище централізованої каналізаційної системи м. Харкова.

Список використаних джерел

1. Орлова, С. С. Дифференциальное исследование кинетики коррозионных процессов в трубопроводах, транспортирующих сточные воды [Текст] / С. С. Орлова, Т. А. Панкова, А. В. Кочетков // Гидротехническое строительство. – 2016. – № 4. – С. 30-36.
2. Плугин, А. А. Агрессивность эксплуатационной среды сетей и сооружений водоотведения [Текст] / А. А. Плугин, В. И. Бабушкин // Бетон и железобетон в Украине. – 2007. – №4 (38). – С. 21-27.
3. Alani, A. Advanced numerical and analytical methods for assessing concrete sewers and their remaining service life [Text] / A. Alani, M. Mahmoodian, A. Mojtaba, A. Romanova // International Science Index. – 2016. – № 8(6XI). – P. 1091-1097.

4. Anbari, M. Risk assessment model to prioritize sewer pipes inspection in wastewater collection networks [Text] / M. Anbari, T. Massoud, R. Abbas // Journal of environmental management. – 2017. – №190. – P. 91-101.
5. Beale, D. J. Omics-based approaches and their use in the assessment of microbial-influenced corrosion of metals [Text] / D. J. Beale, A.V. Karpe, S.Jadhav, T. H. Muster, E. A. Palombo // Corrosion Reviews. – 2016. – № 34.1-2. – P. 1-15.
6. Dong, Q. Microbial character related sulfur cycle under dynamic environmental factors based on the microbial population analysis in sewerage system [Text] / Q.Dong, H.Shi, Y.Liu // Frontiers in microbiology. – 2017. – №.8.
7. Elmasry, M. Defect based deterioration model for sewer pipelines using Bayesian belief networks [Text] / M.Elmasry, A.Hawari, T. Zayed // Canadian Journal of Civil Engineering. – 2017. – № 44(999). – P. 675-690.
8. Gunes, I. Biogenic corrosion on ribbed reinforcing steel bars with different bending angles in sewage systems [Text] / I. Gunes, T.Uygunoglu // Construction and Building Materials. – 2015. – № 96. – P. 530-540.
9. Huang, C. Study on Relation Between Industrial Circulating Water Conductivity And Iron Corrosion Velocity [Text] / C.Huang et al. // Journal of Residuals Science & Technology. – 2017. – Vol.14. – № 3. – P .526-532.
10. Iurchenko, V. Environmental Safety of the Sewage Disposal by the Sewerage Pipelines [Text] / V.Iurchenko, E.Lebedeva, E.Brigada // Procedia Engineering. – 2016. – № 134. – P. 181-186.
11. Kiliswa, M. W. Composition and microstructure of concrete mixtures subjected to biogenic acid corrosion and their role in corrosion prediction of concrete outfall sewers [Text] / M. W. Kiliswa // PhD Thesis. University of Cape Town – 2016. – 320 p.
12. Loto, C. A. Microbiological corrosion: mechanism, control and impact – a review [Text] / C. A. Loto // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology– 2017. – №2. – P. 1-12.
13. Luo, K. The Research Development of Tubular Textile Composites Application on the Trenchless Pipeline Inversion Lining Rehabilitation Technology [Text] / K. Luo, S.J. Zhang, R.Wang, X.P. Si, X. Han // In Key Engineering Materials Trans Tech Publications. – 2016. – Vol. 671. – P. 306-314.
14. Mahmoodian, M. Sensitivity analysis for failure assessment of concrete pipes subjected to sulphide corrosion [Text] / M. Mahmoodian, A.Alani // Urban Water Journal. – 2016. – Vol. 13. – № 6. – P.637-643.
15. Mahmoodian, M. Effect of Temperature and Acidity of Sulfuric Acid on Concrete Properties [Text] / M. Mahmoodian, A. Alani // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2017. – Vol. 29. – №10. – P.1001-1018.
16. Mahmoodian, M. Structural failure assessment of buried steel water pipes subject to corrosive environment [Text] / M. Mahmoodian, V. Aryai // Urban Water Journal. – 2017. – Vol.14. – №10. – P.1023-1300.
17. Mahmoodian, M. Serviceability assessment and sensitivity analysis of cast iron water pipes under time-dependent deterioration using stochastic approaches [Text] / Mahmoodian M., Li C. // Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua. – 2016. – Vol. 65. – № 7. – P. 530-540.
18. Mathews, D. Polyethylene Encasement for External Corrosion Control for Iron Pipelines [Text] / D. Mathews, A.Cox // Florida Water Resources Journal. – 2015. – Vol. 12. – P. 44-49.

19. Moskvicheva, E. V. Method of Corrosion Prevention in Steel Pressure Pipelines in Sewerage Systems [Text] / E.V. Moskvicheva, P.A.Sidyakin, D. V. Shitov // Procedia Engineering. – 2016. – № 150. – P. 2381-2386.
20. Nazemi, M. K. Corrosion Study of Protective Coatings Used in Sewer Concrete [Text] / M. K. Nazemi // Sydney Digital Theses. – 2016. – № 8.
21. Noeiaghaei, T. et al. Biogenic deterioration of concrete and its mitigation technologies [Text] / T. Noeiaghaei et al. // Construction and Building Materials. – 2017. – № 149. – P. 575-586.
22. Pazoki, M. Comparative Evaluation of Poly Urethane and Poly Vinyl Chloride in Lining Concrete Sewer Pipes for Preventing Biological Corrosion [Text] / M. Pazoki et al. // International Journal of Environmental Research. – 2016. – Vol. 10. – №2. – P. 305-312.
23. Rohem, N. R. F. Development and qualification of a new polymeric matrix laminated composite for pipe repair [Text] / N. R. F. Rohem et al. // Composite Structures. – 2016. – № 152. – P.737-745.
24. Romanova, A. Concrete corrosion induced by sulfuric acid [Text] / A. Romanova // Sheffield research seminar. – 2016. – P. 1-14.
25. Routil, L. Prediction of the time-variant behaviour of concrete sewer collection pipes undergoing deterioration due to biogenic sulfuric acid [Text] / L. Routil, M.Chroma, B.Teply, D.Novak // In CONCREEP. – 2015. – № 10. – P. 219-228.
26. Tambe ,S. P. Evaluation of microbial corrosion of epoxy coating by using sulphate reducing bacteria [Text] / S.P.Tambe, S.D. Jagtap , A. K.Chaurasiya , K.K. Joshi // Progress in Organic Coatings. – 2016. – №.94. – P. 49-55.
27. Stanic, N. A technology for sewer pipe inspection (part 1): Design, calibration, corrections and potential application of a laser profiler [Text] / N. Stanic, M. Lepot, M.Catieu, J.Langeveld, F. H. Clemens // Automation in Construction . – 2017. – № 75. – P. 91-107.
28. Wang, W. Evaluation of stress intensity factor for cast iron pipes with sharp corrosion pits [Text] / W. Wang et al. // Engineering Failure Analysis. – 2017. – № 81. – P. 254-269.
29. Yuan, H. Degradation modeling of concrete submitted to biogenic acid attack [Text] / H. Yuan, P. Dangla, P. Chatellier, T. Chaussadent //Cement and Concrete Research. – 2015. – № 70. – P. 29-38.

Забелін Сергій Анатолійович, начальник РЕД Індустріального району КП «Харківводоканал».
Тел.: (067) 900-20-09. E-mail: to.khvs.2017@gmail.com.

Алейнікова Алевтина Ігорівна, канд. техн. наук, асистент кафедри технології будівельного виробництва Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (066)291-31-87.
E-mail: alevtynaal222@gmail.com.

Zabelin Sergey, head of the district operating area of the Industrial District CE «Kharkivvodokanal»
Tel.: (067) 900-20-09. E-mail: to.khvs.2017@gmail.com.

Aleynikova Alevtyna, PhD. tehn, assistant department of building technology, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (066) 291-31-87. E-mail: alevtynaal222@gmail.com.

Стаття прийнята 13.10.2017 р.

УДК 621.311

РОЗВИТОК ОБЛАДНАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ. ЧАСТИНА I

Кандидати техн. наук С. І. Яцько, Н. П. Карпенко, Я. В. Ващенко, В. В. Панченко

РАЗВИТИЕ ОБОРУДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ. ЧАСТЬ I

Кандидаты техн. наук С. И. Яцько, Н. П. Карпенко, Я. В. Ващенко, В. В. Панченко

DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR DISTRIBUTION DEVICES POWER TRACTION ELECTRIC SUPPLY. PART I

PhD in technical science S. I. Yatsko, N. P. Karpenko, Y. V. Vashchenko, V. V. Panchenko

Розглянуто поточний стан розвитку технологій, а також технічні параметри та характеристики сучасного типового обладнання розподільних пристроїв систем тягового електропостачання. Виокремлено специфіку основних подібних рис і відмінностей, переваг і недоліків перспективного обладнання систем електропостачання. Зосереджено увагу на технічних рішеннях, відмінних від тих, що застосовуються в Україні, з метою аналізу доцільності їх розвитку та впровадження в теперішніх умовах.

Ключові слова: *тягове електропостачання, розподільні пристрої, сучасне обладнання, нові технології, вимикачі тягових підстанцій.*

Рассмотрено текущее состояние развития технологий, а также технические параметры и характеристики современного типового оборудования распределительных устройств систем тягового электроснабжения. Выделено специфику основных сходных черт и различий, преимуществ и недостатков перспективного оборудования систем электроснабжения. Сосредоточено внимание на технических решениях, отличных от тех, что применяются в Украине, с целью анализа целесообразности их развития и внедрения в нынешних условиях.

Ключевые слова: *тяговое электроснабжение, распределительные устройства, современное оборудование, новые технологии, выключатели тяговых подстанций.*

It's presented review of state and development technologies, technical parameters and characteristics modern basic type equipment in the distributive devices for traction power supply systems: complete block technologies, high-voltage switches direct and alternating current, power and converting transformers, switchgears, recuperators and inverters, power supply automation. On example world's leading specimens shows possibilities high energy efficiency and reliability modern equipment for switchgears. Specifics main features and differences, advantages and disadvantages of perspective equipment electric power supply systems are considered. It's focused view on technical solutions other than those, used in Ukraine, to analyze the feasibility their development and implementation in the present conditions. General directions and criteria for choice rational strategy modernization distributive devices of traction power supply systems are determined. Analysis will allow performing selection technical parameters for devices in design mathematical models and subsequent verification, coordination and implementation in new devices, their compatibility with existing traction power system, railways, subways.

Keywords: traction power supply, switchgears, modern equipment, new technologies, traction substations switches.

Вступ. Як відомо, основними двома складовими будь-якої електрифікованої транспортної системи є рухомий склад та системи забезпечення його енергією – мережі електропостачання. І якщо напрямки підвищення енергоефективності рухомого складу відомі (упровадження асинхронних, синхронних, лінійних приводів; оптимізація режимів руху тощо) [1] і, як правило, полягають у доведенні до оптимуму відомих теоретичних напрацювань, то технології систем електропостачання нині перебувають на межі кардинальних змін.

Бажання підвищити ефективність функціонування електрифікованих залізниць шляхом зменшення енергетично-

матеріальних витрат на виробництво, експлуатацію, обслуговування та ремонт передбачає пошук нових технічних рішень у цій галузі [2]. Це пов'язано з усвідомленням тенденції до постійного збільшення вартості електроенергії, скінченності паливних ресурсів, суттєвих втрат більш ніж 30 % при передачі та розподіленні електроенергії, вартості виходу з ладу обладнання систем електропостачання, вимог до забезпечення екологічності [3].

Аналіз публікацій. Аналіз відомих джерел дав змогу виокремити основні напрямки перспективних технологій у системах тягового електропостачання (рис. 1) [4-10].

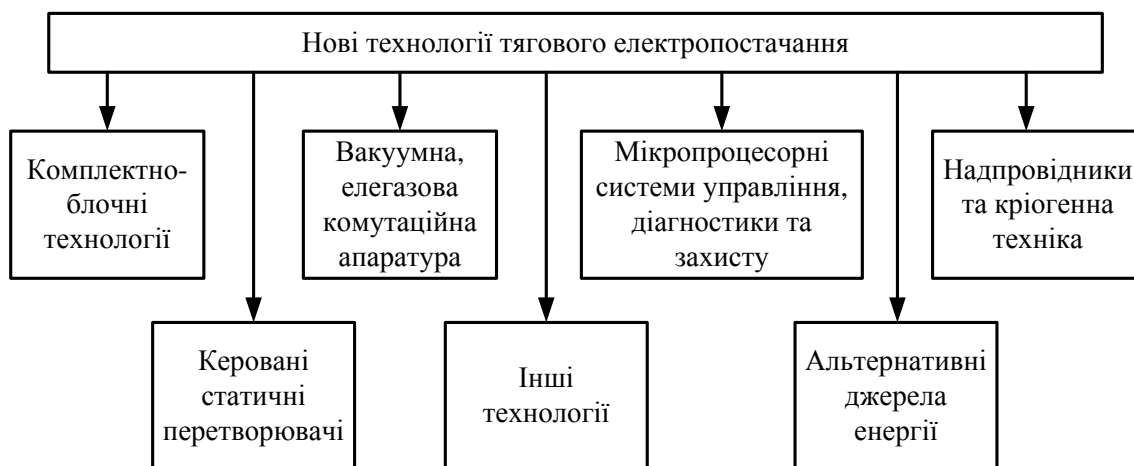


Рис. 1. Перспективні технології систем електропостачання

На сьогодні багато виробників пропонують до поставки на тягові підстанції й інші об'єкти електропостачання залізниць різне за технічними характеристиками, схемним і конструктивним виконанням, якістю і надійністю електротехнічне обладнання. Окрім вітчизняного, наприклад компаній Плутон, Запоріжтрансформатор (Україна, Запоріжжя), також спостерігається тенденція до використання імпортного обладнання, наприклад таких виробників, як АВВ, Siemens, General

Electric (Німеччина) Secheron (Швейцарія), Schneider, Alstom (Франція), Toshiba, Meiden (Японія) тощо. Наведений далі огляд не може охопити весь широкий спектр окремих розробок, а показує лише галузі, у яких відбуваються найсуттєвіші технологічні зміни.

Визначення мети та завдання дослідження. Огляд та аналіз актуальних технологій, а також перспективних засобів поліпшення функціонування для визна-

чення раціональної стратегії модернізації системи тягового електропостачання.

Основна частина досліджень. Пріоритетним у техніці тягового електропостачання є впровадження **комплектно-блочних технологій** [5]. Суть цієї технології полягає в тому, що на одному підприємстві здійснюється дослідження, конструювання, проектування, виробництво, монтаж, налаштування, сервісне і гарантійне обслуговування. В основу

комплектно-блочних технологій покладено концепцію створення необслуговуваної підстанції без постійного експлуатаційного персоналу, що передбачає використання високонадійного обладнання та застосування засобів автоматизації і діагностики всього обладнання підстанції. Це дає змогу перейти від обслуговування «по регламенту» до обслуговування «по необхідності», за фактичним станом. Приклад блочної підстанції показано на рис. 2.



Рис. 2. Приклад тягової підстанції постійного струму комплектно-блочного типу

Складовими елементами комплектно-блочних підстанцій має бути високонадійне та багатофункціональне силове і допоміжне обладнання, до якого в першу чергу відносять трансформатори, комутаційну апаратуру, напівпровідникові перетворювальні пристрої, засоби автоматизації та ін.

Що стосується **силової комутаційної апаратури** (рис. 1), відомо, що на початку електрифікації тягові підстанції комплектувалися баковими масляними вимикачами. У міру розвитку комутаційної техніки вимикачі замінювалися на маломасляні, де масло служить тільки дугогасним

середовищем. На ряді підстанцій застосовуються повітряні вимикачі, від'єднувачі і короткозамикачі. Нині масляні, маломасляні, повітряні вимикачі, від'єднувачі і короткозамикачі не рекомендуються до застосування. На сьогодні за надійністю, екологічністю, мінімізацією витрат з обслуговування і експлуатації, діапазонами номінальних параметрів та економічністю найбільш доцільним є застосування вакуумних та елегазових вимикачів [6,7]. З цих двох типів найбільше застосовуються: на середні напруги змінного струму до 35 кВ

включно – вакуумні, а на високі напруги більше 35 кВ – елегазові.

Доведено, що найбільш простим способом гасіння електричної дуги є гасіння у вакуумі, у якому відсутнє середовище, що

проводить струм. Основою будь-якого вакуумного вимикача є вакуумна дугогасна камера, у якій створюється вакуум високого рівня $1,33 \cdot 10^{-4}$ Па (10^{-6} мм рт. ст.) (рис. 3).

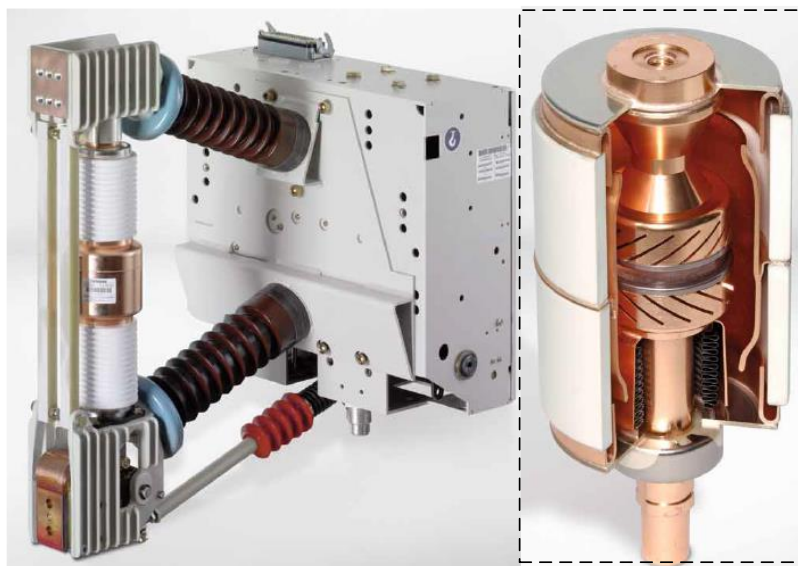


Рис. 3. Вакуумний вимикач ЗАН47 та вакуумна камера виробництва Siemens [7]

До переваг вакуумних вимикачів відносять: відсутність необхідності використання масла, високу зносостійкість, простоту експлуатації, безшумність, чистоту, екологічність; високу швидкодію. Серед недоліків вказують на: рентгенівське випромінювання (при напрузі більше 35 кВ); комутаційні перенапруги; властивість матеріалів до зварювання в умовах глибокого вакууму.

Елегазові вимикачі розглядаються як найбільш перспективні на напруги 110 і 220 кВ (рис. 4). Елегаз SF₆ (шестифториста сірка) є електровід’ємним газом, його молекули мають здатність захоплювати електрони. При цьому утворюються малорухомі, важкі від’ємні іони, які повільно переміщуються в електричному полі. Втрата електронів робить дугу нестійкою і вона легко гасне.

Переваги елегазових вимикачів: вибухо- і пожежобезпечність, швидкодія,

можливість здійснення синхронного розмикання контактів безпосередньо перед переходом струму через нуль, висока вимикальна здатність при особливо важких умовах вимкнення (напр. вимкнення невіддалених коротких замикань), надійне вимкнення ємнісних струмів холостих ліній, малий знос дугогасних контактів. До недоліків відносять: шкідливий вплив на навколишнє середовище, необхідність наявності пристроїв для наповнення, перекачування та очищення SF₆, складність конструкції ряду деталей та вузлів, необхідність застосування високонадійних ущільнювачів, висока вартість дугогасного середовища та вимикача в цілому.

Вимикачі постійного струму. Основним напрямком удосконалення швидкодійних вимикачів є зменшення часу вимкнення $t_{\text{вимкн}}$. Його можна зменшувати, удосконалюючи конструкцію механізму швидкодійного вимикача або дугогасної камери.

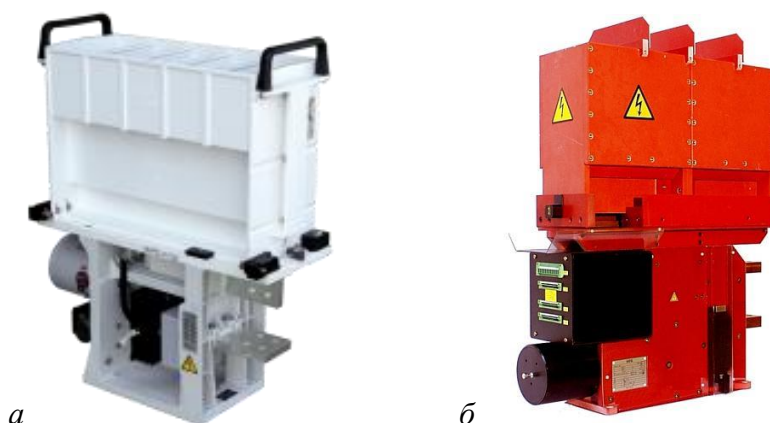


Рис. 4. Швидкодіючі вимикачі Secheron (а) [8] та Gerapid (б) [9]

Серед швидкодійних автоматичних вимикачів можна навести зразки Gerapid виробництва General Electric (Німеччина) або UR – виробництва Secheron (Швейцарія) (рис. 4). Обидва вимикачі мають приблизно однакові технічні характеристики: струми вимкнення до 8000 А, велика кількість опцій (розчіплювачі максимального струму, мінімальної напруги), значний комутаційний ресурс [8,9]. Технічне обслуговування передбачає лише візуальний огляд та, у разі необхідності, заміну пари дугогасних контактів після виконання 300 аварійних вимикань.

Принцип дії вимикачів оснований на гасінні електричної дуги в дугогасній решітці, яка складається зі сталевих пластин. Електрична дуга під дією магнітного поля видувається в дугогасну камеру, де розбивається на короткі дуги і гаситься.

Силові та перетворювальні трансформатори. На залізницях світу, електрифікованих на однофазному струмі промислової частоти, живлення тягової мережі відбувається від трифазних ліній електропередачі через трансформатори, з'єднані по одній із схем: однофазного трансформатора Скотта, трифазного трансформатора з відкритим трикутником (Δ) та за схемою «зірка-трикутник-11»

(\wedge/Δ -11), до яких висуваються такі загальні вимоги: забезпечувати заданий рівень напруги, мінімальну несиметрію, можливість живлення районних та нетягових споживачів [10].

На вітчизняних електрифікованих залізницях найбільше розповсюдження отримала схема живлення тягової мережі від трифазного трансформатора зі схемою з'єднання обмоток \wedge/Δ -11. Трансформатор за схемою Скотта застосовується на залізницях у Європі, Японії та ін. Схема Скотта складається з двох однофазних взаємозамінних трансформаторів (рис. 5). Перевагами схеми Скотта є можливість регулювання напруги на висотному та базисному трансформаторах та менший ступінь несиметрії порівняно з іншими схемами.

В Україні така схема Скотта не застосовується через необхідність переобладнання існуючої тягової системи електропостачання, складність виготовлення трансформаторів (ізоляція обмоток первинної напруги виконується на лінійну напругу, трансформатор за рахунок цього є спеціальним, а не типовим, це його здорожчує), а також неможливість живлення районних і нетягових споживачів (для живлення окремих трифазних споживачів необхідно встановлювати окремі трифазні трансформатори).

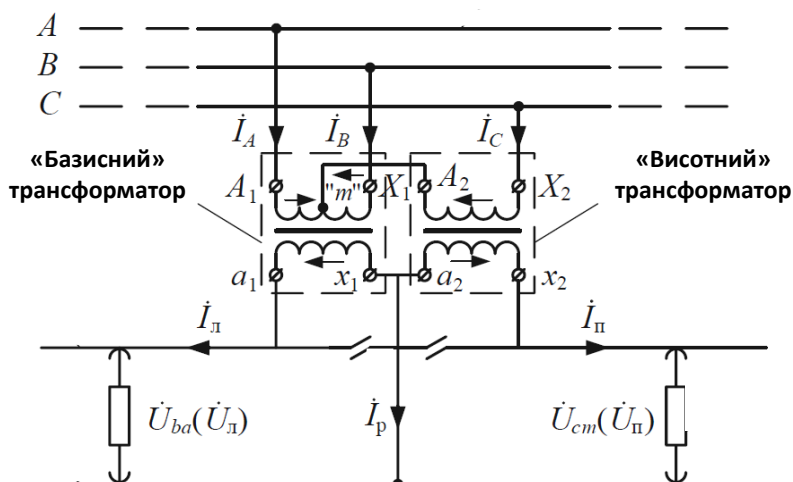


Рис. 5. Схема Скотта

Сучасні *перетворювальні трансформатори* рекомендується конструктивно виконувати сухими, з відкритими обмотками, не екранованими твердою ізоляцією, з природним охолодженням [11]. Сухі трансформатори (рис. 6) кращі за перевантажувальною здатністю, екологічністю, пожежобезпекою. У сухих трансформаторах обмотки просочені смолою, виготовлені методом вакуум-тиску з подальшою їх полімеризацією при високій температурі. Цим досягається міцне ізоляційне покриття котушок, яке гарантує надійний рівень ізоляції і захист від впливу

навколишнього середовища і одночасно не перешкоджає ефективному охолодженню. Як ізоляція використовується матеріал з практично негорючого і самозатухаючого матеріалу, армованого скловолокном, у якому розміщена високовольтна обмотка з вертикальними і горизонтальними каналами охолодження. Магнітна система трансформатора зібрана з тонколистової 0,3 мм холоднокатаної анізотропної електротехнічної сталі за технологією Step-Lap, що забезпечує зменшення втрат, струму холостого ходу і рівня шуму.



Рис. 6. Сухий трансформатор для підстанцій метрополітенів виробництва Плутон (м. Запоріжжя) [11]

Окремі види обладнання входять до складу **розподільних пристроїв**, призначених для приймання і розподілу електроенергії на одній напрузі. Електричні схеми розподільчих пристроїв повинні забезпечувати з'єднання їх окремих елементів просто, надійно і зручно для виконання вимог до надійності та безпеки живлення залізничних споживачів, відповідно 1-ї або 2-ї категорій.

На рис. 7, а наведено електричну схему обладнання на прикладі розподільного пристрою змінного струму 27,5 кВ виробництва Toshiba [12], що складається з таких основних елементів, як тягові трансформатори Скотта великої потужності, однофазні автоматичні вимикачі, обмежувачі перенапруг, перемикачі положень, панелі керування, інтелектуальні цифрові реле, засоби захисту, контролю та моніторингу стану на основі контролерів та мережі з'єднання LAN.

Для системи електрифікації постійного струму на додаток до такого стандартного обладнання, як випрямні трансформатори, випрямлячі та швидкодійні автоматичні вимикачі, розроблено значну кількість нового обладнання на основі силової електроніки та цифрових технологій. На рис. 7, б показано приклад схеми розподільного пристрою тягової підстанції постійного струму 3,3 кВ. Застосовуються трансформатори з потужністю випрямлячів до 6 МВт з еластичною або епоксидно-гумовою ізоляцією. Для підвищення екологічності застосовуються трансформатори з рідкосиліконовою або рослинно-масляною ізоляцією.

Випрямлячі із застосуванням методу вертикальної теплорозсіювальної труби самоохолодження (рис. 8) мають високу термічну ефективність і можуть бути встановлені на відкритому повітрі.

Високошвидкісний вакуумний вимикач (HSVCB) складається з блоків вимикача, конденсатора, модуля управління та захисту (рис. 9). У разі виявлення блоком керування та захисту надструму або отримання команди відкриття, обидва вентилі та тиристорний ключ конденсаторного блока вмикаються.

Оскільки струм конденсатора перебуває в протилежному напрямку до навантаження / несправності струму, досягається нульова точка перетину постійного струму. Тому навантаження / несправності можуть бути розірвані з високою надійністю та безпечністю. Під час звичайного розриву не відбувається дуга через застосування вакуумного вимикача VCB.

Двома енергоефективними системами для постійного струму є регенеративні (рекуперативні) інвертори та накопичувачі (рис. 10). Регенеративний інвертор – це енергозберігаюче рішення для ефективного використання енергії рекуперативного гальмування від рухомого складу. Він перетворює рекуперований постійний струм назад до джерела змінного струму та постачає його до допоміжної системи для пасажирських станцій. Система накопичення тягової енергії є енергозберігаючим рішенням, що дає змогу не тільки зберігати рекуперовану енергію, а й сприяє згладжуванню пікових енергій споживання, компенсації напруги джерела, а також служить для аварійного живлення.

Перспективним у ролі накопичувачів є використання акумуляторів на основі оксиду титанату літію, до переваг яких відносять безпеку та довготривалість роботи, швидке зарядження, високу вихідну потужність.

Що стосується **автоматизації електропостачання**, перспективним є застосування систем диспетчерського управління та збору даних (Supervisory control and data acquisition - SCADA), що дає змогу здійснювати стабільні, високонадійні та водночас зручні поїзні операції. Наприклад, при виникненні несправності у розподільній мережі одночасно декілька сигналів несправності будуть відправлені з підстанцій до SCADA-серверу в центрі керування. Оператор може бути заплутаний багатьма несправностями та сигналами. SCADA-система збирає пов'язану інформацію та відображає спочатку те, що насправді сталося, активуючи контроль відновлення та показуючи процедуру відновлення оператору.

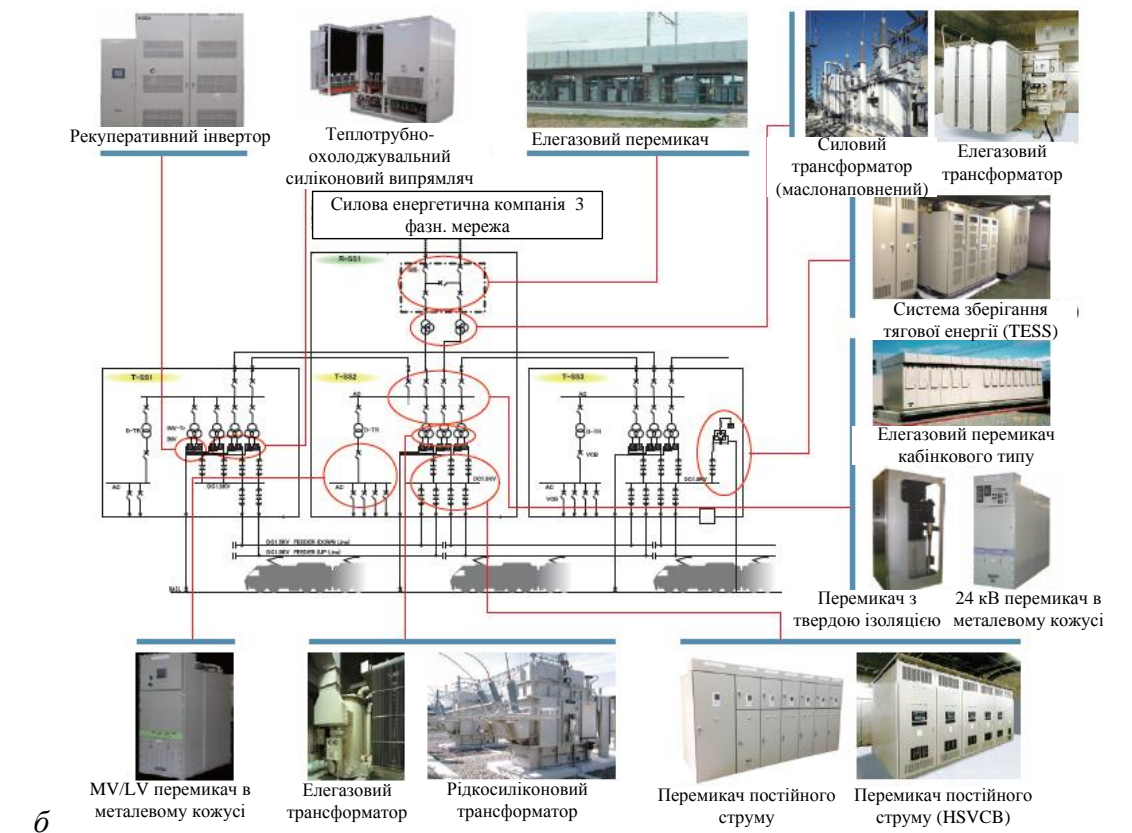
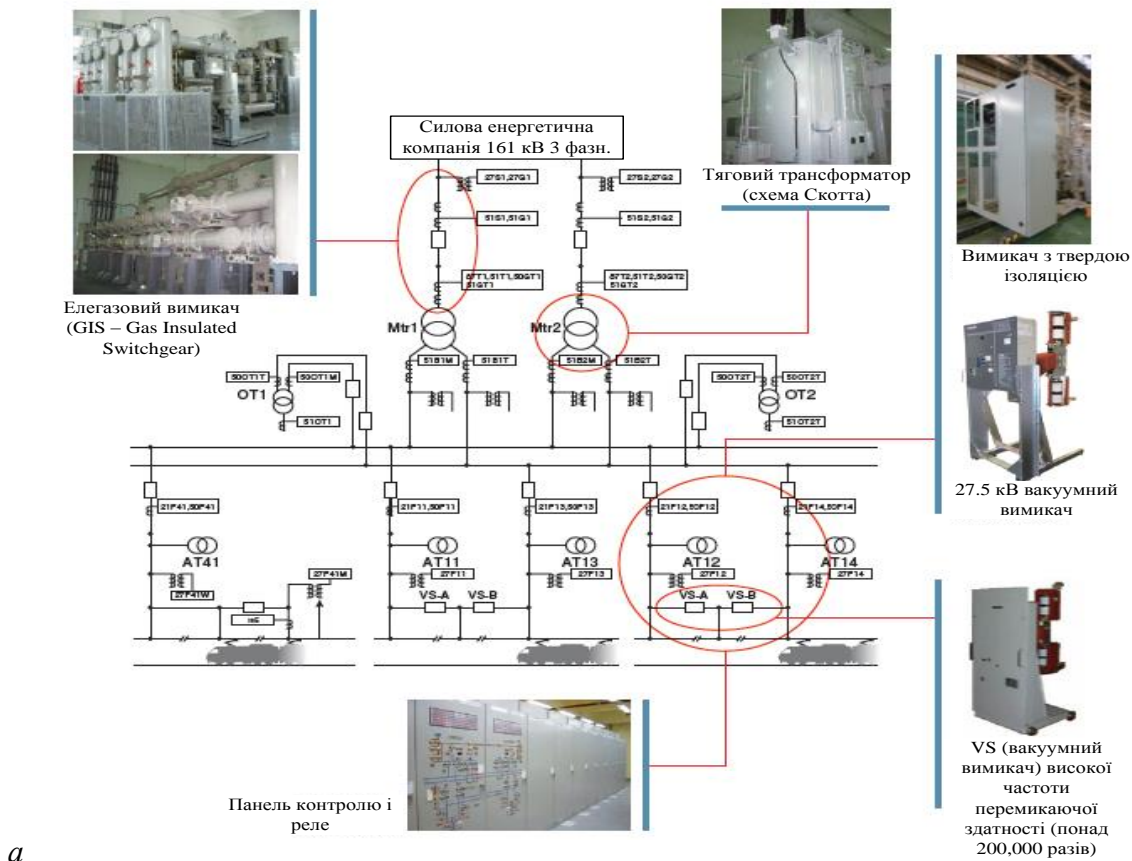


Рис. 7. Тягові системи змінного (а) та постійного (б) струму Toshiba [12]

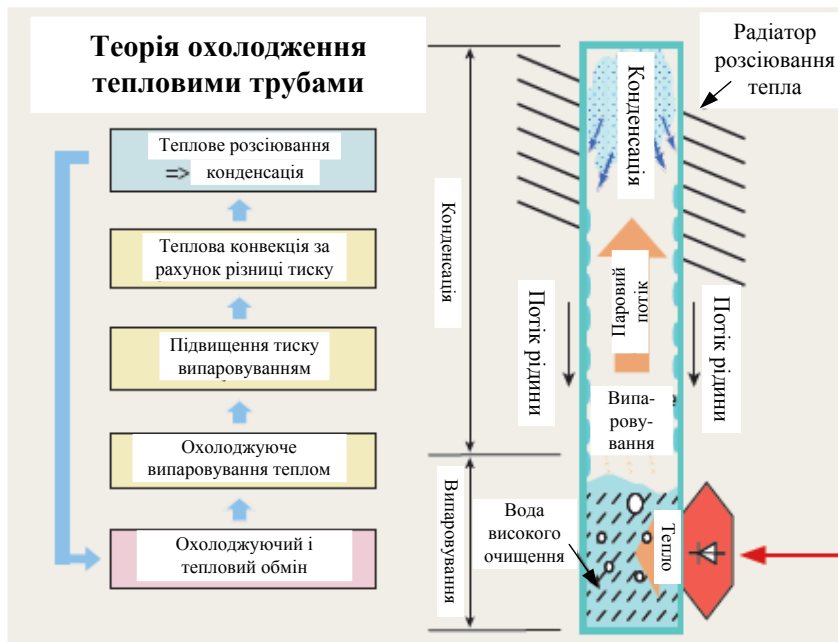


Рис. 8. Принцип вертикальної теплової труби самоохолодження

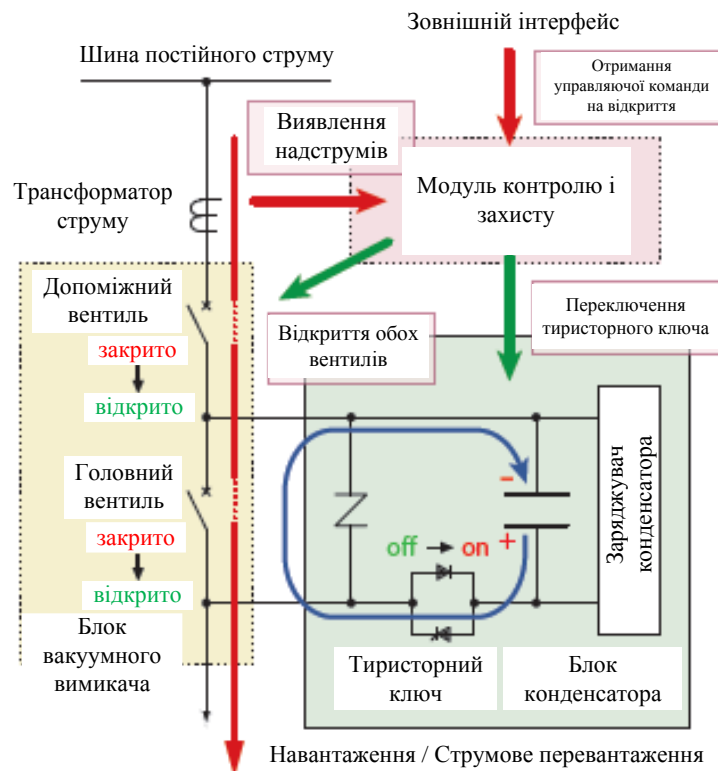


Рис. 9. Принцип вимкнення постійного струму за допомогою HSCB

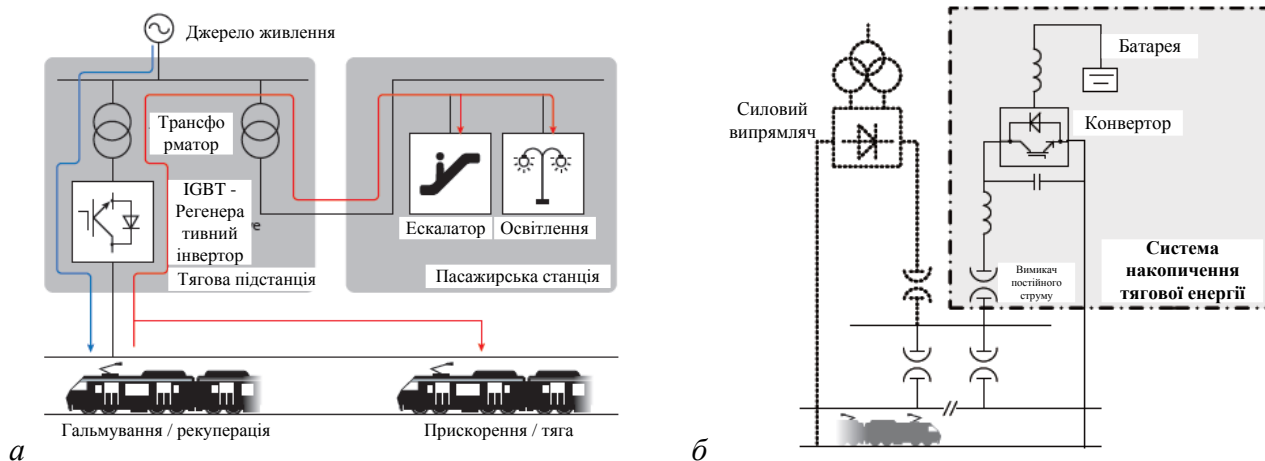


Рис. 10. Принципи рекуперації (а) та накопичення енергії (б) [12]

Визначення раціональної стратегії модернізації системи тягового електропостачання. Підтримання конкурентоспроможності залізничного транспорту потребує поліпшення технічних та економічних характеристик системи тягового електропостачання шляхом її модернізації. При всьому цьому на рівень та глибину рішень суттєво впливає необхідність узгодження співвідношення капітальних та експлуатаційних витрат з прибутками від експлуатаційної діяльності. Зрозуміло, що ця задача багатокритеріальна і належить до задачі вибору найкращого проектного рішення з множини можливих рішень. Вибір найкращого проектного рішення пропонується проводити шляхом визначення функції корисності кожної альтернативи F_i :

$$F_i = \sum_{j=1}^k U_{ij} \cdot W_j, \quad j=1 \dots n$$

де n – кількість альтернатив; k – кількість критеріїв; U_{ij} – оцінка i -ї альтернативи за j -м критерієм; W_j – вага j -го критерію, так як кожен критерій може мати різний ступінь важливості. Приймається, що вага критерію оцінюється за шкалою від 0 до 1, а оцінка альтернативи – за конкретним критерієм від 0 до 10.

Принцип виставлення ваги, балів та розрахунку корисності кожної альтернативи для прийняття оптимального рішення про пріоритетність впровадження елементів системи електропостачання проілюстровано на рис. 11.



Рис. 11. Результати розрахунку пріоритетності впровадження елементів системи електропостачання

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Підвищення безпеки, надійності та енергоефективності залізничного транспорту неможливе без упровадження технологічних інновацій та передових технологій у системах тягового електропостачання. Установлено, що на теперішній час у світі такі технології досягли значного прогресу. Це обумовлено в першу чергу розвитком підходів до виробництва пристроїв та обладнання, а також матеріалів, з яких вони виготовляються. Найбільш передовими є

концепції не поетапної заміни (модернізації) окремих видів обладнання, а розроблення і впровадження блочних комплектних вузлів, які не потребують обслуговування та взаємоузгоджені між собою. В Україні також потрібне переосмислення напрямків розвитку та прискорення темпів упровадження технологій електропостачання. Це забезпечить суттєве зменшення витрат на доставлення - розподілення електроенергії та економію трудовитрат на обслуговування і ремонт обладнання розподільних пристроїв.

Список використаних джерел

1. Басов, Г. Г. Развитие электричного моторвагонного рухомого складу [Текст] / Г. Г. Басов, С. І. Яцько. – Харків: Апекс+, 2005. – Ч. 2. – 248 с.
2. Матусевич, О. О. Дослідження експлуатації силового обладнання системи тягового електропостачання залізниць [Текст] / О. О. Матусевич, Д. В. Міронов // Вісник ДНУЗТ. – 2015. – № 1(55). – С. 62-77.
3. Рекомендации по экономии электроэнергии в устройствах энергоснабжения электрифицированных железных дорог [Текст]: Р 612/7 ОСЖД. – Варшава, 2010. - 10 с.
4. Марикин, А. Н. Новые технологии в сооружении и реконструкции тяговых подстанций [Текст] / А. Н. Марикин, А. В. Мизинцев. – М.: ГОУ «УМЦ по образованию на ж.-д. транспорте», 2008. – 220 с.
5. Комплектное блочно-модульное оборудование тягового электроснабжения [Текст] / ДАК-енергетика. – Днепропетровск. – 28 с.
6. Switching in electrical transmission and distribution systems [Текст] / R. Smeets, L. Sluis, M. Kapetanovic, D. Peelo, A. Janssen. – John Wiley and Sons, Ltd., 2015. – P. 243-260.
7. 3AH47 vacuum circuit-breakers for traction applications. Catalog HG 11/52-2010 [Текст] / Siemens AG. – 36 p. – Точка доступу: www.siemens.com/energy.
8. Быстродействующие автоматические выключатели постоянного тока для стационарных установок. Тип UR [Электронный ресурс] / Secheron. – 2016. – 16 с. – Режим доступа: www.secheron.com.
9. Gerapid. Быстродействующий автоматический выключатель постоянного тока. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] / General electric power controls, 2011. – 57 с. – Режим доступа: www.geindustrial.com.
10. Запорожтрансформатор. Номенклатурный каталог [Электронный ресурс] / ПАО «Запорожтрансформатор». – 36 с. – Режим доступа: www.ztr.ua.
11. Тяговые подстанции метрополитена [Электронный ресурс] / ЧАО «Плутон». – Запорожье. – 81 с. – Режим доступа: www.pluton.ua.
12. Railway power supply systems [Электронный ресурс] / Toshiba. – Japan, 2014. – Режим доступа: <http://toshiba-railway.com>.

Яцько Сергій Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-75.
E-mail: ua.yatsko@gmail.com.

Карпенко Надія Петрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-96. E-mail: eltech@kart.edu.ua.

Ващенко Ярослав Васильович, канд. техн. наук, асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (050) 728-21-92. E-mail: yaroslav.vashchenko@gmail.com.

Панченко Владислав Вадимович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (066) 187-89-61. E-mail: vlad_panchenko@ukr.net.

Yatsko Sergey Ivanovich, cand. tech sciences, Associate Professor Department of electric power engineering, electrical engineering and electromechanics Ukrainian State University of Railway Transport. Phone: (057) 730-10-75. E-mail: ua.yatsko@gmail.com.

Karpenko Nadia Petrivna, cand. tech. sciences, associate professor department of electric power engineering, electrical engineering and electromechanics Ukrainian State University of Railway Transport. Phone: (057) 730-19-96. E-mail: eltech@kart.edu.ua.

Vashchenko Yaroslav Vasilievich, cand. tech sciences, Assistant Department of electric power engineering, electrical engineering and electromechanics Ukrainian State University of Railway Transport. Phone: (050) 728-21-92. E-mail: yaroslav.vashchenko@gmail.com.

Panchenko Vladislav Vadimovich, cand. tech sciences, Senior Lecturer Department of electric power engineering, electrical engineering and electromechanics Ukrainian State University of Railway Transport. Phone: (066) 187-89-61. E-mail: vlad_panchenko@ukr.net.

Стаття прийнята 19.10.2017 р.

УДК 621.182

ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТВЕРДОПАЛИВНИХ КОТЛІВ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕННЯ ДИЗЕЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

Д-р техн. наук А. П. Фалендиш, асист. О. В. Клецка, магістри Т. С. Катеренюк, О. О. Кривонос

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ КОТЛОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Д-р техн. наук А. П. Фалендыш, ассист. О. В. Клецкая, магистры Т. С. Катеринюк, Е. О. Кривонос

FORECASTING PARAMETERS OF SOLID-FUEL BOILERS FOR HEATING THE DIESEL LABORATORY

Doctor of technical sciences A. P. Falendysh, assistant O. V. Kletska, master T. S. Katerinyuk, O. O. Krivonos

У даній статті на основі розробленої моделі виконані розрахунки основних техніко-економічних параметрів твердопаливного котла для опалення приміщення дизельної лабораторії університету. Результати розрахунків перевірені за даними експериментальних досліджень на твердопаливному піролізному котлі. Зроблений аналіз стану твердопаливних котлів, які є на ринку України. Для визначених параметрів котла з використанням кваліметричного підходу запропонований тип котла та його виробник.

Ключові слова: котел, опалення, баланс, рівень, модель.

В данной статье на основе разработанной модели выполнены расчеты основных технико-экономических параметров твердотопливного котла для отопления помещения дизельной лаборатории университета. Результаты расчетов проверены по данным экспериментальных исследований на твердотопливном пиролизном котле. Сделан анализ состояния твердотопливных котлов, которые есть на рынке Украины. Для определенных параметров котла с использованием квалиметрического подхода предложен тип котла и его производитель.

Ключевые слова: котел, отопление, баланс, уровень, модель.

In the paper, on the basis of the developed model, calculations of the parameters of the solid fuel boiler for heating the premises of the diesel laboratory were performed. The results of the calculations were verified according to experimental data. For the specified boiler parameters using the qualimetric approach, it was proposed a boiler type and its manufacturer. In Ukraine, there is a huge choice of solid fuel boilers, working on different solid fuels, both domestic and foreign production. Application of various methods of choosing boilers to meet the needs of enterprises and the residential sector is an important part of the process of improving the heating and hot water supply systems in general. Therefore, it is necessary to develop new, modern, methods of selecting solid fuel boilers to provide heat for small premises of enterprises, which will take into account both their design, as well as technical level and cost indicators. This will greatly reduce the cost of the needs of enterprises and the residential sector in thermal energy.

The theoretical calculations of the characteristics of the boiler were performed and determined during the field experiments on the pyrolysis boiler. The obtained values after the calculation had an experimental difference by no more than 12 %, which can be explained by the accuracy of measurements and not fully taking into account influential factors, which shows adequacy of the mathematical model. The developed method for assessing the technical level of heating boilers based on the comprehensive assessment of their technical characteristics information on the technical level of boilers according to the degree of their compliance with modern requirements and best world analogues.

Key words: boiler, heating, balance, level, model.

Вступ. Реалії сьогодення змушують все більшу кількість людей не тільки замислюватися над питанням економії на опаленні, а й починати діяти в цьому напрямку, а саме вести активний пошук альтернативних систем енергозбереження та опалення. На сьогодні найбільш доступним способом заощадження й забезпечення теплом є твердопаливні котли тривалого горіння. Твердопаливні котли становлять окрему групу обладнання для опалення приміщень. Найчастіше вони використовуються як додаткове джерело обігріву, але останнім часом їх популярність значно зросла. Централізована система газифікації є не скрізь, і підключитися до неї коштує досить

дорого. До того ж, ціни на електроенергію і газ постійно підвищуються.

Тому твердопаливний котел може стати альтернативою звичному для нас електричному або газовому обладнанню.

В Україні є великий вибір твердопаливних котлів, що працюють на різному твердому паливі, як вітчизняного, так і закордонного виробництва. Застосування різноманітних методів вибору котлів для забезпечення потреб підприємств і житлового сектора є важливою складовою процесу вдосконалення систем опалення і гарячого водопостачання в цілому. Тому необхідно розробити нові, сучасні методи вибору твердопаливних котлів для забезпечення теплом невеликих приміщень підприємств, які будуть враховувати як їх

конструкцію, так і технічний рівень та вартісні показники. Це дозволить в значній мірі зменшити витрати на потреби підприємств і житлового сектора в тепловій енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальність теми використання твердопаливних котлів для опалення невеликих приміщень яскраво підтверджується наявністю великої кількості статей та наукових праць, поданих в періодичних виданнях технічного характеру [1-18].

Для визначення основних технічних параметрів котлів використовують в основному нормативний метод, в основу якого покладено емпіричні залежності, що отримані при випробуваннях великих енергетичних котлів. Але теплообмін в топках малих котлів істотно відрізняється від них. Тому при розрахунку теплообміну в топках котлів малої потужності використання нормативного методу, що враховує тільки теплове випромінювання, призводить до суттєвих помилок [1-3].

Аналіз відомої літератури та робіт провідних вчених в цій галузі [4-10] показав недостатність інформації щодо теплових та аеродинамічних розрахунків інтенсифікованого теплообміну в жаротрубних котлах малої потужності, а також недостатню кількість даних про дослідження показників роботи котлів малої потужності з інтенсифікацією теплообміну. Тому в роботі [11] запропоновано модель розрахунку твердопаливного котла малої потужності. Але розрахунки за згаданою моделлю та порівняння їх з результатами випробувань не проводилися. Тому робота в цьому напрямку являє не лише науковий, але й практичний інтерес.

Наступним кроком після визначення параметрів котла є вибір його типу та виробника. На основі багатьох способів вибору котлів [12-17] в роботі [18] запропонована модель вибору на основі кваліметричного підходу. Тому апробація даної моделі вибору твердопаливного котла

для опалення невеликих приміщень з урахуванням не тільки його основних характеристик, а й технічного рівня та вартості протягом життєвого циклу є своєчасним і актуальним завданням.

Мета та завдання дослідження. Метою статті є наукове обґрунтування вибору типу твердопаливного котла для опалення дизельного приміщення в холодний період року. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання: виконати розрахунок основних параметрів твердопаливного котла; провести експерименти на котлі та порівняти отримані результати з розрахунковими; на основі кваліметричного методу за розробленою раніше моделлю вибрати тип котла та його виробника для опалення дизельної лабораторії університету.

Основний матеріал. Твердопаливний котел невеликої потужності складається з теплообмінних пристроїв, які залежать один від одного, та служить для передачі тепла від згорання палива до води. Вихідним носієм енергії для отримання підігрітої води може бути будь-яке тверде паливо. При цьому виділяють два основні елементи робочого процесу: процес згорання палива та процес теплообміну між продуктами згорання або самого палива, що горить, з водою [19].

Розрахунки параметрів котла виконуватимемо за запропонованою моделлю повірного теплового розрахунку [11], яка базується на Нормативному методі. У загальному вигляді модель записується таким чином:

$$P_K(P_{K_пов}; P_{K_кон}) \rightarrow optimum,$$

де $P_{K_пов}$ – масив показників, які визначаються при повірному розрахунку;

$P_{K_кон}$ – масив показників, які визначаються при конструктивному розрахунку.

Модель має обмеження, які представляють собою масив обмежень $P_{об}$,

$$P_{об}=(P_{об_нав.сер}; P_{об_констр}; P_{об_теп}),$$

де $P_{об_нав.сер}$ – масив обмежень за параметрами навколишнього середовища (температура, тиск, вологість тощо);

$P_{об_констр}$ – масив обмежень параметрів, що викликаний конструкцією котла або котельні в цілому;

$P_{об_теп}$ – масив обмежень параметрів, що викликаний техніко-економічними вимогами до котла.

Визначимо основні параметри котла для опалення частини відгородженої дизельної лабораторії кафедри. Для проведення теплотехнічних досліджень в дизельній лабораторії з використанням брезентових тентів була виділена ділянка загальною площею 120 м². Висота перекриття складала 4,5 м. Для підтримання комфортних умов роботи згідно з розрахунками необхідний котел потужністю в межах 15 кВт.

За прототип взятий твердопаливний котел піролізного типу потужністю 18 кВт (рисунок) з основними характеристиками, що наведені в табл. 1.



Рис. Котел піролізного типу

Основні результати розрахунку за параметрами даного котла за запропонованою моделлю [11] подано в табл. 2.

Таблиця 1

Основні характеристики твердопаливного котла

| Показник | Значення |
|--------------------------------|----------|
| Номінальна потужність, кВт | 18 |
| ККД, % | 85 |
| Тривалість робочого циклу, год | 8-12 |
| Габаритні розміри, мм | |
| - довжина (глибина) | 1009 |
| - ширина | 630 |
| - висота | 1192 |
| Маса, кг | 240 |
| Робочий тиск, бар | 1,5 |
| Об'єм води в котлі, л | 72 |

Котел був виготовлений та встановлений в лабораторії кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. У період з 2016 по 2017 роки на ньому проводились випробування,

основні результати яких наведені в табл. 2. Отримані значення розрахунковим шляхом та експериментально відрізняються не більше ніж на 12 %, що можна пояснити точністю вимірів та неповним урахуванням факторів, що впливають.

За визначеними основними параметрами котла за розробленою моделлю в роботі [18] був виконаний вибір котла.

На першому етапі експертним методом були вибрані 10 основних техніко-

економічних показників опалювальних котлів (табл. 3). Наступним кроком було визначення їх раціональності.

Таблиця 2

Результати розрахунку

| Показник | Значення параметра | |
|------------------------|--------------------|------------------|
| | розрахункове | експериментальне |
| Температура води, °C | | |
| на вході | 75 | 74,4 |
| на виході | 50 | 51,9 |
| Дрова, кг | | |
| завантаження | 15 | 15 |
| залишок / зола | 0/1,4 | 0,01/1,45 |
| Витрата палива, кг/год | 2,98 | 3,12 |
| Витрата води, кг/год | 340 | 322 |
| ККД котла | 0,71 | 0,67 |
| Потужність, кВт | 9,8 | 8,9 |

Таблиця 3

Результати визначення техніко-економічних показників, які характеризують опалювальні котли

| Показник | Позначення | Раціональність показника | Ваговий коефіцієнт |
|---|------------------|--------------------------|--------------------|
| Потужність, кВт | N | Раціональний | 0,1 |
| Опалювальна площа, м ² | S | Раціональний | 0,15 |
| ККД, % | η | Раціональний | 0,2 |
| Об'єм завантажувальної камери, м ³ | V _{топ} | Раціональний | 0,1 |
| Об'єм теплоносія у котлі, м ³ | V _в | Раціональний | 0,05 |
| Час горіння, год | t | Раціональний | 0,2 |
| Максим. тиск, бар | P _{max} | Ірраціональний | 0,05 |
| Площа перерізу димоходу, мм ² | S _{дим} | Ірраціональний | 0,05 |
| Коефіцієнт універсальності котла | Кун | Раціональний | 0,05 |
| Маса котла, кг | m | Ірраціональний | 0,05 |

На третьому етапі виконується вибір методу розрахунку технічного рівня. У нашому випадку для розрахунків експертним методом був обраний метод вагових коефіцієнтів, що має свої переваги та недоліки. До переваг даного методу відноситься простота в порівнянні з іншими методами, він легко піддається комп'ютерній обробці, дозволяє провести

комплексне порівняння аналогічних об'єктів з урахуванням різних видів показників. Недоліком є те, що цей коефіцієнт не має фізичного змісту

$$K_{т.р.} = \frac{\sum_{i=1}^{i=s} k_i \varphi(i)}{\sum_{i=1}^{i=s} \varphi(i)}, \quad (1)$$

де $K_{т.р.}$ – коефіцієнт технічного рівня; $\varphi(i)$ – вага i -го показника; k_i – питомий показник;

$$k_i = P_{in} / P_{i\text{баз}}, \quad (2)$$

де P_{in} – значення i -го показника, обраного котла; $P_{i\text{баз}}$ – значення i -го показника, базового котла.

На четвертому етапі експертним методом було виконано ранжування параметрів котлів та розраховано значення їх вагових коефіцієнтів (табл. 3).

За критерієм потужності опалювальні котли були розділені на групи за номінальною потужністю: до 10 кВт; від 10 до 20 кВт; від 20 до 30 кВт; від 30 до 50 кВт; від 50 до 90 кВт; від 90 до 99 кВт. Наш котел потрапив до другої групи, базовим зразком для якої був вибраний котел.

Коефіцієнт технічного рівня розраховувався за формулою (1). У результаті розрахунків для опалення виділеного приміщення в дизельній лабораторії пропонуються такі серії опалювальних котлів: Kalvis 5; DAKON KP PYROF; Buderus Logano S121-2 WT.

Висновки

1. Проведені розрахунки основних параметрів твердопаливного котла потужністю до 100 кВт за запропонованою моделлю, яка базується на Нормативному

методі розрахунку, але має свої особливості. Для опалення відокремленої частини дизельного приміщення (площею 120 м²) необхідний котел потужністю 15 кВт.

2. Для проведення теоретичних розрахунків характеристик котла та натурних експериментів використовувався піролізний котел. Отримані значення розрахунковим шляхом та експериментально відрізняються не більше ніж на 12 %, що пояснюється точністю вимірювань та неповним урахуванням впливових факторів, що демонструє непогану адекватність отриманої математичної моделі.

3. За розробленою методикою оцінки технічного рівня опалювальних котлів на основі комплексного оцінювання їх технічних характеристик отримана інформація про технічний рівень опалювальних котлів за ступенем їх відповідності сучасним вимогам та кращим світовим аналогом.

4. У подальшому необхідно зробити розрахунки за запропонованою моделлю й визначити номенклатуру твердопаливних котлів, які раціонально використовувати для опалення приміщень в залежності від різних видів палива та динаміки зміни температури навколишнього середовища.

Список використаних джерел

1. Целесообразность использования твердотопливных котлов на предприятиях железнодорожного транспорта [Текст] / А. П. Фалендиш, Л. А. Пархоменко, О. В. Клецка, П. В. Рукавишников // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 153. – С. 210-217.
2. Тепловой расчёт котельных агрегатов (нормативный метод) [Текст]. – Л.: НПО ЦКТИ, 1973. – 260 с.
3. Степанов, Д. В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності [Текст]: монографія / Д. В. Степанов, Л. А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, ГНК, 2010. – 250 с.
4. Wei Yang, Senlin Zhao, Research on the method of boiler thermal efficiency calculation [J], In Chinese, Power System Engineering, 1995.
5. Fangping Shen, Keyi Zhou, Research of Boiler Thermal Efficiency's Calculating Model and Development of Software [D], In Chinese, Southeast University, 2004.
6. Jianhua Wang, Chuanhua Jiao, Comparison to Thermal Efficiency Calculation of CFB Boiler based on ASME PTC—1998 Criteria and DL/T 964—2005 Criteria [J], In Chinese, INNER MONGOLIA ELECTRIC POWER, 2010.

7. Chunmei Zhu, Research on online boiler efficiency calculation model[J], In Chinese, Instrumentation. Analysis. Monitoring, 2010.
8. Junrui Li, Na Qin, Zhipeng Hao, The on-line calculation of coal-fired boiler thermal efficiency and the analysis of energy saving[J], In Chinese, GAS & HEAT, 2014.
9. Wei Yang, Senlin Zhao, Research on the method of boiler thermal efficiency calculation[J], In Chinese, Power System Engineering, 1995.
10. Haibo Wang, Xiang Li, Research on various heat loss of the boiler[J], In Chinese, Min Yin Ke Ji, 2015.
11. Фалендиш, А. П. Модель розрахунку твердопаливного котла невеликої потужності [Текст] / А. П. Фалендиш, О. В. Клецька, Є. А. Бітюра // Зб. наук. праць Укр. держ.ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 166. – С. 86-94.
12. Сравнительный анализ популярных твердотопливных котлов от 14 до 30 кВт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ktl.by/articles/50> (Дата обращения: 12.10.2017).
13. Корчевой, Ю. П. Сучасний стан вугільних електростанцій України і перспективи їхнього розвитку [Текст] / Ю. П. Корчевой, А. Ю. Майстренко // Екотехнології і ресурсозбереження. – 1996. – №3. – С. 38.
14. Долінський, А. А. Енергозбереження та екологічні проблеми енергетики [Текст] / А. А. Долінський // Вісник НАН України. – 2006. – № 2. – С. 24-32.
15. Domestic heating by gas: boiler systems – guidance for installers and specifiers CE30 / Energy Saving Trust. Revised June 2008. – 64 p.
16. Выбор твердотопливного котла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kotel.prom.ua/a207404-raschet-dlitelnosti-goreniya.htm>. (Дата обращения: 03.08.2016).
17. Standards of Performance for Large Municipal Waste Combustors for Which Construction is Commenced After September 20, 1994, or for Which Modification or Reconstruction is Commenced After June 19, 1996,. 40 CFR 60, Eb, U.S. Environmental Protection Agency.
18. Фалендиш, А. П. Модель вибору твердопаливного котла для приміщень невеликої площі [Текст] / А. П. Фалендиш, О. В. Клецька, Т. С. Черненко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2016. – №4. – С. 39-43.
19. Справочник потребителя биотоплива [Текст] / [под. ред. Виллу Вареса]. – Таллинн: Таллинский технический университет, 2005. –183 с.

Фалендиш Анатолий Петрович, д-р техн. наук, професор, завідуючий кафедрою теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: fap_hiit@ukr.net.
Клецька Ольга Віталіївна, асистент кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: gurao@ukr.net.
Катеринюк Тетяна Сергіївна, магістр кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: katerinjukT@ukr.net.
Кривонос Олена Олегівна, магістр кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: Lene_Kr@ukr.net.

Falendysh Anatoliy, doctor of technical sciences, Professor, Head of the Chair of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: fap_hiit@ukr.net.
Kletska Olga, assistant of the chair of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: gurao@ukr.net.
Katerinyuk Tatiana, master of the Department of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: katerinjukT@ukr.net.
Krivonos Olena, master of the Department of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: Lene_Kr@ukr.net.

Стаття прийнята 20.10.2017 р.

УДК 656.21.001.57

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ПРИКОРДОННОГО ВУЗЛА В УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

Кандидати техн. наук І. В. Берестов, В. В. Кулешов, старш. викл. Т. Т. Берестова

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПОГРАНИЧНОГО УЗЛА В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УКРАИНЫ

Кандидаты техн. наук И. В. Берестов, В. В. Кулешов, старш. преп. Т. Т. Берестова

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE TRANSPORT SYSTEM OF THE BORDER NODE IN THE CONDITIONS OF FUNCTIONING OF THE INFORMATION AND SECURITY SYSTEMS OF RAILWAYS OF UKRAINE

Ph.D. Candidate of Technical Sciences I. Berestov, V. Kuleshov, senior lecturer T. Berestova

Виконаний аналіз кількості затриманих вагонів з експортними, імпортними та транзитними вантажами, основних причин затримки вагонів на прикордонних передавальних станціях Регіональної філії «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» за 2015-2016 рр. Розглянуті варіанти покращення взаємодії структурних підрозділів, державних органів контролю на прикордонних передавальних станціях залізничного транспорту. Наведена схема інформаційно-керуючої системи взаємодії в умовах різних компаній-власників рухомого складу. Модель діяльності передавальної станції можна описати ланцюгом Маркова зі зворотною траєкторією з кінцевим часом та трьома станами.

Ключові слова: вагон, власник, кордон, оператор, підрозділ, перевезення, станція, система, філія.

Выполнен анализ количества задержанных вагонов с экспортными, импортными и транзитными грузами, основных причин задержки вагонов на пограничных передаточных станциях Регионального филиала «Южная железная дорога» ПАО «Укрзалізниця» за 2015-2016 гг. Рассмотрены варианты улучшения взаимодействия структурных подразделений, государственных органов контроля на пограничных передающих станциях железнодорожного транспорта. Приведена схема информационно-управляющей системы взаимодействия в условиях разных компаний-владельцев подвижного состава. Модель деятельности передаточной станции возможно описать цепью Маркова с возвратной траекторией с конечным временем и тремя состояниями.

Ключевые слова: вагон, владелец, граница, оператор, подразделение, перевозка, станция, система, филиал.

In the article there is an analysis of the number of detained cars with export, import and transit cargoes. The main reasons for the delays in the wagons at the border stations of the Southern Railway regional branch of PJSC "Ukrzaliznytsia" were considered for the period from 2015 to 2016. Options for improving the interaction of structural units are considered for the work of state control bodies at border stations of Ukraine's railway transport.

The scheme of information and control system of interaction in the conditions of different companies-owners of rolling stock is given in the work. The model of the transfer station can be described by a Markov chain with a return path with a finite time and three states.

Interaction with the nearby areas can be characterized by the total income from freight transportation for the structural division. The system of transfer of wagons across the border under a unified system for managing the railroad transport system should ultimately lead to the creation of a coordinated system for the exchange of information between shippers, recipients, stations, border control, customs authorities of state control, owners of goods, wagons, and so on.

Keywords: wagon, border, operator, owner, unit, transportation, station, system, branch.

Вступ. Транспортний комплекс є сукупністю транспортних систем різних видів транспорту, які постійно розвиваються, а їх технічна і технологічна складові постійно ускладнюються. Для забезпечення виконання складних завдань, поставлених перед залізничним транспортом України, необхідно в економічному розвитку дотримуватися відповідних пропорцій [1, 2].

У нинішніх умовах для удосконалення організаційно-технологічної моделі [7] перевезення вантажів ефективним є комплексний розвиток і взаємодія всіх видів транспорту, які повинні працювати в оптимальному режимі. Для забезпечення такого режиму і отримання максимальної економічної ефективності організацію перевезень вантажів необхідно здійснювати на підставі результатів розрахунків раціонального технічного оснащення і технології для різних видів транспорту в загальній їх системі взаємодії.

Пропорційність розвитку повинна відбуватись в єдиній транспортній системі, що означає перехід до нового, більш досконалого етапу розвитку складових частин транспорту (видів транспорту). Необхідно враховувати попит в кожному регіоні держави на окремі види транспорту.

Світовий досвід показує [1-5], що узгоджений і пропорційний розвиток всіх видів транспорту повинен здійснюватись з урахуванням необхідності інтеграції транспортної системи України до Європейської і світової системи. Для здійснення такої інтеграції необхідно враховувати світові тенденції та визнані за кордоном різноманітні стандарти розвитку

технічних засобів транспорту [6, 7], узгоджені технологічні процеси прикордонних переходів, сучасні способи підвищення ефективності використання рухомого складу, забезпечувати злагоджену роботу передавальних станцій транспортної системи залізниць України.

При аналізі показників роботи ПАТ «Укрзалізниця», обігу та простою вагонів в порівняльному періоді січень-вересень 2017 р. до січня-вересня 2016 р. спостерігаються негативні відхилення в частині збільшення простою вагонів на одній технічній станції (збільшився на 11,2 % до вересня минулого року), збільшення простою вагонів під однією вантажною операцією (збільшився на 5,5 % до вересня минулого року), що відповідно вплинуло на сповільнення обігу вантажного вагона (сповільнився на 11,7 % до вересня минулого року) та обігу навантаженого вагона (сповільнився на 8,0 % до вересня минулого року).

Оскільки на міжнародні перевезення (транзитні та експортно-імпортні) припадала значна частка вантажопотоку Регіональної філії (РФ) «Південна залізниця», а обсяги транзитних перевезень вантажів зменшилися на 14,5 %, то залізниця систематично недоотримує доходи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У нормативних документах [1, 2] при організації перевезень докладно не враховані питання удосконалення інформаційно-керуючих систем передавальних станцій транспортної системи залізниць України в умовах зміни обсягів і структури перевезень. В роботах [3, 4] запропоновані моделі взаємодії

інфраструктури залізничної адміністрації (ЗА) та операторських компаній-власників рухомого складу (ОК), але не враховують питання розробки єдиного технологічного процесу ЗА та ОК. В роботах [5-8] імітаційна модель роботи прикордонної передавальної станції (ППС) не враховує обробку вагонних парків різних операторських компаній. В дослідженнях [9-11] були розглянуті сучасні підходи організаційно-технологічної моделі керування парком вантажних вагонів різної форми власності, але при організації перевезень не враховані розвинені інформаційні технології, за допомогою яких можливе вдосконалювання надання залізничних послуг, особливо в міжнародних перевезеннях залізницями України. В дослідженні [12] розроблені лінійні регресійні моделі для прогнозування майбутнього річного обсягу перевезень та транспортного потоку, пропонується розділення норм пасажиро- і вантажопотоків по різних типах конструкції транспортного засобу. В роботі [13] запропонований метод підвищення надійності залізничних великих станцій з урахуванням маршруту, розкладу і платформ, оцінені зміни та неприпустимі рішення. Незважаючи на великий обсяг різних підходів потребують розв'язання питання удосконалення інформаційно-керуючих систем передавальних станцій транспортної системи залізниць України.

Визначення мети та задачі дослідження. Мета дослідження – підвищення ефективності транспортної системи прикордонного вузла в умовах функціонування інформаційно-керуючих систем залізниць України. Реалізація цієї мети можлива при постановці і вирішенні таких завдань: аналіз кількості та основних причин затримки вагонів на прикордонних передавальних станціях; аналіз варіантів покращення взаємодії структурних підрозділів, державних органів контролю на прикордонних передавальних станціях; визначення моделі діяльності прикордонної передавальної станції.

Основна частина дослідження. За 2016 р. на прикордонних передавальних станціях РФ «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» (надалі – регіональної філії) було затримано 32483 вагони. У порівнянні із 2015 р. даний показник збільшився на 21 %. Середньодобовий простій затриманих вагонів складав 1,8 доб (2015 р. – 1,88 доб). Аналіз динаміки затримки вагонів на прикордонних передавальних станціях (ППС) регіональної філії за 2015-2016 рр. з розбивкою по місяцях наведений на рис. 1. За 2016 р. було затримано, у тому числі по станціях: Куп'янськ-Сорт. – 30874 вагони у порівнянні із 2015 р. більше на 26 %; Харків-Сорт. – 1609 вагонів, менше на 32 %.

Аналіз кількості затриманих вагонів на ППС регіональної філії за видами сполучення за 2015-2016 рр. наведений на рис. 2. В 2016 р. вагони з імпортними вантажами становлять 40 % від загальної кількості затриманих вагонів, із транзитними – 32 %, з експортними – 28 %.

У відсотковому співвідношенні із загальних 100 % затриманих вагонів з причини затримок на ППС регіональної філії: служба вагонного господарства (технічна несправність вагона) складає 28,0 %; митна служба (відсутня фінансова гарантія або попереднє декларування) – 23 %; служба комерційного господарства (транспортно-експедиційні причини: недостатньо коштів для резервування, затримані відповідно до заявок одержувача, конвенційна заборона, переадресування, не повний комплект перевізного документа, відсутні або не оформлені перевізні документи) – 25,3 %; служба комерційного господарства (комерційна несправність: затримані для переважування, нерівномірне навантаження, відмова в прийманні вагонів, що завантажені з порушенням погоджених умов приймання вантажу (різниця завантаження по візках 5-10 т)) – 21,4 % служба перевезень – 1,3 %; екологічна, карантинна, санітарно-епідеміологічна та ветеринарна служби (заборона на ввезення вантажу) – менше 1 %.

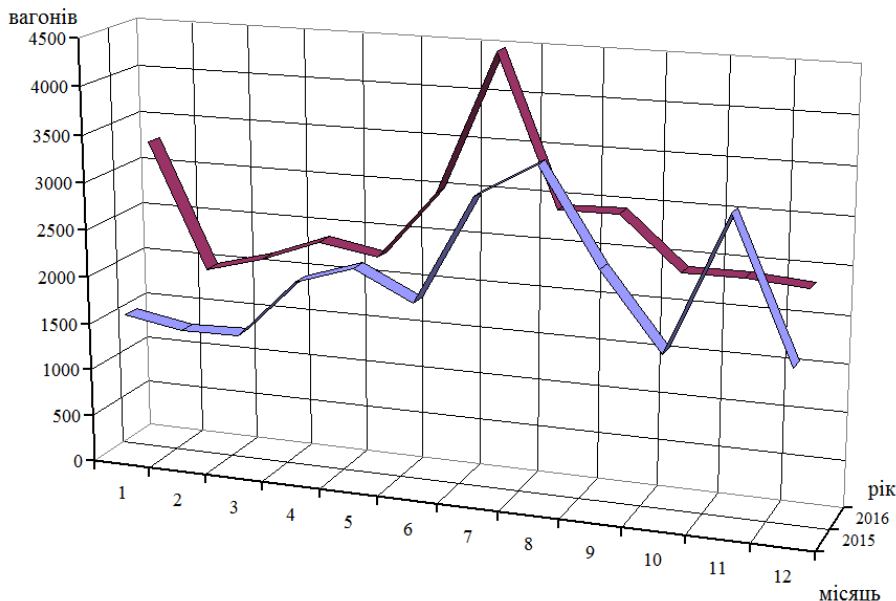


Рис. 1. Аналіз динаміки затримки вагонів на ППС регіональної філії за 2015-2016 р. з розбивкою по місяцях

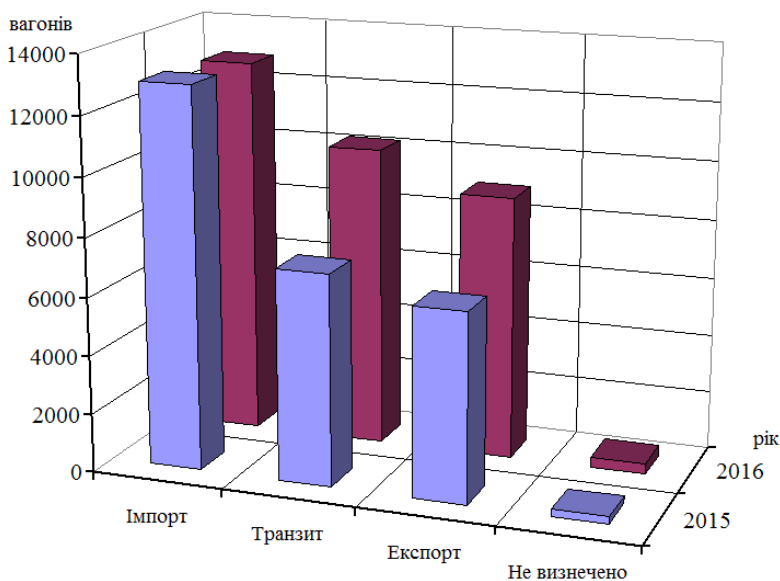


Рис. 2. Аналіз кількості затриманих вагонів на ППС регіональної філії за видами сполучення за 2015-2016 рр.

Аналіз кількості затриманих вагонів на ППС регіональної філії та середньодобова тривалість їх простою за 2015-2016 рр. наведені на рис. 3.

При функціонуванні транспортної системи прикордонного вузла відбуваються

різноманітні збурювання. Для запобігання їх негативному впливу на перевізний процес реалізуються управлінські дії. Управлінські дії формуються на підставі різноманітних даних, які безперервно надходять до служби перевезень регіональних

філій-залізниць ПАТ «Укрзалізниця» (Д), департаменту управління рухом ПАТ «Укрзалізниця» (ЦД), відповідного рівня (підсистеми) по каналах зв'язку про роботу

залізничного вузла, його підсистем і елементів. За допомогою зв'язку здійснюється управління його роботою з врахуванням різних збурювань.

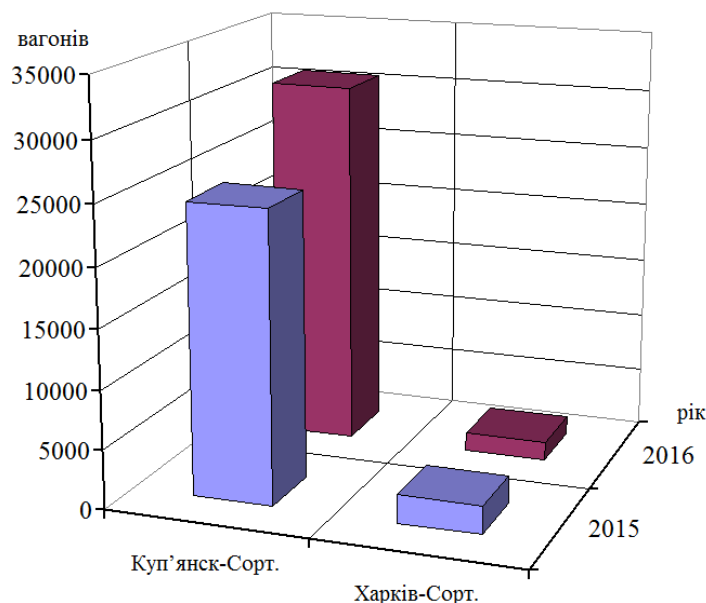


Рис. 3. Аналіз кількості затриманих вагонів на ППС регіональної філії та середньодобова тривалість їх простою за 2015-2016 рр.

Незважаючи на спільність цілей функціонування всіх залізничних вузлів, кожний з них в певному регіоні держави виконує конкретні завдання і обсяги роботи, враховуючи загальні тенденції в їх функціонуванні і розвитку. Транспортні вузли можна поділити на три групи:

- залізничні вузли, які сформувалися; повністю задовольняють перспективні обсяги вантажних і пасажирських перевезень; не потребують подальшого розвитку (вкладання значних інвестицій); вимагають лише удосконалення шляхом впровадження новітніх досягнень науки і техніки при незначних капітальних вкладеннях;

- залізничні вузли, які знаходяться в стадії формування;

- залізничні вузли, які через значні зміни обсягів перевезень і структури транспортних потоків вимагають оптимізації своєї структури, зміни спеціалізації підсистем і елементів, їх

технічного оснащення і технологічного забезпечення.

В залежності від того, до якої групи відноситься конкретний залізничний вузол, визначається перспективна програма його розвитку. Залізничні вузли вимагають свого розвитку. Примикання нових ліній тягне за собою перебудову існуючих та будівництво додаткових станцій.

Основна причина збільшення середнього часу користування вагонами на під'їзних коліях – очікування завершення митних операцій. Рухомий склад простоє в середньому від 1 до 3 доб. Важливе значення у митному оформленні має територіальне розміщення митних постів (60 км і більше), карантинної служби та інших державних органів контролю.

Можливо виділити такі варіанти покращення взаємодії структурних підрозділів ЗА, ОК, вантажовласників та державних органів прикордонного, митно-

го, санітарно-епідеміологічного, екологічного, ветеринарного та фітосанітарного контролю на ППС залізниць України:

1. Доповнення технології вимогами забезпечення достовірного обліку передавання вагонів та контейнерів, їх належного технічного та комерційного стану (при «прозорих кордонах») при розвинених інформаційно-керуючих системах (ІКС).

2. Доповнення умов технологій митного контролю вантажних вагонів і документів наявністю електронних дозволів, ліцензій, заборон на ввезення та вивезення вантажів.

3. Поповнення технологій прикордонного та митного контролю повним натурним контролем вантажних поїздів на базі ІКС.

4. Інформатизація на ППС функцій контори передач, воєнізованої охорони (НОР), прикордонного, митного, санітарно-епідеміологічного, екологічного, ветеринарного та фітосанітарного контролю при узгодженні технології із міждержавними угодами (від «прозорих кордонів» до «повного контролю») та правилами ввезення на митну територію України та вивезення за її межі у терміни, встановлені Технологічним процесом роботи прикордонної передавальної станції (ТП ППС).

5. Сприяння працівників станції контролюючим органам у проведенні огляду та перевірки вантажів на базі інформації про підхід поїздів, вагонів та вантажів, які перевозяться у межах України.

6. Забезпечення схоронності вантажів та технічного стану вагонів (супровод-

ження охороною, технічне обслуговування, вимога перевезення до кордону без зупинок тощо) на підставі рекомендацій залежно від класу станції.

7. Вирішення поставлених завдань з урахуванням особливостей роботи конкретних ППС з найменшою тривалістю перебування вагонів на станції та збереженням вантажів на основі підготовки та передавання інформації засобами АРМ.

Для позакласної та І класу передавальної станції ТП ППС розробляється за участю начальника і фахівців станції (ДС), дирекції залізничних перевезень (ДН), локомотивного (ТЧ) і вагонного депо (ВЧД), виробничого підрозділу філії «Головний інформаційно-обчислювальний центр» (ВП ГІОЦ), дистанцій колії (ПЧ), дистанції сигналізації та зв'язку (ШЧ), механізованої дистанції навантажувально-розвантажувальних робіт (МЧ), дільниці електропостачання (ЕЧК) та затверджується начальником залізниці (Н). У разі необхідності залучаються фахівці науково-дослідних інститутів та вищих навчальних закладів. Для станцій усіх інших класів ТП розробляється ДС із залученням відповідних фахівців та затверджується начальником ДН.

Для ППС, розташованих на сухопутних прикордонних переходах, ТП ППС враховує вимоги Статуту залізниць України та інших нормативних документів.

Схема інформаційно-керуючої системи взаємодії на ППС залізниць України в умовах різних компаній-власників рухомого складу наведена на рис. 4.



Рис. 4. Схема інформаційно-керуючої системи взаємодії на ППС залізниць України в умовах різних компаній-власників рухомого складу

Інформаційно-керуюча структура взаємодії з компаніями-операторами перевезень дозволяє гнучко виконувати подальше реформування ППС залізниць. Дії системи, що відображає кінцеві стани виходів на основі взаємодії елементів системи, наводяться у вигляді матриць [11]. Моделі організаційно-технологічної системи враховують оптимізацію розрахунків колійного та технічного розвитку, як елементів інфраструктури, за умовою ресурсозбереження із виділенням показників взаємодії ЗА та ОК та залежність експлуатаційних витрат від

кількості прийнятих та переданих составів, кількості елементів інфраструктури (колій парків ППС).

Модель роботи ППС можна описати ланцюгом Маркова [11] зі зворотною траєкторією з кінцевим часом та трьома станами: робочим (0), передвідмовним (1) та відмовним (2). Стационарні імовірності $p_j (j=0,1,2)$ знаходяться з такої системи рівнянь:

$$p_j = \sum_{i=0}^2 p_i p_{ij} (j=0,1,2), \sum_{j=0}^2 p_j = 1. \quad (1)$$

Оскільки рівняння лінійно залежні, виявимо в них лінійно незалежні складові.

$$\begin{cases} p_0 = p_0(1 - \varepsilon_1) + p_1(1 - \varepsilon_2); & p_1 = p_0\varepsilon_1 + p_2; & p_0 + p_1 + p_2 = 1; \\ p_0 = \frac{1 - \varepsilon_1}{1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_1 + \varepsilon_1\varepsilon_2}; & p_1 = \frac{\varepsilon_1}{1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_1 + \varepsilon_1\varepsilon_2}; & p_2 = \frac{\varepsilon_1\varepsilon_2}{1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_1 + \varepsilon_1\varepsilon_2}. \end{cases} \quad (2)$$

Оскільки реальні показники надані із деякою імовірністю, то ідеальні імовірності замінюються на істинні за правилом Крамера. Тоді отримуємо при $\Theta_2 = \Theta_3 = 0$ імовірність

$$p_2 = \frac{\varepsilon_1\varepsilon_2 - \Theta_1\delta(1 - \varepsilon_1)}{1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_1 + \varepsilon_1\varepsilon_2 - \Theta_1\delta(1 - \varepsilon_1)}. \quad (3)$$

При $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,01$ імовірність p_2 знаходиться в діапазоні 0-0,01, що відповідає вимогам техніко-економічних досліджень.

Матриця імовірностей передачі вагонів через кордон в моделі роботи ППС переходу дискретного ланцюга Маркова з i -го стану в j -й за один крок ($i, j = 1, 2$) набуває вигляду $P_1 = \begin{vmatrix} 0,4 & 0,6 \\ 0,3 & 0,7 \end{vmatrix}$. Розподіл імовірностей по станах у початковий момент $t = 0$ визначається вектором $\bar{q} = (0,1; 0,9)$.

Тоді розв'язання даної системи має вигляд

Для дискретного ланцюга Маркова в моделі роботи ППС у випадку її однорідності справедливе співвідношення

$$P_n = P_1^n, \quad (4)$$

де P_1^n – матриця перехідних імовірностей передачі вагонів через кордон за один крок; P_n – матриця перехідних імовірностей передачі вагонів через кордон за n кроків.

Можемо знайти матрицю P_2 переходу ланцюга передачі вагонів через кордон зі стану i у стан j за два кроки. Матриця P_2^n переходу за два кроки

$$P_2 = P_1^2 = \begin{vmatrix} 0,4 & 0,6 \\ 0,3 & 0,7 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0,4 & 0,6 \\ 0,3 & 0,7 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,34 & 0,66 \\ 0,33 & 0,67 \end{vmatrix}.$$

Тоді розподіл імовірностей передачі вагонів через кордон по станах на S -му кроці визначається вектором

$$\bar{p}(s) = (p_1(s), p_2(s), \dots, p_k(s)), 0 \leq p_j(s) \leq 1, \sum_{i=1}^k p_i(s) = 1. \quad (5)$$

Знаючи матрицю P_n переходу вагонів через кордон за n кроків, можна визначити розподіл імовірностей по станах на $(s + n)$ -му кроці

$$\bar{p}(s + n) = \bar{p}(s) \cdot P_n \quad (6)$$

Визначимо розподіл імовірностей передачі вагонів через кордон по станах системи в момент $t = 2$. Введемо в формулу (6) $s = 0$ і $n = 2$. Тоді $\bar{p}(0) = \bar{q} = (0,1; 0,9)$.

Одержимо

$$\bar{p}(2) = \bar{q} \cdot P_2 = (0,1; 0,9) \cdot \begin{vmatrix} 0,34 & 0,66 \\ 0,33 & 0,67 \end{vmatrix} = (0,331 \quad 0,669).$$

Ймовірність того, що в момент $t=1$ станом ланцюга буде P_2 , визначається

підстановкою в формулу (6) $s=0$ і $n=1$, тоді

$$\bar{p}(1) = \bar{q} \cdot P_1 = (0,1; 0,9) \cdot \begin{vmatrix} 0,4 & 0,6 \\ 0,3 & 0,7 \end{vmatrix} = (0,31 \quad 0,69).$$

Звідси видно, що ймовірність того, що в момент $t=1$ станом ланцюга буде P_2 , дорівнює $P_2(1) = 0,69$.

Розподіл ймовірностей по станах називається стаціонарним, якщо він не

змінюється від кроку до кроку, тобто $\bar{p}(s) = \bar{p} = (p_1, p_2, \dots, p_k)$, $p_j = \text{const}$, $j=1, \dots, k$.

Тоді зі співвідношення (6) при $n=1$ одержимо систему лінійних рівнянь

$$\begin{cases} \bar{p}(s) = \bar{p}; \bar{p}(s+1) = \bar{p}; P_n = P_1; \\ \bar{p} = \bar{p} \cdot P_1, 0 \leq p_j \leq 1, j=1, \dots, k, \sum_{i=1}^k p_j = 1 \end{cases} \quad (7)$$

Знайдемо стаціонарний розподіл моделі роботи ППС. Тому що $k=2$, маємо $\bar{p} = (p_1; p_2)$. Запишемо систему лінійних рівнянь (7) у координатній формі

$$\begin{cases} p_1 = 0,4p_1 + 0,3p_2; \\ p_2 = 0,6p_1 + 0,7p_2; \\ p_1 + p_2 = 1. \end{cases}$$

Остання умова є нормувальною. У системі (7) завжди одне рівняння є лінійною комбінацією інших. Отже, його можна викреслити. Вирішимо спільно перше рівняння системи і нормувальне. Маємо $0,6p_1 = 0,3p_2$, тобто $p_2 = 2p_1$. Тоді

$$p_2 + 2p_1 = 1 \text{ або } p_1 = \frac{1}{3}, \text{ тобто } p_2 = \frac{2}{3}. \text{ Отже, } \bar{p} = \left(\frac{1}{3}; \frac{2}{3} \right).$$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Єдина інформаційно-керуюча

система прикордонних передавальних станцій транспортної системи залізниць України повинна з часом привести до становлення злагодженої системи обміну інформаційними даними між вантажовідправниками, вантажоодержувачами, станціями, прикордонними, митними та іншими органами державного контролю, власниками вантажів, рухомого складу тощо.

Модель роботи прикордонних передавальних станцій можна описати ланцюгом Маркова зі зворотною траєкторією з кінцевим часом та трьома станами.

Упровадження запропонованої моделі ефективного використання інфраструктури прикордонних передавальних станцій дозволяє покращити показники експлуатації парків вагонів державного, інших операторів-власників рухомого складу та перевезень. За рахунок вказаних чинників покращиться використання поїзних і маневрових локомотивів, ємності колійного розвитку станцій; скоротяться витрати на логістику перевезення вантажів, тривалість їх доставки вантажоотримувачам.

Список використаних джерел

1. Про Комплексну програму розбудови державного кордону України. Указ Президента України №596/93 16.12.1993 р. Із змінами, внесеними згідно з Указами Президента №70/99

від 27.01.1999, №963/2009 від 24.11.2009 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www/URL: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/596/93](http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/596/93). – Загол. з екрану.

2. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс]: [Схвал. розпорядженням КМУ № 1555-р від 16.12.2009 р.]. – Режим доступу: <http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html/> 10.12.2009.

3. Повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта за счет создания транспортно-логистических кластеров [Текст] / Е. С. Алешинский, В. В. Мещеряков, Е. И. Рябовол, И. А. Лапушкин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 5/3 (65). – С. 39-45.

4. Бутько, Т. В. Подходы к усовершенствованию технологии работы пограничных станций на основе разработки системы поддержки принятых решений [Текст] / Т. В. Бутько, Г. С. Баулина // Наука и прогресс транспорта: Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2008. – Вып. 24. – С. 153-157.

5. Губарь, М. В. Разработка имитационной модели работы пограничной передаточной станции [Текст] / М. В. Губарь, Е. Н. Кособокова // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом: сб. науч. тр. – СПб.: ПГУПС, 2006. – Вып. 6. – С. 58-65.

6. Данько, М. І. Побудова моделі оцінки інвестицій у залізничну інфраструктуру при взаємодії залізничних адміністрацій та операторів перевезень [Текст] / М. І. Данько, Д. В. Ломотько, В. В. Кулешов // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 134. – С. 7-13.

7. Данько, Н. И. Разработка организационно-технологической модели управления парком грузовых вагонов разной формы собственности [Текст] / Н. И. Данько, Д. В. Ломотько, В. В. Кулешов // Инновационный транспорт: научно-публицистическое издание. – 2012. – № 4 (5). – С. 8-13.

8. Кулешов, В. В. Удосконалення технології роботи операторів рухомого складу на передавальних станціях залізниць України [Текст] / В. В. Кулешов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 150. – С. 35-42.

9. Кулешов, В. В. Удосконалення інформаційно-керуючих систем передавальних станцій залізниць України в умовах зміни обсягів перевезень [Текст] / В. В. Кулешов, В. Ю. Камишніков, Т. А. Рахманов // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 164. – С. 5-14.

10. Функционирование систем управления безопасностью движения на железных дорогах Украины и России [Текст] / А. Н. Огарь, Ю. О. Пазойский, А. В. Розсоха [и др.] // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 156. – С. 18-28.

11. Калашников, В. В. Сложные системы и методы их анализа [Текст] / В. В. Калашников // Новое в жизни, науке, технике. – М.: Знание, 1980. – №9. – 64 с. – [Сер. Математика, кибернетика].

12. Sathaporn Opasanon, Songyot Kitthamkesorn Border crossing design in light of the ASEAN Economic Community: Simulation based approach // Transport Policy. - Vol. 48, 2016. - P. 1-12.

13. Thijs Dewilde, Peter Sels, Dirk Cattrysse, Pieter Vansteenwegen Robust railway station planning: An interaction between routing, timetabling and platforming// Journal of Rail Transport Planning & Management. - Vol. 3, 2013. - P. 68-77.

Берестов Ігор В'ячеславович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: iv196liv@ukr.net.

Кулешов Валерій Вячеславович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: valerijkuleshov2015@gmail.com.

Берестова Тетяна Тимофіївна, старший викладач кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: berestova_tt@meta.ua.

Berestov Igor Vaycheslavovich, PhD. Sc., assistant professor of the Department of railway stations and junctions Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: iv1961iv@ukr.net.

Kuleshov Valeriy Vaycheslavovich, PhD. Sc., assistant professor of the Department of railway stations and junctions Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: valerijkuleshov2015@gmail.com.

Berestova Tatyana Timofeevna, Senior Lecturer of the Department of railway stations and junctions Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: berestova_tt@meta.ua.

Стаття прийнята 30.10.2017 р.

УДК 624.016:69.059

ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРУБОБЕТОННИХ КОЛОН ІЗ РОЗНІМНИМИ СТИКАМИ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Асп. П. О. Семко (ПНТУ ім. Юрія Кондратюка)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРУБОБЕТОННЫХ КОЛОН С РАЗЪЕМНЫМИ СТЫКАМИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Асп. П. О. Семко (ПНТУ им. Юрия Кондратюка)

NUMERICAL MODELING OF CONCRETE FILLED TUBULAR COLUMNS WITH SEPARABLE JOINTS BY FINITE ELEMENT METHOD

Postgraduate P. O. Semko

*У статті подано результати числового моделювання труобетонних зразків з рознімним фланцевим стиком, із рознімним стиком, виконаним за допомогою поздовжніх ребер та сталеві муфти, а також зразків без стиків. Для всіх досліджуваних зразків, які були попередньо випробувані експериментально, були створені ідентичні реальним математичні моделі, для яких, за допомогою чисельного моделювання у програмному комплексі *Гетар*, був досліджений напружено-деформований стан та подано графічні зображення головних напружень.*

Ключові слова: *труобетон, рознімні стики, числове моделювання.*

*В статье представлены результаты численного моделирования труобетонных образцов с разъемным фланцевым стыком, с разъемным стыком, выполненным с помощью продольных ребер и стальной муфты, а также образцов без стыков. Для всех исследуемых образцов, которые были предварительно испытаны экспериментально, были созданы идентичные реальным математические модели, для которых с помощью численного моделирования в программном комплексе *Гетар*, было исследовано напряженно-деформированное состояние и представлены графические изображения главных напряжений.*

Ключевые слова: *труобетон, разъемные стики, численное моделирование.*

This paper deals with results of numerical modeling of concrete filled tubular samples with separable flange joint, with separable joints made with the help of longitudinal ribs and steel couplings as well as samples without joints. For all investigated samples that were previously tested experimentally, identical real mathematical models were created for which with the help of numerical simulation in the software complex Femap, the stress-strain state was investigated and graphic representations of the main stresses were presented.

The stresses in the compressed and stretched zone of the concrete filled tubular element were compared in accordance with the experimental data and, consequently, the results of numerical simulation. The mean square deviation and the coefficient of variation of the data obtained varied within the range of 5-7%, which is admissible and suggests that the modeling results correspond to the experiment.

Keywords: concrete filled tubular structure, separable joints, numerical modeling.

Вступ. За останні два десятиріччя значним розвитком доступності і можливостей комп'ютерів перед дослідниками відкрилися майже необмежені перспективи для розрахунку і моделювання конструкцій за допомогою САПР (Систем автоматизованого проектування). За кордоном зазвичай використовуються терміни CAD/CAE/CAM, де CAD (*computer-aided design*) – використання комп'ютерних технологій для проектування, CAM (*computer-aided manufacturing*) – під цим терміном розуміють як власне процес комп'ютеризованої підготовки виробництва, так і програмні комплекси, які при цьому використовуються, а також CAE (*computer-aided engineering*) – загальна назва програмних комплексів, створених для вирішення різноманітних інженерних завдань: розрахунку, аналізу та моделювання фізичних процесів, найбільш відомі серед них ABAQUS, ANSYS, ESAComp, Femap, CAE Fidesys, HyperWorks, Moldex3D, NX Nastran та багато інших.

Аналіз останніх досліджень. Трубобетонні конструкції особливо активно досліджуються у всьому світі останні 30-40 років, що відображено у роботах Л. І. Стороженка [1], А. Е. Лопатто [2], К. Тан [4], Yamersi [5], X. L. Zhao, T. Wilkinson, G. Hancock [6] та зокрема у нормах Eurocode [3].

За кордоном сталеві трубчасті конструкції та власне трубобетонні почали досліджувати і застосовувати в КНР, США та

Європі починаючи з 1950-х років [6-11]. Особливостям числового моделювання взагалі та стиків трубобетонних конструкцій зокрема присвячені праці С. П. Ричкова [8] та J. J. Cao and A. J. Bell [7].

Визначення мети та задачі дослідження. Метою цієї роботи було порівняння даних, отриманих числовим методом, із результатами експериментальних досліджень трубобетонних елементів із різніми стиками.

Основна частина дослідження. Було виконано числове моделювання 13 зразків, зокрема труби без бетонного заповнення, трубобетонних зразків без стику, трубобетонних зразків із рознімним фланцевим стиком, із стиком, виконаним за допомогою поздовжніх ребер, та стиком, виконаним за допомогою сталеві муфти. Розглядалися випадки центрального стиску та позacentрового з ексцентриситетами прикладення навантаження, рівними 0,25 та 0,5 від діаметра зразка.

Числове моделювання трубобетонних зразків серій Т та ТБ

Зразки серій Т та ТБ являли собою сталеву трубу з товщиною стінки 4 мм, висотою 800 мм та діаметром 108 мм, без стиків. Зразок Т випробовувався для отримання результатів несучої здатності виключно сталеві труби-оболонки не заповненої бетоном. Зразок досліджувався на центральний стиск. Зразки ТБ 1-3 це заповнені бетоном труби з аналогічними розмірами, без стиків, що були досліджені

на центральний та позacentровий стиск із ексцентриситетами 0,25 та 0,5 від діаметра труби-оболонки.

Моделювання зразків методом скінченних елементів підтвердило характерний випадок руйнування, як можна побачити з рис. 1, де зображені головні напруження, отримані за допомогою числового моделювання. Для зразків із випадковим (центральним) прикладенням навантаження значення напружень були рівномірними майже для всього

досліджуваного елемента, із зростанням поблизу оголовоків, що призвело до утворення гофр, які спостерігалися під час експериментальних випробувань.

Для позacentрово стиснутих трубобетонних елементів ТБ-2 та ТБ-3, як можна помітити з рис. 1, характерне нерівномірне розподілення напружень, з поступовим зростанням при наближенні до верхнього сталевго оголовка, що підтверджується експериментальними даними.

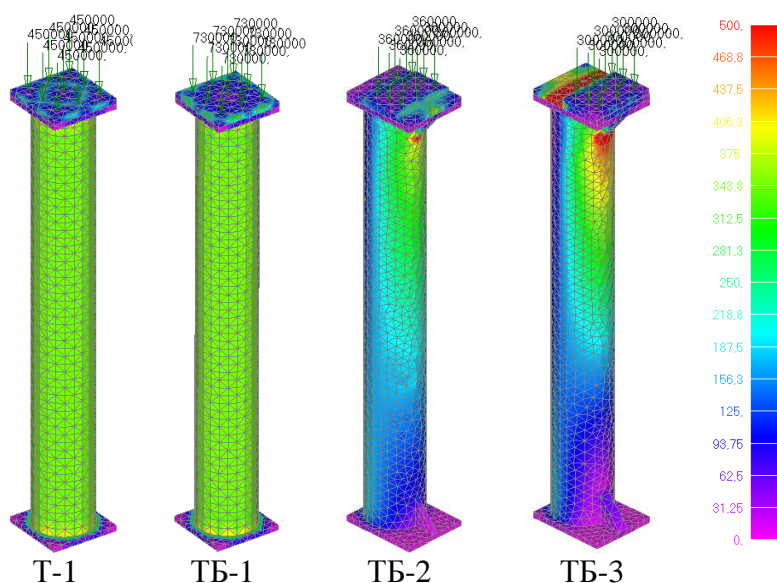


Рис. 1. Графічне зображення головних напружень при числовому моделюванні для досліджуваних зразків серій Т та ТБ

Числове моделювання трубобетонних зразків серії ТБР

Зразки серії ТБР являли собою сталеву трубу з товщиною стінки 4 мм, висотою 800 мм та діаметром 108 мм, заповнену бетоном, із рознімним стиком, виконаним за допомогою чотирьох пар сталевих поздовжніх ребер, кожне з яких приварене до верхньої або нижньої частини конструкції та з'єднаних попарно чотирма болтами (рис. 2).

Трубобетонні елементи досліджувалися на центральний та позacentровий стиск. При центральному стиску фактично

відбувалося випробування двох, жорстко з'єднаних за допомогою поздовжніх ребер, трубобетонних елементів, аналогічних зразку ТБ-1, унаслідок чого спостерігалося рівномірне розподілення напружень, із підвищенням біля верхнього сталевго оголовка, що призвело до утворення у цьому місці гофри. Проте область з'єднання зразків по факту була підсилена ребрами, що привело до зменшення напружень у цій області. Це підтверджується як математичним моделюванням, так і характером деформацій, зафіксованим при експерименті.

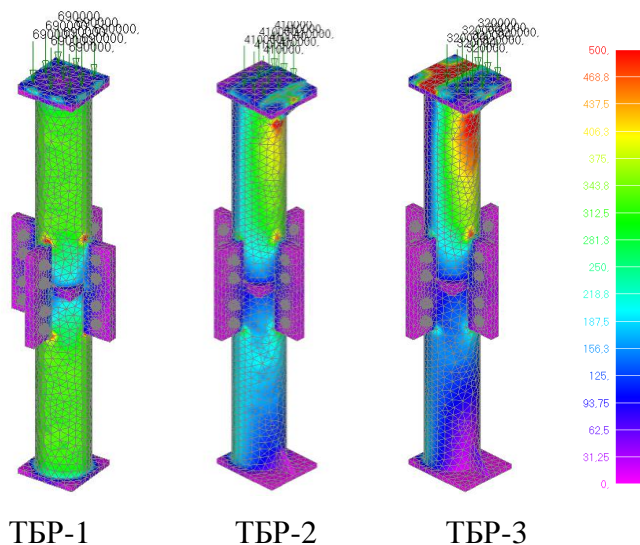


Рис. 2. Графічне зображення головних напружень при числовому моделюванні для досліджуваних зразків серії ТБР

Для позacentрово стиснутих зразків ТБР-2 та ТБР-3, окрім характерного для всіх трубобетонних елементів із аналогічним способом прикладення навантаження значного зростання напружень поблизу верхньої сталеві косинки, привертало увагу зменшення напружень у нижньому трубобетонному елементі при збільшенні ексцентриситету. Також для всіх зразків цієї серії спільним є те, що не відбулося ні зрізу болтів, ні деформування сталевих поздовжніх фланців, доказом чого є як математичне моделювання, так і експериментальні дані.

У місцях з'єднання поздовжніх ребер із трубобетонними елементами спостерігалися місця концентрації напружень.

На рис. 3 більш детально зображено місце стику трубобетонних елементів. Слід відзначити, що при центральному стиску напруження в стику були більшими, ніж при позacentровому, що свідчить про те, що для цієї конструкції вплив розміру навантаження, яке діяло на зразок, мало більший вплив, ніж ексцентриситет прикладення навантаження. Це відповідає експериментальним даним, згідно з якими деформації ребер при центральному стиску були вищими, ніж при позacentровому.

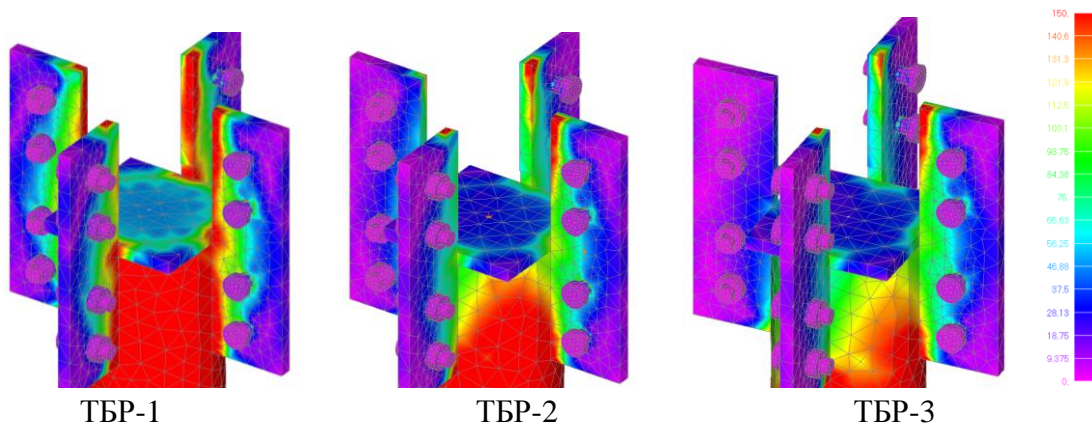


Рис. 3. Графічне зображення головних напружень у нижній частині стику з поздовжніми ребрами

Також можна звернути увагу на те, що при позacentровому стиску напруження більші у стиснутих поздовжніх ребрах, проте при згині руйнування зразків відбувалося внаслідок зрізання болтів у розтягнених ребрах.

Числове моделювання трубобетонних зразків серії ТБФ

Зразки серії ТБФ (рис. 4) мали аналогічну з іншими дослідними зразками конструкцію трубобетонного елемента та

відрізнялися методом виконання рознімного з'єднання. Цей стик виконувався за допомогою сталевих круглих фланців з фрезерованою поверхнею, приварених до верхнього або нижнього трубобетонного елемента та з'єднаних болтами. Навантаження прикладалося центрально та з ексцентриситетами, рівними 0,25 та 0,5 від діаметра труби. За граничні умови були прийняті закріплення, аналогічні тим, що були при проведенні експерименту.

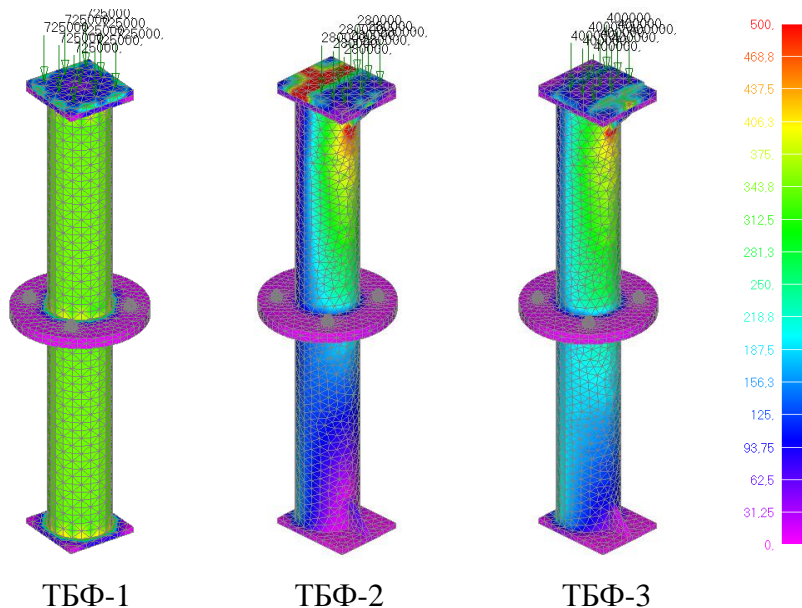


Рис. 4. Графічне зображення головних напружень при числовому моделюванні для досліджуваних зразків серії ТБФ

При математичному моделюванні було підтверджено той факт, що наявність стику при центральному стиску практично не мала впливу на несучу здатність конструкції, настання N_1 при моделюванні відбулося при навантаженні, аналогічному експериментальному, що свідчить про достовірність числового моделювання.

Особливістю позacentрово стиснутих зразків є те, що напруження у сталевих фланцях порівняно із напруженнями у власне трубобетонних елементах є дуже незначними навіть при зростанні ексцентриситету навантаження. Також характерним є те, що напруження та

відповідно деформації у верхніх трубобетонних елементах були значно вищими, ніж у нижніх, що свідчить про те, що наявний стик виступає фактично підсиленням усієї конструкції. Так, при проведенні експерименту всі зразки із стику при прикладенні навантаження з ексцентриситетом 0,5 від діаметра мали несучу здатність вищу, ніж суцільний зразок, більш ніж на 30 %.

Аналізуючи напружено-деформований стан сталевих фланців, можна сказати, що у всіх випадках прикладення навантаження напруження були незначними порівняно із напруженнями у

трубобетонному елементі, що привело до того, що фланці під час проведення експерименту залишилися фактично неушкодженими, а втрата несучої здатності відбувалася внаслідок руйнування трубобетонного елемента або болтів.

Числове моделювання трубобетонних зразків серій ТБМ

Для виготовлення зразків серії ТБМ (рис. 5), окрім стандартної для всього

експерименту труби висотою 800 мм, діаметром 100 мм та товщиною стінки 4 мм, була використана додаткова труба (муфта) з товщиною стінки 2,5 мм та з внутрішнім і зовнішнім діаметром 108 та 113 мм відповідно. Вона була приварена до нижнього трубобетонного елемента та з'єднана з верхніми болтами. Навантаження та граничні умови були аналогічними зі зразками інших серій.

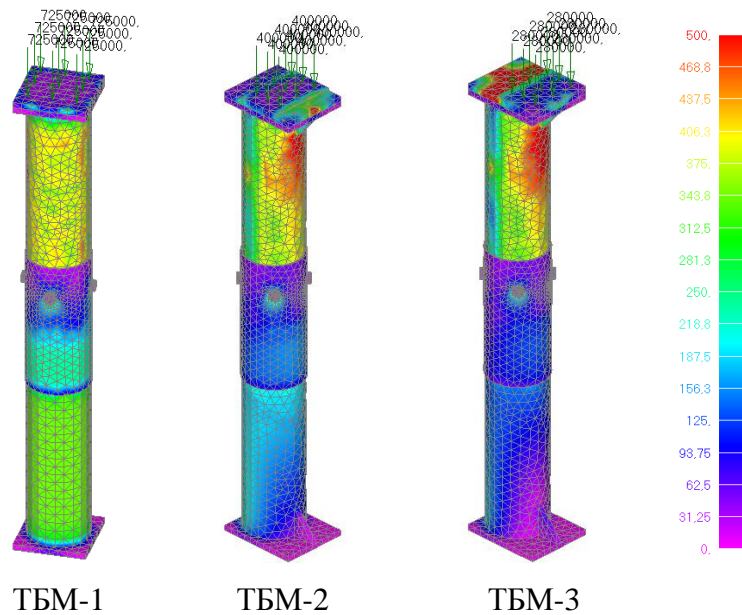


Рис. 5. Графічне зображення головних напружень при числовому моделюванні для досліджуваних зразків серії ТБМ

Розглядаючи випадок центрального стиску зразка ТБМ-1, заслуговує уваги те, що зважаючи на дещо більше навантаження порівняно з іншими зразками, напруження у верхньому трубобетонному елементі були на 10-15 % вищими, ніж у нижньому, що є нехарактерним для центрально завантажених зразків інших серій у цьому експерименті та пояснюється впливом сталеві муфти. Також дуже цікавим є те, що найбільші напруження були у сталевій муфті саме при центральному стиску, оскільки в інших випадках трубобетонний елемент втрачав несучу здатність у верхній частині при значно менших навантаженнях.

Позацентрово стиснуті зразки, окрім вищої несучої здатності, не мали значних відмінностей від аналогічних зразків інших серій, демонструючи зростання напружень поблизу з'єднання косинки з верхнім елементом, що зі збільшенням навантаження призвело до зростання деформацій у цьому місці та втрати несучої здатності внаслідок цього. Також спільним є зменшення напружень у нижньому трубобетонному елементі.

Аналізуючи напружено-деформований стан сталеві муфти, слід відзначити появу незначних концентраторів напружень поблизу отворів для болтів. Аналогічно стику

із поздовжніми ребрами напруження були дещо більшими при центральному стиску, особливо в нижній частині муфти (рис. 6).

У таблиці подано порівняння результатів, отриманих під час проведення експериментальних досліджень трубобетонних елементів та числового моделювання. Порівнювалися напруження у стиснутій та розтягненій зоні досліджуваного зразка при досягненні N_1 . Експериментальні напруження були обчислені завдяки відомим деформаціям згідно з законом Гука. Значення теоретичних напружень отримані із

програмного комплексу Femap. Середньоквадратичне відхилення напружень у стиснутій зоні становило 6,7 %, коефіцієнт варіації – 6,8 %; у розтягненій зоні середньоквадратичне відхилення – 4,96 %, коефіцієнт варіації – 5,02 %. Спираючись на вищенаведені значення, можна сказати, що розбіжність результатів є незначною та коливається у межах мінливості матеріалів, що підтверджує об'єктивність та реалістичність математичного моделювання стиснутих трубобетонних зразків у програмному комплексі Femap.

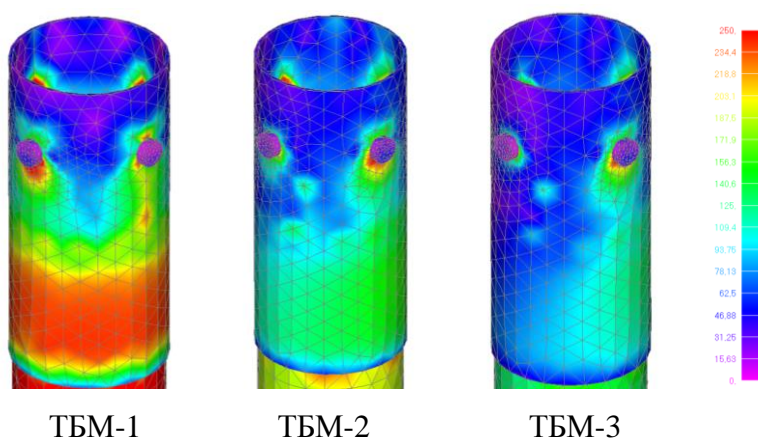


Рис. 6. Графічне зображення головних напружень у нижній частині рознімного стику зі сталеву муфтою

Таблиця

Порівняння експериментальних та теоретичних напружень

| Шифр зразка | Ексц. е, мм | Нес. здат. N_1 , кН | $\sigma_{\text{екс.ст}}$ МПа | $\sigma_{\text{мод.ст}}$ МПа | σ_i ст. | σ_{std} ст. | $\sigma_{\text{екс.роз}}$ МПа | $\sigma_{\text{мод.роз}}$ МПа | σ_i роз. | σ_{std} роз. |
|-------------|-------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------------|
| Т-1 | 0 | 450 | 327 | 343 | 0,9534 | 0,00166 | 327 | 343 | 0,9534 | 0,00123 |
| ТБ-1 | 0 | 730 | 336 | 345 | 0,9739 | 0,00040 | 336 | 345 | 0,9739 | 0,00021 |
| ТБ-2 | 27 | 360 | 273 | 253 | 1,0791 | 0,00723 | 147 | 142 | 1,0352 | 0,00219 |
| ТБ-3 | 54 | 300 | 332 | 293 | 1,1331 | 0,01934 | 72 | 78 | 0,9231 | 0,00427 |
| ТБР-1 | 0 | 690 | 368 | 334 | 1,1018 | 0,01161 | 368 | 334 | 1,1018 | 0,01285 |
| ТБР-2 | 27 | 410 | 340 | 347 | 0,9798 | 0,00020 | 42 | 40 | 1,0500 | 0,00379 |
| ТБР-3 | 54 | 320 | 316 | 341 | 0,9267 | 0,00454 | 120 | 122 | 0,9836 | 0,00002 |
| ТБФ-1 | 0 | 700 | 310 | 334 | 0,9281 | 0,00434 | 310 | 334 | 0,9281 | 0,00363 |
| ТБФ-2 | 27 | 400 | 331 | 340 | 0,9735 | 0,00042 | 48 | 51 | 0,9412 | 0,00223 |
| ТБФ-3 | 54 | 280 | 326 | 345 | 0,9449 | 0,00241 | 119 | 117 | 1,0171 | 0,00082 |
| ТБМ-1 | 0 | 725 | 331 | 334 | 0,9910 | 0,00001 | 331 | 334 | 0,9910 | 0,00001 |
| ТБМ-2 | 27 | 400 | 349 | 342 | 1,0205 | 0,00070 | 76 | 79 | 0,9620 | 0,00070 |
| ТБМ-3 | 54 | 280 | 330 | 360 | 0,9167 | 0,00599 | 183 | 185 | 0,9892 | 0,00000 |

Висновки з дослідження. Після виконання числового моделювання трубобетонних елементів із рознімними стиками методом скінченних елементів можна зробити такі висновки.

Для всіх досліджуваних зразків, які були випробувані експериментально, були створені ідентичні реальним математичні моделі, для яких за допомогою числового моделювання у програмному комплексі Femap був досліджений напружено-деформований стан та подано графічні зображення головних напружень, що дають змогу оцінити напруження у будь-якій

точці зразка, місця концентрації напружень тощо. Були порівняні напруження у стиснутій та розтягненій зоні трубобетонного елемента, визначені згідно з експериментальними даними та відповідно до результатів числового моделювання. Середньоквадратичне відхилення та коефіцієнт варіації отриманих даних коливались у межах 5-7 %, що є допустимим та свідчить про те, що результати моделювання відповідають експерименту та в подальшому з метою часткової заміни натурних випробувань може застосовуватися числове моделювання.

Список використаних джерел

1. Стороженко, Л. И. Трубобетонные конструкции [Текст] / Л. И. Стороженко. – К.: Будівельник, 1978. – 82 с.
2. Лопатто, А. Э. О свойствах бетона, твердеющего в замкнутой обойме и жесткости трубобетонных элементов [Текст] / А. Э. Лопатто // Строительные конструкции. – К.: Будівельник, 1973. – Вып. 11. – С. 232-234.
3. Eurocode 4: EN 1994-1-1: 2004 Design of composite steel and concrete structures. Part 1.1. Brussels, 2004. – 127 p.
4. Mechanical Properties of High Strength Concrete Filled Steel Tubular Columns [Text] / Ke Feng Tan, Lai Bao Liu // Advanced Materials Research Vols. 472-475 (2012) – P. 1119-1125.
5. Thai H.T., Uy B., Yamersi, Aslani F. Behavior of bolted endplate composite joints to square and circular CFST columns [Text] // Journal of constructional Steel Research. – 2017. – Vol. 131. – P.68-82.
6. Zhao X.L, Wilkinson T., Hancock G.J. (2005), Cold-Formed Tubular Members and Connections [Text] // Elsevier Science Pty Ltd, Oxford, UK. – 2005. – 241 P.
7. Cao J.J. and Bell A.J. Finite element analysis of circular flange joints under tension forces [Text] // Proceedings of the 9th UK ABAQUS User Group Conference. – Exeter College, Oxford, U.K. – 1994.
8. Рычков, С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran [Текст] / С. П. Рычков. – М.: ДМК Прес, 2013. – 784 с.: ил.

Семко Павло Олександрович, аспірант кафедри конструкцій з металу, дерева та пластмас Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел.(050) 203-80-40. E-mail: syomka7@gmail.com.

Semko Pavlo, Postgraduate of the Department of Structures from metal wood and plastics Poltava National Technical Yuri Kondatyuk University. E-mail: syomka7@gmail.com.

Стаття прийнята 30.10.2017 р.

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

**COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS OF THE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF RAILWAY
TRANSPORT**

Випуск 172

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

Статті друкуються в авторській редакції мовою оригіналу
Всі статті пройшли подвійне сліпе наукове рецензування.

Відповідальний за випуск Янченко Л. В.

Редактори Еткало О. О., Решетилова В. В.

КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Підписано до друку 31.10.2017 р.
Формат паперу А4. Папір писальний.
Умовн.друк. арк. 5,25. 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.