



**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 162*

**Харків 2016**

## УДК 656.2(062)

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

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

З електронною версією збірника можна ознайомитися на сайті: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe).

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

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

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

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

## ISSN 1994-7852

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Друкується за рішенням вченої ради університету, протокол № 5 від 29 червня 2016 р.

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

## Редакційна колегія

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

Альошинський Є.С., д.т.н., професор,  
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., професор, УкрДУЗТ  
Вовк Р.В., д.фіз.-мат.н., професор, УкрДУЗТ  
Воронін С.В., д.т.н., професор, 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

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

ЗМІСТ

<i>Смельянова І.А., Андренко П.М., Чайка Д.О.</i> Оцінка надійності безпоршневого шлангового універсального бетононасоса на стадії його проектування	5
<i>Шпачук В.П., Чупринін О.О., Гарбуз А.О., Супрун Т.О.</i> Рівні статичної взаємодії трамвая з рейковою колією на четвертій фазі проходження вагоном стикової нерівності	11
<i>Кобзева Е.Н., Петров А.Н., Игнатенко А.В.</i> Алгоритм подбора размеров сталебетонных балок по несущей способности, исключающей работу растянутой зоны	20
<i>Іванов І.Є.</i> Визначення впливу параметрів пасажирських транспортних систем на загальну кількість пасажиромісць у місті	28
<i>Зохранов Н.Р.</i> Организация железнодорожных контейнерных перевозок при помощи логистических цепей	33
<i>Гасій Г.М.</i> Аналіз напружено-деформованого стану трапецієподібної сталевій пластини вузла з'єднання елементів нижнього пояса експериментальної структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки	41
<i>Фомин С.Л., Кравченко А.М.</i> Экспериментальное исследование фрагментов монолитных железобетонных фундаментов коксовых батарей	48
<i>Альошинський Є.С., Ковальов А.О., Іванюк О.І.</i> Удосконалення технології роботи контейнерної площадки на основі теорії графів	60
<i>Потапов Д.О., Вітольберг В.Г., Падалка О.В.</i> Планування періодичності та обсягів колійних робіт на підставі даних вагонів-колієвимірювачів	66
<i>Потапов Д.О., Сторчай В.Т.</i> Засоби рейкової дефектоскопії для перспективних ділянок впровадження швидкісного руху на залізницях України	71
<i>Беліков Е.А.</i> Жорсткість скріплень ТРЕП-Ш та ТРЕП при крученні рейки	81
<i>Буряковський С.Г., Старченко В.С.</i> Математичне моделювання системи модального керування з двигуном постійного струму	87
<i>Шульдінер Ю.В., Кальян В.М.</i> Інтеграція українських пасажирських швидкісних перевезень до міжнародної транспортної мережі	95
<i>Goncharenko D.F., Aleinikova A.I., Volkov V.N.</i> Approach to structuring of building costs for construction and operation of utility tunnels	102
<i>Примаченко Г.О., Трохименко Р.О.</i> Побудова математичної моделі ліквідації ворожих маршрутів пасажирських поїздів у горловині залізничної станції	108
<i>Кулешов В.В., Чеботарьов Д.М.</i> Удосконалення автоматизованих систем пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях в умовах розвитку інформатизації	118
<i>Борзилов І.Д., Антонець А.Є.</i> Моделі та алгоритми оптимізації управління вагонного депо в сучасних умовах	131
<i>Фомін О.В., Багров О.М.</i> Розрахункові методи оцінки втомної міцності литої бокової рами візка вантажного вагона	140
<i>Ивакина Е.Я.</i> Динамические свойства системы автоматического регулирования с двухсторонней широтно-импульсной модуляцией	149
<i>Розсоха О.В., Рафальський К.О., Ткачов В.С.</i> Визначення впливу соціально-економічних факторів на пасажиропотік при проектуванні високошвидкісних залізничних магістралей	156
<i>Левандовський С.І., Яцура О.М., Мудрий І.О.</i> Методологія визначення кращого варіанта конструкції пристрою для сортування вагонів	163

<i>Лоцман П.І., Орел Є.Ф., Беліков Е.А., Подибайло С.Б.</i> Побудова умовної реперної мережі залізниць за допомогою сучасних програмних комплексів та приладів	169
<i>Калашнікова Т.Ю., Чередніченко Ю.М.</i> Визначення найкращої моделі використання високошвидкісних магістралей для залізниць України	177
<i>Бауліна Г.С., Дідух П.О., Карпаш А.М., Федорняк І.І.</i> Удосконалення технології функціонування перевантажувального комплексу прикордонної перевантажувальної станції	182
<i>Шабанова Г.Н., Логвинков С.М., Школьнікова Т.В., Шумейко В.Н.</i> Влияние добавки азотнокислого кальция на эмиссию аммиака из цементного камня	189
<i>Кириченко В.А., Крупченко О.А., Юрко І.А.</i> Розрахунок залізобетонних колон з урахуванням повної діаграми деформування бетону	201
<i>Запара В.М., Запара Я.В., Торгонська А.Л., Калин М.М., Яременко П.І.</i> Удосконалення вантажної і комерційної роботи регіональних філій в умовах створення ПАТ «Укрзалізниця»	207
<i>Крашенінін О.С., Одегов М.М.</i> Оцінка придатності стану локомотивів у період понаднормативного терміну експлуатації	218

УДК 004.89

## ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ БЕЗПОРШНЕВОГО ШЛАНГОВОГО УНІВЕРСАЛЬНОГО БЕТОНОНАСОСА НА СТАДІЇ ЙОГО ПРОЕКТУВАННЯ

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

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ БЕСПОРШНЕВОГО ШЛАНГОВОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО БЕТОНОНАСОСА НА СТАДИИ ЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

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

## RELIABILITY ASSESSMENT NOT PISTONS HOSE UNIVERSAL CONCRETE PUMP ON STAGE ITS DESIGN

Doct. of techn. sciences I.A. Emeljanova, P.M. Andrenko, graduate student D.O. Chayka

*Метою написаної статті є порівняння надійності роботи безпоршневого універсального бетононасоса при використанні механічного та гідравлічного привода. Для порівняння розроблена гідрокінематична схема безпоршневого універсального бетононасоса з гідравлічним приводом та кінематична схема безпоршневого універсального бетононасоса з механічним приводом.*

*Визначення надійності безпоршневого універсального бетононасоса на стадії його проектування дозволить більш обґрунтовано провести вибір типу його привода, який задовольняє заданим технічним умовам.*

**Ключові слова:** *безпоршневий бетононасос, гідравлічний привод, гідрокінематична схема, надійність, безвідмовна робота.*

*Целью написанной статьи является сравнение надежности работы безпоршневого универсального бетононасоса при использовании механического и гидравлического привода. Для сравнения разработана гидрокинематическая схема безпоршневого универсального бетононасоса с гидравлическим приводом и кинематическая схема безпоршневого универсального бетононасоса с механическим приводом.*

*Определение надежности безпоршневого универсального бетононасоса на стадии его проектирования позволит более обоснованно провести выбор типа его привода, который удовлетворяет заданным техническим условиям.*

**Ключевые слова:** *безпоршневой бетононасос, гидравлический привод, гидрокинематическая схема, надежность, безотказная работа.*

*For comparison, the reliability of the concrete pump on different drives designed hydrokinematics scheme not pistons universal concrete pump with a hydraulic drive and kinematics scheme not pistons universal concrete pump with a mechanical drive. To calculate the reliability of proposed structural concrete pump circuit with two drive options.*

*Determination of reliability not pistons universal concrete pump at the stage of its design will allow a reasonable choice to hold its drive type that satisfies the given specification.*

*The calculation showed that the more reliable performance and uptime operation has a concrete pump with a hydraulic drive, it confirms the feasibility of the installation on the not pistons hose universal concrete pump hydraulic drive.*

**Keywords:** *not pistons concrete pump, hydraulic drive hydrokinematics scheme, reliability, trouble-free operation.*

**Вступ.** Одним з основних показників технічного рівня машин є їх надійність. Вона залежить від багатьох факторів, а саме, від конструктивного виконання, режиму роботи, міцності конструкції елементів, кваліфікації обслуговуючого персоналу, навколишнього середовища, наявності засобів технічного діагностування і т. ін. Використання при проектуванні таких машин гідравлічних виконавчих механізмів, завдяки їх відомим перевагам, дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики таких машин, інші показники технічного рівня. Однак, на стадії вибору схемного рішення, при проектуванні машин виникає потреба в порівнянні їх споживчих властивостей, визначенні гарантованого часу роботи, в цілому, їх надійності.

**Аналіз літературних джерел.** Питанням дослідження надійності елементів та систем присвячена достатньо велика кількість наукових робіт, наприклад [1, 2, 3]. Наведені в них методики розрахунку, які одержані як результати досліджень, цілком правомірно можуть бути використані при визначенні надійності механізмів та машин. Як відмічено в роботі [1], на сьогодні найбільшого розповсюдження набули два методи, а саме неперевищень та структурних схем. Про сенс проведення оцінки надійності відмічено в роботі [4].

Таким чином, визначення надійності безпоршневого універсального бетононасоса на стадії його проектування дозволить більш обґрунтовано провести вибір типу його привода, який задовольняє заданим технічним умовам.

**Мета і задачі дослідження.** Метою проведених досліджень є порівняння надійності роботи безпоршневого універсального бетононасоса при використанні механічного та гідравлічного привода.

**Розрахункові дослідження надійності безпоршневого шлангового універсального бетононасоса.** Для дослідження використано метод структурних схем,

якими зазвичай застосовують на стадії проектування машин [1]. Прийнято, що всі складові елементи бетононасоса є одновідмовні та відмови елементів незалежні. Відомі також зв'язки між окремими елементами та час їх функціонування. Прийнято, що однотипні елементи є рівнонадійні, режими їх роботи відповідають номінальним, а параметри навколишнього середовища – технічним вимогам. При цьому термін роботи окремих елементів бетононасоса визначається експоненціальним законом розподілення, а їх надійність визначається залежністю

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

де  $P(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи елемента (пристрою);  $\lambda$  – інтенсивність відмов.

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи, згідно із залежністю (1), правомірний для невідновлюваних елементів і пристроїв. Для відновлюваних елементів і пристроїв залежність (1) дає занижені результати, однак, маючи на увазі невизначеність часу відновлення, в подальших розрахунках використовується залежність (1) [5, 6]. При послідовному з'єднанні елементів, з 1 по  $n$ , ймовірності безвідмовної роботи розраховуються за формулою

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (2)$$

де  $P_i(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -того елемента.

При паралельному з'єднанні  $n$  елементів чи ланцюгів ймовірність безвідмовної роботи визначається за залежністю

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^k \left[ 1 - \prod_{j=1}^n P_j(t) \right], \quad (3)$$

де  $k$  – кількість паралельних ланцюгів.

Розглядаються такі універсальні бетононасоси, реалізовані з різними типами приводів:

- з гідравлічним приводом (рис. 1), відмінною особливістю якого є застосування високомоментних гідромоторів, що дозволяє відмовитися від громіздких та малонадійних редукторів, значно спростити

регулювання швидкістю виконавчих механізмів, полегшити обслуговування та зменшити собівартість [7, 8];

- з механічним приводом (рис. 2), відмінною особливістю якого є те, що в ньому для регулювання витратом бетононасоса використовується мотор-редуктор.

Для розрахунку надійності бетононасоса пропонується скласти їх структурні схеми (рис. 3, 4).

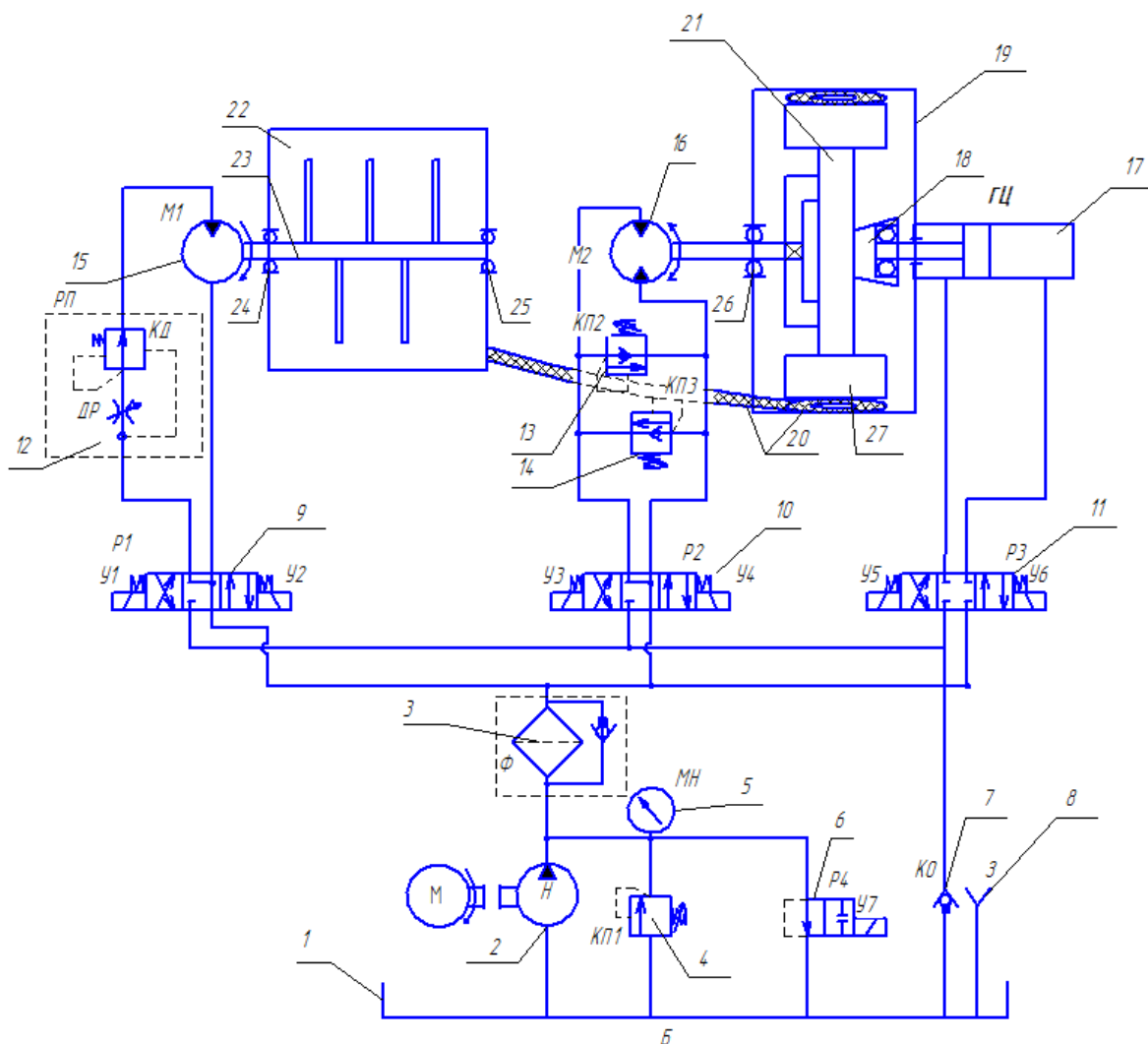


Рис. 1. Гідрокінематична схема безпоршневого універсального бетононасоса з гідравлічним приводом:

1 – бак; 2 – насос; 3 – фільтр; 4, 13, 14 – запобіжний клапан; 5 – манометр; 6, 9, 10, 11 – гідророзподільники; 7 – зворотний клапан; 8 – заливна горловина; 12 – регулятор потоку; 15, 16 – високомоментний гідромотор; 17 – гідроциліндр; 18 – конічний наконечник; 19 – безпоршневий бетононасос з гідравлічним приводом; 20 – гнучкий шланг; 21 – ротор з роликами; 22 – бункер з бетонною сумішшю; 23 – ворошитель; 24, 25, 26 – підшипник; 27 – ролик

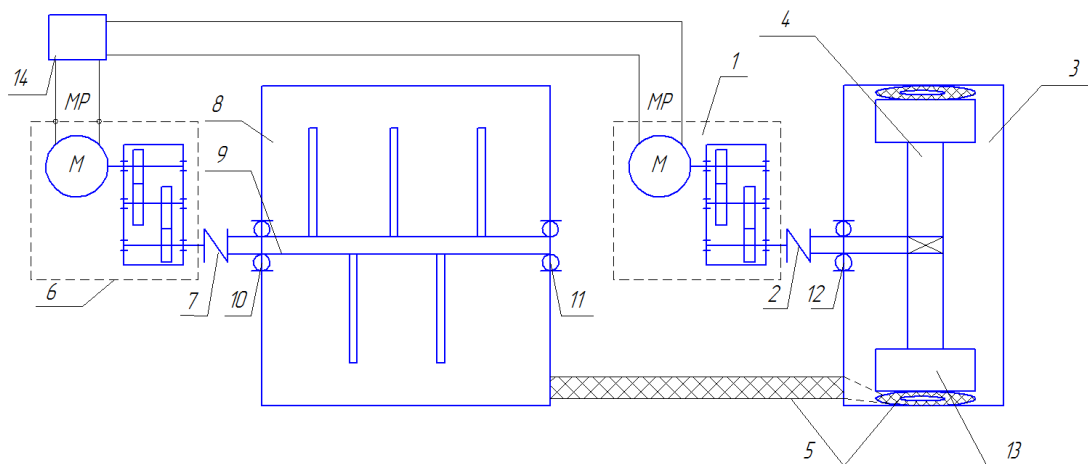


Рис. 2. Кінематична схема безпоршневого універсального бетононасоса з механічним приводом:

1, 6 – мотор-редуктори; 2, 7 – муфти; 3 – безпоршневий бетононасос; 4 – ротор; 5 – гнучкий шланг; 8 – завантажувальний бункер; 9 – вал із ворошителями; 10,11,12 – підшипники; 13 – ролики; 14 – електричний пускач

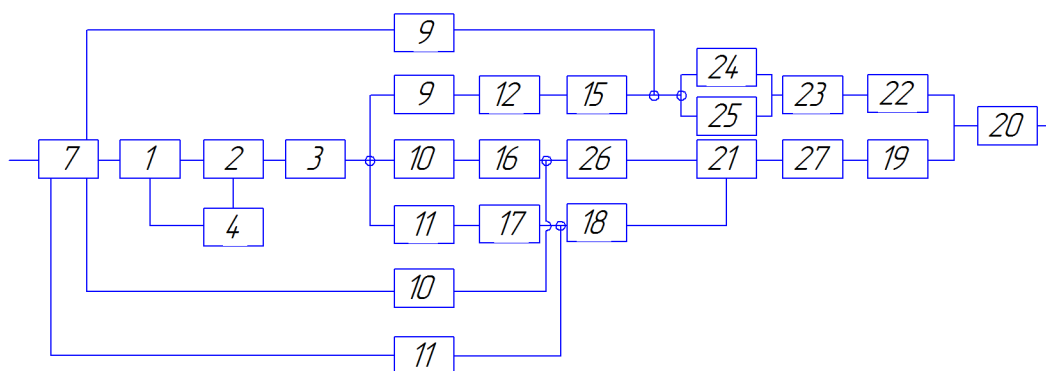


Рис. 3. Структурна схема безпоршневого універсального бетононасоса з гідравлічним приводом:

1 – бак; 2 – насос; 3 – фільтр; 4 – запобіжний клапан; 9, 10, 11 – гідророзподільник; 7 – зворотний клапан; 12 – регулятор потоку; 15, 16 – високомоментний гідромотор; 17 – гідроциліндр; 18 – конічний наконечник; 19 – безпоршневий бетононасос з гідравлічним приводом; 20 – гнучкий шланг; 21 – ротор з роликами; 22 – бункер з бетонною сумішшю; 23 – ворошитель; 24, 25, 26 – підшипники; 27 – ролики

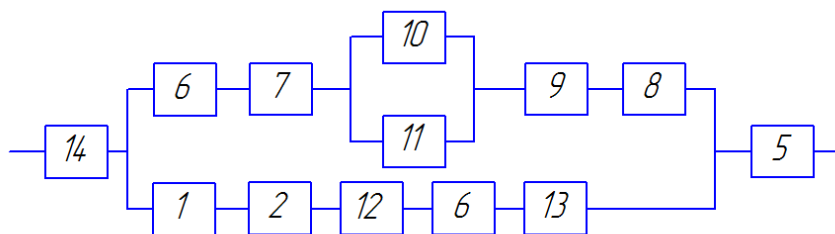


Рис. 4. Структурна схема безпоршневого універсального бетононасоса з механічним приводом:

1, 6 – фоторедуктори; 2, 7 – муфти; 5 – гнучкий шланг; 8 – бункер з бетонною сумішшю; 9 – вал з ворошителями; 10, 11, 12 – підшипники; 13 – ролики; 14 – електричний пускач



Проведені нами попередні розрахунки ймовірності безвідмовної роботи трубопроводів показали, що вона становить –  $P_{тр} \approx 1$ , тобто нею можна знехтувати. Ймовірність безвідмовної роботи у загальному випадку є функціями часу,

однак для скорочення запису в формулах час опускається. За структурними схемами бетононасосів, враховуючи залежності (2) і (3), для розрахунку їх ймовірності безвідмовної роботи пропонуються такі системи [9]:

- для бетононасоса з гідравлічним приводом

$$P_{\Sigma}(t) = \left\{ \begin{aligned} & \left[ P_7(P_1P_2 + P_4 - P_1P_2P_4)P_3P_9P_{12}P_{15} + P_9 - P_7(P_1P_2 + P_4 - P_1P_2P_4)P_3P_9^2P_{12}P_{15} \right] \times \\ & \times (P_{24} + P_{25} - P_{24}P_{25})P_{23}P_{27} + \left[ \begin{aligned} & (P_{10}P_{16} + P_{10} - P_{10}^2P_{16})P_{26}P_{21}P_{27}P_{19} + \\ & + (P_{11}P_{17} + P_{11} - P_{11}^2P_{17})P_{18} - \\ & - (P_{10}P_{16} + P_{10} - P_{10}^2P_{16})P_{26}P_{21}P_{27}P_{19} \times \\ & \times (P_{11}P_{17} + P_{11} - P_{11}^2P_{17})P_{18} \end{aligned} \right] \times \end{aligned} \right\} P_{20}, \quad (4)$$

- для бетононасоса з механічним приводом

$$P_{\Sigma}(t) = P_{14} \left[ \begin{aligned} & P_6P_7P_8P_9(P_{10} + P_{11} - P_{10}P_{11}) + P_1P_2P_{12}P_6P_{13} - \\ & - P_6P_7P_8P_9(P_{10} + P_{11} - P_{10}P_{11})P_1P_2P_{12}P_6P_{13} \end{aligned} \right] P_5. \quad (5)$$

У табл. 1 подано інтенсивності відмов окремих елементів бетононасосів, які

знайдені відповідно до літературних даних [2, 9].

Таблиця 1

Інтенсивність відмов елементів ГА

Інтенсивність відмов	$\lambda \cdot 10^{-6},$ год <sup>-1</sup>	Інтенсивність відмов	$\lambda \cdot 10^{-6},$ год <sup>-1</sup>
Трубопровід	0,7	Муфта	0,025
Електродвигун	6,3	Підшипники	0,875
Гідромотор	1,45	Ролики	0,5
Запобіжний клапан	6,3	Пускач електричний	16,1
Зворотний клапан	3,27	Вал	0,025
Насос шестеренний з електроприводом	13,5	Мотор-редуктор	38,5
Бак	0,48	Ротор	0,35
Регулятор витрати	2,14	Шланг	3,93
Гідроциліндр	0,01	Резервуари	0,18
Гідророзподільник	1,0	Фільтр	0,4

За залежностями (4) – (6), попередньо задавшись часом роботи бетононасоса, знаходяться ймовірності його безвідмовної роботи (табл. 2). Знаючи ймовірності безвідмовної роботи бетононасоса, знаходиться час його безвідмовної роботи

$$T = 1/\Lambda, \quad (6)$$

де  $\Lambda$  – сумарна інтенсивність відмов бетононасоса, яку визначили з залежності (1) та розраховували середній час безвідмовної роботи бетононасоса (табл. 2).

Таблиця 2

Ймовірності та середній час безвідмовної роботи бетононасоса

Бетононасос, привод	$P_{\Sigma}(1000)$	T, год	$P_{\Sigma}(10000)$	T, год
гідралічний	0,995	$1,995 \cdot 10^5$	0,953	$2,077 \cdot 10^5$
механічний	0,976	$4,116 \cdot 10^4$	0,621	$2,099 \cdot 10^4$

**Висновки.** Проведений порівняльний аналіз надійності роботи безпоршневих шлангових бетононасосів з двома видами

приводів показав, що більш надійну роботу та час безвідмовної експлуатації має бетононасос із гідралічним приводом.

### Список використаних джерел

1. Сырицын, Т.А. Надежность гидро- и пневмопривода [Текст] \ Т.А. Сырицын. – М.: Машиностроение, 1981. – 216 с.
2. Фінкельштейн, З.Л. Експлуатація, обслуговування та надійність гідралічних машин і гідроприводів [Текст]: навч. посібник / З.Л. Фінкельштейн, П.М. Андренко, О.В. Дмитрієнко; під ред. проф. П.М. Андренка. – Харків : НТУ “ХП”, 2014. – 308 с.
3. Peter F. Kaming, Gary D. Holt, Simon T. Kometa, Paul O. Olomolaiye. (1998). Severity diagnosis of productivity problems—a reliability analysis. International Journal of Project Management, Volume 16, Issue 2, April 1998, Pages 107–113.
4. Fred K. Geitner and Heinz P. Bloch. (2006). The meaning of reliability. Practical Machinery Management for Process Plants Volume 5, 2006, Pages 28–37.
5. Гринчар, Н.Г. Оценка последствий отказов гидроприводов машин [Текст] / Н.Г. Гринчар // Известия ТулГУ. – Тула, 1999. – Вып. 2. – С. 268-275.
6. Гринчар, Н.Г. Алгоритмы поиска отказа в гидроприводах машин [Текст] / Н.Г. Гринчар, С.Н. Симонов // Механизация строительства. – 2001. – №11. – С. 34-37.
7. Красов, Н.М. Гидравлические элементы в системах управления [Текст] / Н.М. Красов. – М.: Машиностроение, 1967. – 255 с.
8. Волков, В.Н. Показатели надежности гидропривода [Текст] / В.Н. Волков, В.А. Бурмистров, О.М. Тимохова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4.
9. Гринчар, Н.Г. Анализ последствий проявления отказов в гидроприводах строительных и дорожных машин [Текст] / Н.Г. Гринчар // Механизация строительства. – 2005. – №2. – С. 11-16.
10. Электрогидравлические следящие системы [Текст] / В.А. Хохлов, В.Н. Прокофьев, Н.А. Борисова [и др.] ; под ред. В.А. Хохлова. – М.: Машиностроение, 1971. – 431 с.

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

Андренко Павло Миколайович, доктор технічних наук, професор кафедри гідропневмоавтоматики і гідроприводу Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".  
E-mail: andrenko47@mail.ru.

Чайка Денис Олегович, аспірант кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва та архітектури. E-mail: d\_chayka93@mail.ua.

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

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

Chayka Denys O. graduate student, department of mechanization of construction processes Kharkov National University of Construction and Architecture. E-mail: d\_chayka93@mail.ua.

Стаття прийнята 27.05.2016 р.

**УДК 625.03**

### **РІВНІ СТАТИЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ТРАМВАЯ З РЕЙКОВОЮ КОЛІСЮ НА ЧЕТВЕРТІЙ ФАЗІ ПРОХОДЖЕННЯ ВАГОНОМ СТИКОВОЇ НЕРІВНОСТІ**

**Д-р техн. наук В.П. Шпачук, кандидати техн. наук О.О. Чупринін, А.О. Гарбуз, інж. Т.О. Супрун (ХНУМГ ім. О.М. Бекетова)**

### **УРОВНИ СТАТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАМВАЯ С РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕЕЙ НА ЧЕТВЕРТОЙ ФАЗЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ВАГОНОМ СТЫКОВОЙ НЕРОВНОСТИ**

**Д-р техн. наук В.П. Шпачук, кандидати техн. наук А.А. Чупрынин, А.О. Гарбуз, инж. Т.А. Супрун (ХНУГХ им. А.Н. Бекетова)**

### **LEVELS OF STATIC INTERACTION WITH RAIL TRACK TRAM AT THE FOURTH PHASE OF CARRIAGE PASSAGING UNDULATION IRREGULARITIES**

**Dr sc. sciences V.P. Shpachuk, phd. tehn. A.A. Chuprinin, A.O. Garbuz, eng. T.A. Suprun**

*Досліджено взаємодію рейкової колії та вагона в момент проходження стикової нерівності з урахуванням фази руху. Розглянута четверта фаза руху вагона, що характеризується перебуванням однієї колісної пари на рейці, що віддає, та трьох колісних пар на рейці, що приймає. Визначена висота стикової нерівності при різноманітних швидкостях та завантаженні вагона, а також величини ударного імпульсу й післяударної швидкості.*

**Ключові слова:** вагон, рейкова колія, стикова нерівність, фаза руху, перша шпала, багатопрогінна балка, жорсткість балки, пружні опори.

*Исследовано взаимодействие рельсовой колеи и вагона в момент прохождения стыковой неровности с учетом фазы движения. Рассмотрена четвертая фаза движения вагона, характеризующаяся нахождением одной колесной пары на отдающем рельсе и трех колесных пар на принимающем. Определена высота стыковой неровности при различных скоростях и загрузке вагона, а также величины ударного импульса и послеударной скорости.*

**Ключевые слова:** вагон, рельсовая колея, стыковая неровность, фаза движения, первая шпала, многопролетная балка, жесткость балки, упругие опоры.

*The present paper is studying the interaction of a track and a carriage at the time of passing the butt bumps taking into account movement phase. We consider the fourth phase of a carriage movement, characterized by finding one wheel set on a giving rail and three wheel sets on the host rail. Determine the height of the butt-bumps at different speeds and loading carriage as well as the magnitude of the shock pulse and post-impact speeds.*

**Keywords:** carriage rail track, butt roughness, movement phase, the first tie, multi-span beam, the stiffness of the beam, an elastic support.

**Вступ.** Термін служби рейкової колії, вузлів та агрегатів рухомого складу залежить від спільної їх роботи та умов експлуатації, характеристик механічної системи «вагон – рейкова колея» [1-4]. Ізольовані стикові нерівності є найбільш слабкою ланкою рейкового транспорту. При цьому існує чотири фази руху вагона через ізольовану стикову нерівність згідно з проходженням стикової нерівності відповідною колісною парою. Кожна фаза руху визначається власними параметрами статичної і динамічної взаємодії між дискретною (вагон трамвая) та континуальною (рейкова колея) складовими системи, що розглядається.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** Взаємодію рейкової колії та вагона розглянуто в роботах [2-4], але в них не враховано всі фази руху, що впливає на особливості переміщення транспортного засобу через стикову нерівність.

На відміну від робіт [5-9] у цій роботі проаналізовано статичну взаємодію вагона та рейкової колії шляху на четвертій фазі руху. Особливістю розглянутої фази руху є те, що на рейці, що віддає, в момент проходження вагоном стикової нерівності залишається лише одна колісна пара, а три інші вже розташовуються на рейці, що приймає.

**Мета дослідження.** Проведені дослідження спрямовувались на визначення величини ступеня стику в зоні ізольованої стикової нерівності, що у свою чергу дає змогу визначити величину ударного

імпульсу і післяударної швидкості рейки, що приймає. Це допоможе в удосконаленні параметрів у транспортному механічному комплексі «вагон – рейкова колея» у місці стикового з'єднання і стикової накладки шляхом їх раціонального вибору й оптимізації з урахуванням фаз руху на ділянці з ізольованою стиковою нерівністю.

Для досягнення поставленої мети вирішувалось таке завдання: методами моделювання і числового аналізу проаналізувати жорсткість багатопрогінної балки на пружних опорах, установити і проаналізувати параметри її силової взаємодії з колісними парами вагона з урахуванням експлуатаційних, механічних і геометричних параметрів транспортного засобу, рейки, стикових накладок, шпали і баластового шару, а також умов закріплення і прогинів рейки, що віддає і що приймає.

**Матеріали та методи дослідження взаємодії четвертої колісної пари з приймальною рейкою.** Схема проходження четвертою колісною парою рейкового стику зображена на рис. 1. Це відповідає відомій у будівельній механіці розрахунковій схемі багатопрогінної балки на пружних опорах [10].

При статичному розрахунку прогинів рейки використовується модель багатопрогінної балки на 23 пружних опорах (22 шпали і далі спирає на сусідню рейку через працюючу двоголову накладку [1, 11]). Для визначення жорсткості рейки на кінці  $c_{p.k.}$  визначається

прогин рейки на кінці  $\delta_{p.k.}$  від одиничної сили:  $c_p = 1/\delta_{p.k.}$ . Ураховуючи особливості з'єднання рейки, що віддає, і рейки, що приймає (пов'язаних працюючою накладкою з жорсткістю  $c_n$ ), отримаємо

$$c_{p.k.} = \frac{c_p \cdot c_n}{c_p + c_n} \quad (1)$$

Це дає змогу визначити параметри спирання рейки з урахуванням жорсткості з'єднання.

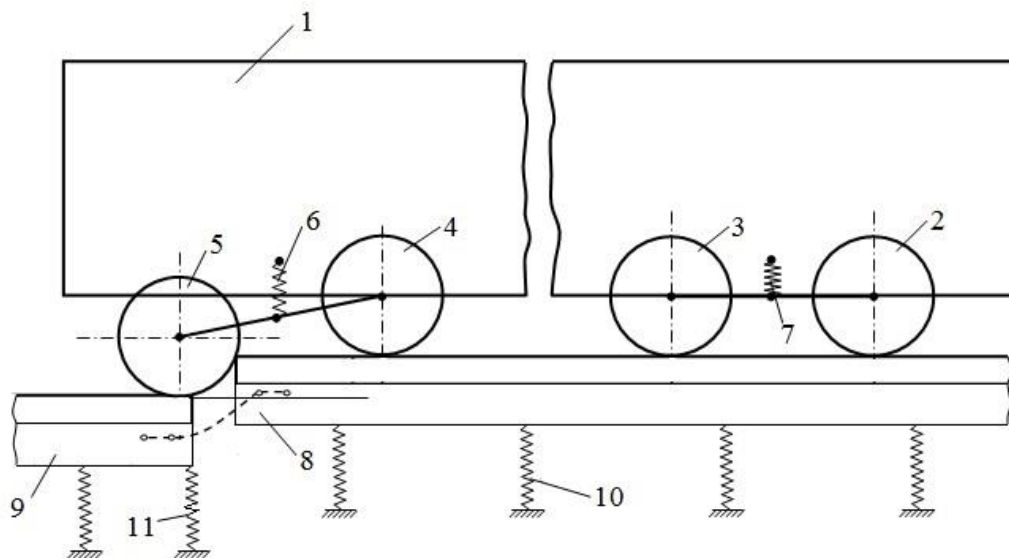


Рис. 1. Механічна схема на четвертій фазі руху вагона:

1 – вагон; 2-5 – колесо відповідної колісної пари; 6-7 – центральне підвішування вагона; 8 – рейка, що приймає; 9 – рейка, що віддає; 10 – пружні елементи, які моделюють жорсткість баластового шару під шпалами колії; 11 – пружний елемент, який моделює жорсткість рейки, що віддає, на кінці

Далі розглядаються прогини рейки на 23 пружних опорах. На рейці, що віддає, задаються зосереджені навантаження, кількість яких відповідає кількості коліс вагона, який переїздить стик. Розглянемо постановку статично невизначеної задачі деформування багатопрогінних (нерозрізних) балок на пружних опорах.

У розрахунковій схемі «пружинна» модель передбачає основу, яка симетрично чинить опір навантаженням (як стиску, так і розтягуванню), що не відповідає реальній основі, яка не може утримати балку від відриву. Однак при гравітаційній дії зосереджених сил, відповідній вазі вагона, що припадає на колеса, у балці відрив не відбувається [10].

Головними силовими факторами, що визначають статичний прогин рейки, що приймає, під першою шпалою є постійні за величиною зовнішні сили  $P_0$ , що відповідають поточній кількості колісних пар на рейках. Вони прикладені (рис. 2) до рейки, що віддає, з координатою  $X_{B4}$  та до рейки, що приймає, з координатами ( $X_{Pi}$ ,  $i = 1, 2, 3$  – номер колісної пари вагона). Тут  $X_{B4}=12,48$  м;  $X_{P1}=1,9$  м;  $X_{P2}=8,8$  м;  $X_{P3}=10,7$  м;  $l_1=0,55$  м;  $l_2=1,1$  м;  $l_3=1,65$  м;  $l_4=2,2$  м;  $l_5=2,75$  м;  $l_6=3,3$  м;  $l_7=3,85$  м;  $l_8=4,4$  м;  $l_9=4,95$  м;  $l_{10}=5,5$  м;  $l_{11}=6,05$  м;  $l_{12}=6,6$  м;  $l_{13}=7,15$  м;  $l_{14}=7,7$  м;  $l_{15}=8,25$  м;  $l_{16}=8,8$  м;  $l_{17}=9,35$  м;  $l_{18}=9,9$  м;  $l_{19}=10,45$  м;  $l_{20}=11$  м;  $l_{21}=11,55$  м;  $l_{22}=12,1$  м;  $l_{p.k.}=12,5$  м.

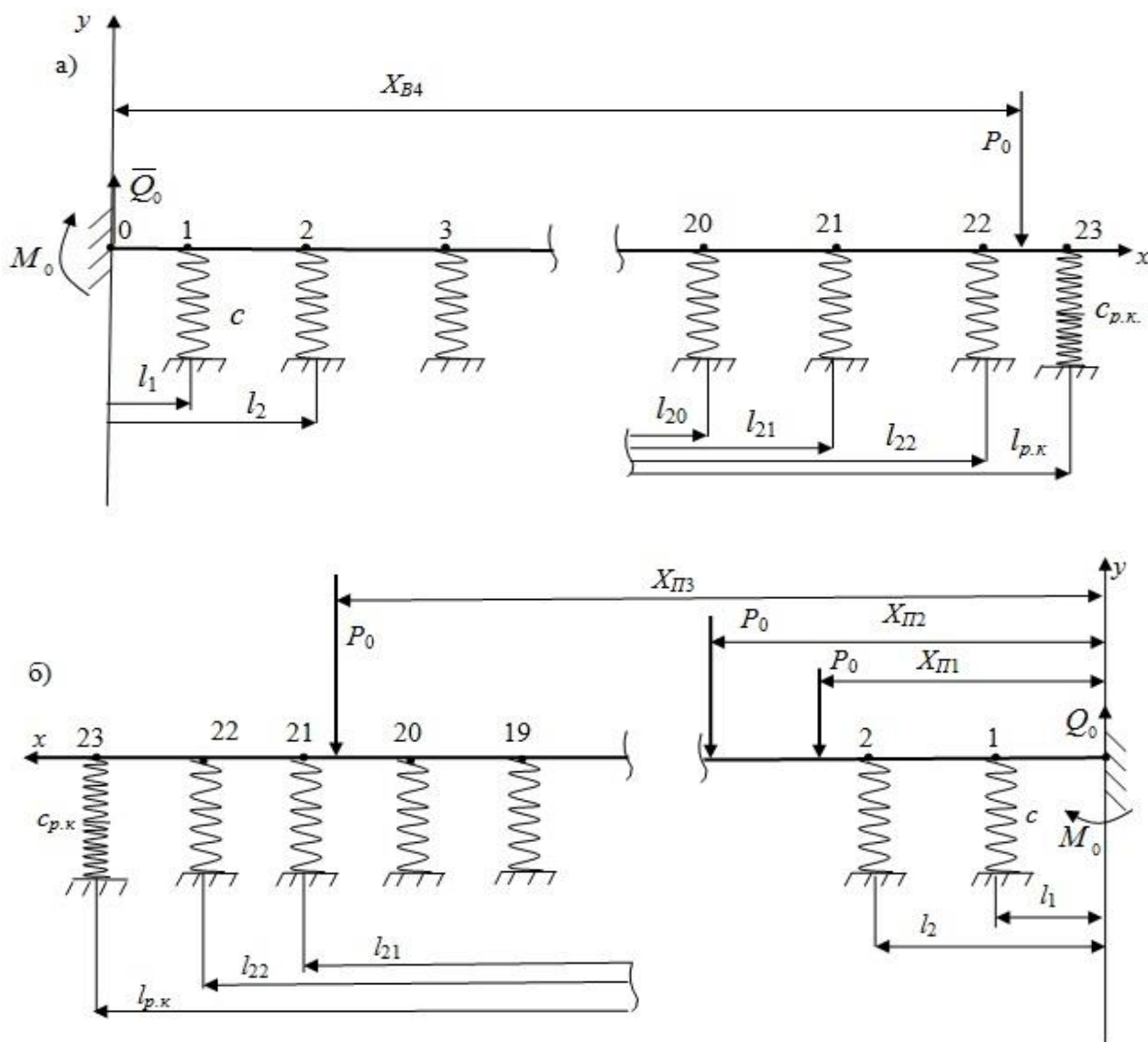


Рис. 2. Розрахункова механічна схема рейки, що віддає, (а) та рейки, що приймає, (б) на четвертій фазі руху вагона:

$l_i$  ( $i=1-22$ ),  $l_{р.к}$  – геометричні координати пружних опор;  $P_0 = P/8$  – навантаження з боку вагона, що припадає на одне колесо;  $P$  – вага вагона з урахуванням його завантаження;  $Q_0, M_0$  – поперечна сила і згинальний момент на початку координат;  $c$  – жорсткість баластового шару під шпалою верхньої будови колії

Пружні лінії рейки, що віддає, та рейки, що приймає, наведено [12] на рис. 3.

**Результати досліджень.** Рівняння вигнутої осі рейок запишемо, використовуючи метод початкових

параметрів, з урахуванням умов закріплення рейок [1, 12]: на початку координати  $x$  прогини та кути повороту перерізу рейок дорівнюють  $y_0 = 0$ ;  $y'_0 = 0$ .

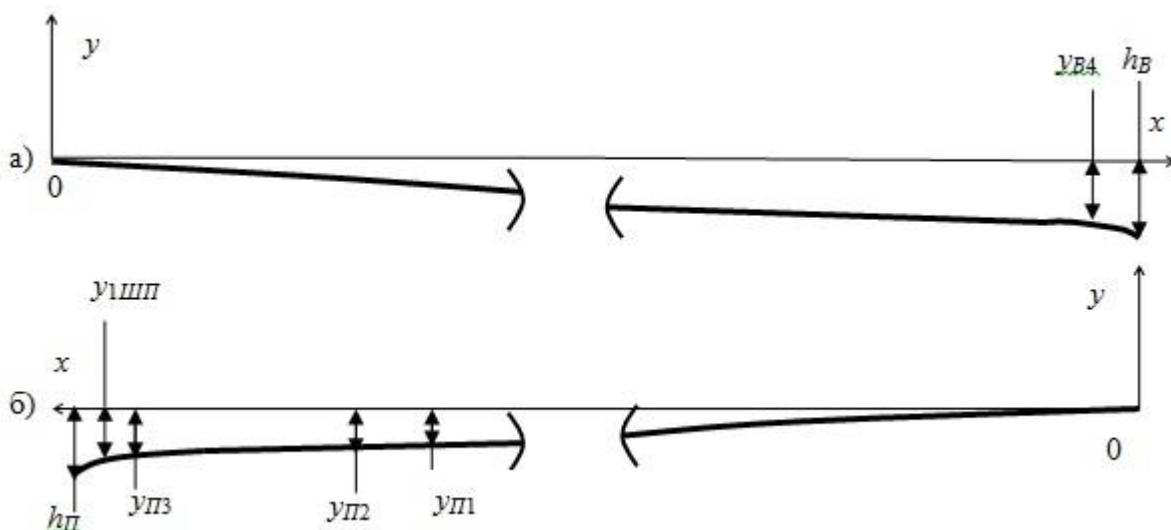


Рис. 3. Пружні лінії рейки, що віддає, (а) та рейки, що приймає, (б) на четвертій фазі руху вагона:

$y_{B4}$ ,  $y_{П1}$ ,  $y_{П2}$ ,  $y_{П3}$ ,  $y_{ПШП}$  – прогини рейок під колесами вагона і першою шпалою рейки, що приймає, які відповідають координатам  $X_{B4}$ ,  $X_{П1}$ ,  $X_{П2}$ ,  $X_{П3}$ ,  $l_{22}$ .

У результаті отримаємо:  
- рейка, що віддає:

$$y_B(x) = \frac{1}{EJ} \times \left[ Q_0 \frac{x^3}{6} + M_0 \frac{x^2}{2} - P_0 \frac{(x - X_{B4})^3}{6} + \sum_{i=1}^{22} c y_i \frac{(x - l_i)^3}{6} + c_{p.k.} h_B \frac{(x - l_{p.k.})^3}{6} \right]; \quad (2)$$

- рейка, що приймає:

$$y_{П}(x) = \frac{1}{EJ} \times \left[ Q_0 \frac{x^3}{6} + M_0 \frac{x^2}{2} - \sum_{k=1}^3 P_0 \frac{(x - X_{Пk})^3}{6} + \sum_{i=1}^{22} c y_i \frac{(x - l_i)^3}{6} + c_{p.k.} h_{П} \frac{(x - l_{p.k.})^3}{6} \right], \quad (3)$$

де  $Q_0$ ,  $M_0$  – поперечна сила та згинальний момент на початку координати  $x$ ;

$J$  – момент інерції перерізу рейки відносно нейтральної осі;

$E$  – модуль пружності матеріалу рейки;

$l$  – довжина рейки.

З визначених пружних ліній рейки, що віддає, і рейки, що приймає, розраховується поточна величина висоти стикової нерівності:

$$h = h_{П} - h_B, \quad (4)$$

де  $h_{П}$ ,  $h_B$  – прогини рейки, що приймає, та рейки, що віддає, на кінцях, відповідно при  $x=12,5$  м, тобто  $h_B = y_B(l_{p.k.})$ ,  $h_{П} = y_{П}(l_{p.k.})$ .

З урахуванням того, що вирази (2) і (3) містять у правій частині доданки, які у свою чергу залежать від прогинів, розв'язання цих рівнянь виконано чисельно.

Методика розрахунку прогинів рейки на кінці від одиничної сили  $\bar{F} = 1$  Н, рейки, що віддає, та рейки, що приймає, на кінці колії, а також поточної висоти стику  $h$  складається з чотирьох етапів.

На першому етапі за виразом (1) розраховується жорсткість  $c_{p.к.}$  рейки на кінці при [1, 6]  $c_H = 3,2 \cdot 10^6$  Н/м, де  $c_p = 1/\delta_{p.к.}$ , а  $\delta_{p.к.}$  - прогин рейки на кінці

від одиничної сили  $\bar{F} = 1$  без урахування стикових накладок, тобто при  $c_H = 0$ .

Відповідно до робіт [1, 6] та формули (2) прогин  $\delta_{p.к.}$  визначається як

$$y(x) = \frac{1}{EJ} \times \left[ Q_0 \frac{x^3}{6} + M_0 \frac{x^2}{2} - \bar{F} \frac{(x-l_{p.к.})^3}{6} + \sum_{i=1}^{22} c y_i \frac{(x-l_i)^3}{6} + c_{p.к.} y_{23} \frac{(x-l_{p.к.})^3}{6} \right]. \quad (5)$$

Блок-схему розрахунку прогину рейки на кінці на четвертій фазі руху вагона, відповідно до розрахункової механічної схеми на рис. 2, а, показано на рис. 4. Тут блок 2 – блок введення механічних, геометричних і граничних параметрів. У блоці 3 на першому кроці (при  $j=1$ ) розраховуються початкові параметри  $Q_{01}$  і  $M_{01}$  при навантаженні рейки тільки зусиллям  $\bar{F}$  та відсутності

всіх пружних опор (на рис. 2, а) із умов її статичної рівноваги:

$$Q_{01} = \bar{F}; \quad M_{01} = -\bar{F}l_{p.к.} \quad (6)$$

Далі за виразом (5) розраховуються прогини  $y_i$  ( $i=1, 23$ ) рейки під відповідними пружними опорами на рис. 2, а, яка навантажена силою  $\bar{F}$  і визначеними реакціями  $Q_{01}$  і  $M_{01}$ .



Рис. 4. Блок-схема розрахунку прогину рейки



На другому кроці ( $j=2$ ) з урахуванням навантаження  $\bar{F}$  визначаються нові значення початкових параметрів  $Q_{02}$  і  $M_{02}$ :

$$Q_{02} = \bar{F} - \sum_{i=1}^{22} cy_i - c_{p.k.}y_{23};$$

$$M_{02} = -\bar{F}l_{p.k.} + \sum_{i=1}^{22} cy_i l_i + c_{p.k.}y_{23}l_{p.k.}, \quad (7)$$

де  $cy_i$ ,  $c_{p.k.}y_{23}$  - сили пружності відповідної опори рейки.

Ці початкові параметри є вихідними даними для циклу при  $j = 2$ .

Введення: статичного навантаження  $P_0$ ; геометричних координат  $l_i$  ( $i=1, 22$ );  $l_{23}=l_{p.k.}$ ;  $X_{B4}$ ; механічних характеристик рейки  $E, J$ ; припустимого прогину  $\varepsilon$ ; жорсткості  $c_{p.k.}$ .

Рівняння рівноваги (6) і (7) матимуть вигляд:

$$Q_{01} = P_0; \quad M_{01} = -P_0x_{B4};$$

$$Q_{02} = P_0 - \sum_{i=1}^{22} cy_i - c_{p.k.}y_{23};$$

$$M_{02} = -P_0x_{B4} + \sum_{i=1}^{22} cy_i l_i + c_{p.k.}y_{23}l_{p.k.}$$

Введення: статичного навантаження  $P_0$ , геометричних координат  $l_i$  ( $i=1, 22$ );  $l_{23}=l_{p.k.}$ ;  $X_{II1}, X_{II2}, X_{II3}$ ; механічних характеристик рейки  $E, J$ ; примусового прогину  $\varepsilon$ ; жорсткості  $c_{p.k.}$ .

У цьому випадку рівняння рівноваги (6) і (7) будуть:

$$Q_{01} = 3P_0; \quad M_{01} = -\sum_{k=1}^3 P_0x_{IIk};$$

$$Q_{02} = 3P_0 - \sum_{i=1}^{22} cy_i - c_{p.k.}y_{23};$$

$$M_{02} = -\sum_{k=1}^3 P_0x_{IIk} + \sum_{i=1}^{22} cy_i l_i + c_{p.k.}y_{23}l_{p.k.}$$

Якщо похибка  $\Delta = \text{Max}|y_{ij} - y_{i,j-1}|$   $i=(1, 23)$  виявляється більшою за задане значення  $\varepsilon$ , тоді відбувається наступний цикл за  $j$ . У роботі прийнято  $\varepsilon = 1 \cdot 10^{-6}$  м.

Після досягнення умови  $\varepsilon \leq \Delta$  розрахунок за циклом  $j$  припиняється, визначається кінцеве значення прогину  $y(l_{p.k.}) = \delta_{p.k.}$  рейки на кінці, яке використовується при розрахунку відповідно  $c_p = 1/\delta_{p.k.}$  та  $c_{p.k.}$ , за виразом (1).

На другому етапі за алгоритмом етапу 1 розраховується величина прогину  $h_B$  рейки, що віддає, на кінці. При цьому блок 1 алгоритму матиме вигляд

Прогин рейки, що віддає, на кінці визначається за виразом (2) як  $h_B = y_B(l_{p.k.})$  при досягненні умови  $\Delta \leq \varepsilon$ .

На етапі 3 при розрахунку  $h_{II}$  рейки, що приймає, на кінці блок 1 алгоритму має вигляд:

Далі за формулою (3) визначається прогин рейки, що приймає, на кінці:  $h_{II} = y_{II}(l_{p.k.})$ . При цьому виконуватиметься умова  $\Delta \leq \varepsilon$ .

На етапі 4 методики за виразом (4) розраховується висота  $h = h_{II} - h_B$  стикової нерівності на четвертій фазі руху вагона.

У таблиці наведено величини висоти стикової нерівності на четвертій фазі руху,

які розраховані при таких параметрах механічної схеми вагона і рейкової колії (рис. 1), а також геометричних і механічних характеристиках рейки Р-65 трамвая Т-3 [1, 11, 13]: модуль пружності матеріалу рейки –  $E = 2,6 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>; момент інерції

перерізу рейки відносно нейтральної осі  $J = 3573$  см<sup>4</sup>; жорсткість баластового шару колії –  $c = 0,5 \cdot 10^8$  Н/м; зведена до одного колеса маса порожнього вагона  $m = 2125$  кг, максимально (при 193 пасажирів) завантаженого  $m = 3814$  кг.

Таблиця

Величина ступеня стику на четвертій фазі руху вагона

$m$ , кг	2125	2294	2463	2632	2800	3138	3307	3476	3645	3814
$h$ , см	0,212	0,239	0,262	0,284	0,304	0,322	0,339	0,351	0,361	0,371

Залежність  $h(m)$  наведена на рис. 5. Носить вона параболічний характер, є монотонно зростаючою функцією і змінюється при  $m = [2125 \div 3814]$  кг у діапазоні  $h = [0,212 \div 0,371]$  см.

**Висновки.** Установлені значення величини ступеня  $h$  стику дають змогу з

урахуванням маси вагона, його завантаження і зведеної маси колеса визначити величину ударного імпульсу і післяударної швидкості рейки, що приймає, на кінці при розв’язанні задачі її динамічних прогинів у зоні розташування першої шпали.

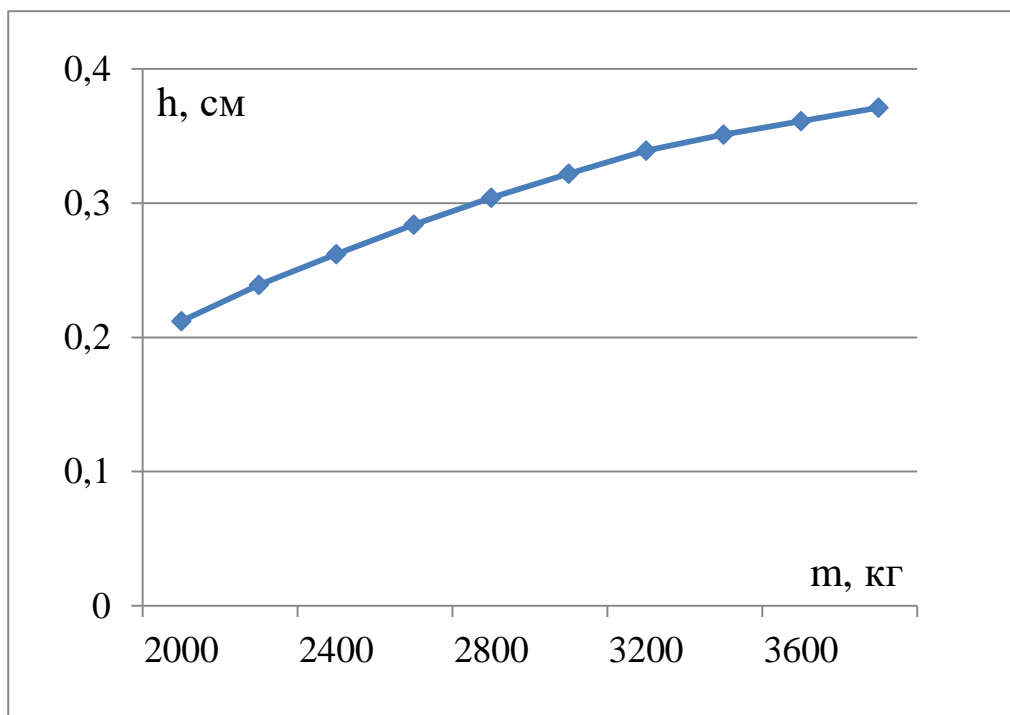


Рис. 5. Залежність висоти стику від завантаження вагона

*Список використаних джерел*

1. Шпачук, В.П. Стыкова динаміка трамвая [Текст] : монографія / В.П Шпачук, В.Х. Далека, А.В. Коваленко. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 150 с.
2. Вериго, М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / М.Ф. Вериго, А.Я. Коган; под ред. М.Ф. Вериго. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
3. Вершинский, С.В. Динамика вагонов [Текст] / С.В. Вершинский, В.Н. Данилов, В.Д Хусидов. – М. : Транспорт, 1991. – 360 с.
4. Лазарян, В.А. Динамика вагонов. Устойчивость движения и колебания [Текст] / В.А. Лазарян. – М.: Транспорт, 1964. – 255 с.
5. Шпачук, В.П. Динамічна взаємодія трамвая з рейковою колією при проходженні стыкової нерівності колії [Текст] / В.П. Шпачук, О.О. Чупринін, Т.О. Супрун // Комунальне господарство міст. – 2012. – №105. – С. 376-385.
6. Шпачук, В.П. Механическое взаимодействие трамвая с рельсовой колеей на второй фазе прохождения вагоном стыковой неровности [Текст] / В.П. Шпачук, А.А. Чупрынин, Т.А. Супрун // Транспорт Урала. – 2014. - №3 (42). – С. 7-12.
7. Шпачук, В.П. Дослідження впливу експлуатаційних факторів на статичні і динамічні прогини рейкової колії в зоні стыкової нерівності [Текст] / В.П. Шпачук, О.О. Чупринін, Т.О. Супрун // Вібрації в техніці та технологіях. – 2014. – №4 (76). – С 102-108.
8. Tomasz Kuminek A numerical analysis of the contact stress distribution and physical modelling of abrasive wear in the tram wheel-frog system [Text] / Tomasz Kuminek, Krzysztof Aniołek, Jakub Młyńczak // An International Journal on the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear. – Vol. 328. – 2015. – P. 177–185.
9. Jian Song Numerical prediction of ground vibrations induced by high-speed trains including wheel–rail–soil coupled effects [Text] / Song Jian, Chen Gongqi, Yang Jun // International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – Vol. 77. – 2015. P. 274–278.
10. Цвей, А.Ю. Балки и плиты на упругом основании. Лекции с примерами расчета по специальному курсу строительной механики [Текст]: учеб. пособие / А.Ю. Цвей. – М.: МАДИ, 2014. – 96 с.
11. ДСТУ 8193-73. Накладки двухголовые к рельсам типа Р-65 и Р-75 [Текст] . – Введ. 1975-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1975. – 5 с.
12. Тимошенко, С.П. Теория упругости [Текст] / С.П. Тимошенко, Д.Ж. Гудьер. – М.: Наука, 1975. – 576 с.
13. ДСТУ 18232-83. Рельсы контррельсовые. Технические условия. [Текст] . – Введ. 1985-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 13 с.

---

Шпачук Володимир Петрович, д-р техн. наук, кафедра теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: (096) 010-60-33.

Чупринін Олександр Олексійович, канд. техн. наук, доцент кафедри теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: (099) 053-89-42.

Супрун Тетяна Олександрівна, інженер кафедри теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: (093) 417-09-93.  
E-mail: ms.suprun1989@mail.ru.

Гарбуз Алла Олегівна, канд. техн. наук, доцент кафедри теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: (050) 300-68-19.

Shpachuk Vladimir Prtrovich, Dr. Sc. science of theoretical and structural mechanics O.M. Beketov national university of urban economy in Kharkov. Tel.: (096) 010-60-33.

Chuprinin Aleksandr Alekseevich, PhD. Sc. Associate Professor of theoretical and structural mechanics O.M. Beketov national university of urban economy in Kharkov. Tel.: (099) 053-89-42.

---

Suprun Tatiana Aleksandrovna, engineer of theoretical and structural mechanics O.M. Beketov national university of urban economy in Kharkov. Tel.: (093) 417-09-93. E-mail: ms.suprun1989@mail.ru.

Garbuz Alla Olegovna, PhD. Sc. Associate Professor of theoretical and structural mechanics O.M. Beketov national university of urban economy in Kharkov. Tel.: (050) 300-68-19.

Стаття прийнята 25.05.2016 р.

УДК 624.072.31

## АЛГОРИТМ ПОДБОРА РАЗМЕРОВ СТАЛЕБЕТОННЫХ БАЛОК ПО НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ, ИСКЛЮЧАЮЩЕЙ РАБОТУ РАСТЯНУТОЙ ЗОНЫ

Кандидаты техн. наук Е.Н. Кобзева, А.Н. Петров, А.В. Игнатенко

## АЛГОРИТМ ПІДБОРУ РОЗМІРІВ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК ЗА НЕСУЧОЮ ЗДАТНІСТЮ, ЩО ВИКЛЮЧАЄ РОБОТУ РОЗТЯГНУТОЇ ЗОНИ БЕТОНУ

Кандидати техн. наук О.М. Кобзева, А.М. Петров, А.В. Ігнатенко

## ALGORITHM CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE BEAMS ON THE CARRYING CAPASITY EXCLUDING THE OPERATION OF THE EXTENDED AREA OF CONCRETE

Phd. tehn. O.M. Kobzyeva, A.M. Petrov, A.V. Ignatenko

*Предложен алгоритм подбора размеров поперечного сечения бетона и стальной полосы сталебетонных балок по несущей способности при выполнении закона Гука. Разрушение балки происходит по нормальному сечению. При этом в бетоне и стальной полосе в опасных точках действуют предельные напряжения.*

**Ключевые слова:** сталебетонная балка, несущая способность, опасные точки, предельные напряжения.

*Запропоновано алгоритм підбору розмірів поперечного перерізу бетону та сталевій смуги сталебетонних балок за несучою здатністю при виконанні закону Гука. Руйнування балки здійснюється за нормальним перерізом. При цьому у бетоні та сталевій смугі в небезпечних точках діють граничні напруження.*

**Ключові слова:** сталебетонна балка, несуча здатність, небезпечні точки, граничні напруження.

*The concrete beam with external reinforcement in the form of sheet steel - reinforced concrete beam has been considered in the article. The concrete structures are known to allow using building materials more efficiently, that leads to concrete and steel economy.*

*The matching algorithm for selecting cross-sectional dimensions of the concrete and steel strip concrete beams on the bearing capacity according to Hooke's law has been offered. The destruction of the beam takes place on a normal section. Thus in the concrete and steel strip in hazardous locations there is limit voltage.*

*This algorithm allows simplifying the selection of sizes of cross-sections steel-concrete beams. More over there have been received the expressions including a bending moment that allows performing the calculation for any loads.*

**Keywords:** reinforced concrete beam, carrying capacity, unsafe points, limiting stresses.

**Введение.** Использование сталебетонных элементов прямоугольного поперечного сечения в конструкциях с внешним армированием экономически выгодно и целесообразно [1]. Несущую способность железобетонных балок можно существенно увеличить, заменив стержневую на листовую арматуру, при одинаковом расходе стали.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросами расчета сталебетонных балок занимались многие авторы [1] – [5] и др., в том числе и за рубежом [8] – [10]. Во многих статьях уделяется внимание исследованию работы гибких анкеров [2], [3], формам разрушения сталебетонных балок [4], определению несущей способности сталебетонных балок при разрушении по нормальному сечению и по контакту [5]. В [6] предложен расчет сталебетонных элементов с использованием теории Яшина. В [7] предложен алгоритм подбора размеров поперечного сечения бетона и стальной полосы сталебетонных балок по заданной высоте бетонного сечения без учета работы растянутой зоны бетона. В бетоне и стальной полосе максимальные напряжения равны их предельным значениям.

**Определение цели и задачи исследования.** Практика расчетов сталебетонных балок показывает, что достичь одновременно предельных напряжений в сжатой, растянутой зоне бетона и в стальной полосе не удастся. При этом растянутая зона бетона практически в работе не участвует. Поэтому предпринята попытка получить алгоритм расчета сталебетонных балок без учета работы растянутой зоны бетона, но с максимальными значениями напряжений, равными их предельным значениям в сжатой зоне бетона и в стальной полосе.

Для сталебетонной балки, с заданной внешней нагрузкой и заданными характеристиками бетона и стали, необходимо уточнить алгоритм расчета балок, предложенный в [8]. Необходимо

ввести безразмерный коэффициент  $A$ , который позволит упростить подбор всех размеров поперечных сечений сталебетонных балок по одному из заданных размеров.

При этом чтобы максимальные напряжения в сжатой зоне бетона равнялись их предельным значениям (расчетному сопротивлению бетона  $\sigma_b = R_b$ ), а максимальные напряжения в стальной полосе равнялись их предельным значениям (нормативному сопротивлению стали  $\sigma_s = R_{sn}$ ).

**Основная часть исследований.** Рассмотрим условия равновесия выделенного элемента  $dx$  сталебетонной балки (рис. 1). Действие левой части балки на сечение представим в виде изгибающего момента  $M_y$ . Действие правой части балки на сечение элемента представим в виде элементарных сил  $\sigma \cdot dA$ . От действия изгибающего момента верхняя часть бетона будет сжата, а нижняя растянута. Составим условие равновесия элемента  $dx$ .  $\Sigma X = 0$ ;

$$-\int_{A_b} \sigma_b \cdot dA_b + \int_{A_s} \sigma_s \cdot dA_s = 0. \quad (1)$$

Подставим пределы интегрирования

$$-\int_z^0 \sigma_b \cdot dA_b + \int_{-(h+\delta-z)}^{-(h-z)} \sigma_s \cdot dA_s = 0. \quad (2)$$

Учитывая, что  $dA_b = b \cdot dz_b$ ,  $dA_s = b \cdot dz_s$ , подставим в (1) эти значения и, проинтегрировав, получим

$$\frac{E_b \cdot b \cdot z^2}{2 \cdot \rho} + \frac{E_s \cdot b \cdot \delta}{2 \cdot \rho} (2 \cdot z - 2 \cdot h - \delta) = 0.$$

Введем обозначение

$$n = \frac{E_s}{E_b}; \quad (3)$$

$$\frac{\sigma_b}{E_b} = \frac{\sigma_s \cdot z}{E_s(h + \delta - z)} \quad \text{или}$$

и после несложных преобразований получим

$$\sigma_b = \frac{\sigma_s \cdot z}{n(h + \delta - z)}.$$

$$z^2 + 2n\delta z - 2n\delta h - n\delta^2 = 0. \quad (4)$$

Преобразуем и получим

Решая квадратное уравнение относительно  $z$ , получим

$$z(\sigma_s + n \cdot \sigma_b) = \sigma_b \cdot n(h + \delta).$$

$$z = n\delta \left[ \sqrt{1 + \frac{2 \cdot h + \delta}{n \cdot \delta}} - 1 \right]. \quad (5)$$

Отсюда

Так как балка работает в упругой стадии, то, используя рис. 1,б, можно записать

$$z = \frac{\sigma_b \cdot n(h + \delta)}{\sigma_s + n \cdot \sigma_b}. \quad (6)$$

Для определения отношения между высотой бетона  $h$  и толщиной стального листа  $\delta$  приравняем формулы (6) и (5).

$$\frac{\varepsilon_b}{z} = \frac{\varepsilon_s}{h + \delta - z}, \quad \text{но} \quad \varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b}, \quad \varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}.$$

$$n\delta \left[ \sqrt{1 + \frac{2h + \delta}{n \cdot \delta}} - 1 \right] = \frac{\sigma_b \cdot n(h + \delta)}{\sigma_s + n \cdot \sigma_b}. \quad (7)$$

Тогда

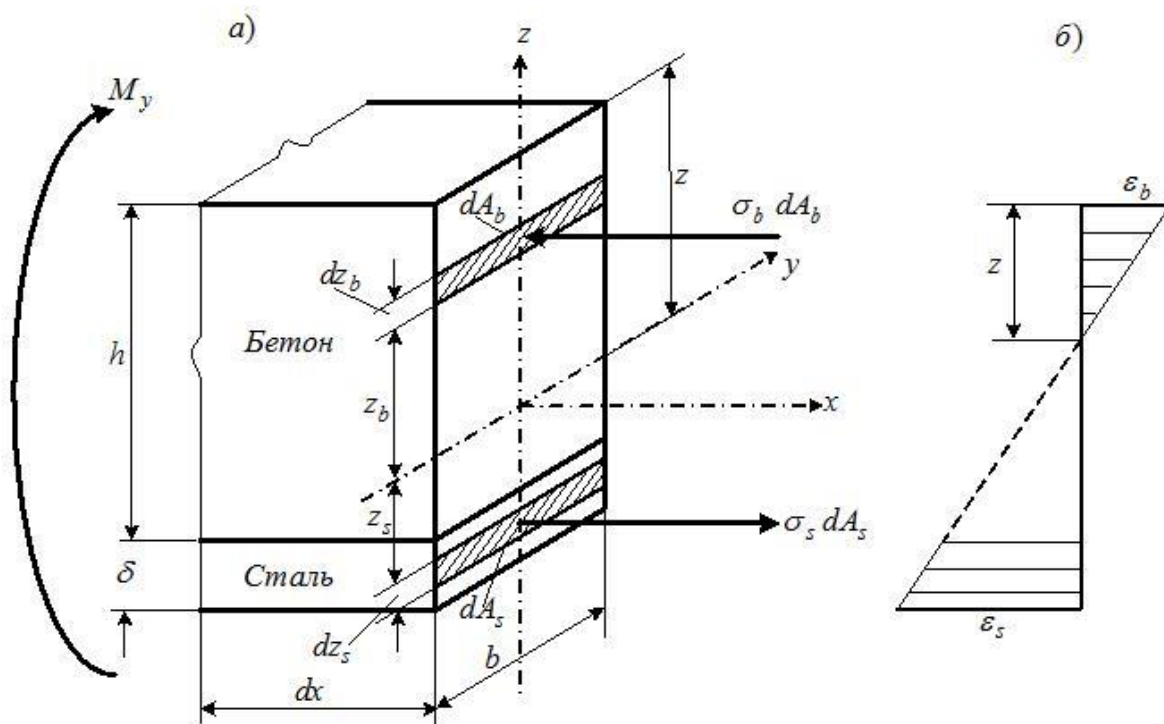


Рис. 1. Элемент сталебетонной балки

После несложных преобразований отношения между величинами  $\delta$  и  $h$  получим выражение для определения

$$\left(-n \cdot \sigma_b^2 - n^2 \sigma_b^2 + \sigma_s^2\right) \delta^2 - 2h\left(\sigma_s^2 + \sigma_b \sigma_s n - \sigma_b^2 n\right) \delta - \sigma_b^2 n \cdot h^2 = 0.$$

Решая квадратное уравнение относительно  $\delta$ , получим

$$\delta = \frac{\left(\sigma_s d - n \sigma_b^2\right)}{n \sigma_b^2 (1+n) - \sigma_s^2} \left[ 1 - \sqrt{1 + \frac{n \sigma_b^2 \left[\sigma_s^2 - n \sigma_b^2 (1+n)\right]}{\left(\sigma_s d - n \sigma_b^2\right)^2}} \right] h, \quad (8)$$

где  $d = \sigma_s + n \sigma_b$ .

Обозначим через  $A$  часть формулы (8)

$$A = \frac{\left(\sigma_s d - n \sigma_b^2\right)}{n \sigma_b^2 (1+n) - \sigma_s^2} \left[ 1 - \sqrt{1 + \frac{n \sigma_b^2 \left[\sigma_s^2 - n \sigma_b^2 (1+n)\right]}{\left(\sigma_s d - n \sigma_b^2\right)^2}} \right]. \quad (9)$$

Тогда выражение (8) примет вид

$$\delta = Ah. \quad (10)$$

Полученную безразмерную величину  $A$  удобно применять при подборе поперечных сечений сталебетонных балок.

Для определения напряжений в элементе сталебетона запишем уравнение статики (рис. 1,а)  $\Sigma M_y = 0$ .

$$M_y - \int_{A_b} \sigma_b \cdot dA_b \cdot z_b - \int_{A_s} \sigma_s \cdot dA_s \cdot z_s = 0.$$

Проинтегрировав, получим

$$M_y - \frac{E_b}{\rho} J_b - \frac{E_s}{\rho} J_s = 0.$$

Отсюда

$$M_y = \frac{1}{\rho} (E_b \cdot J_b + E_s \cdot J_s). \quad (11)$$

Определим напряжение в сжатой зоне бетона. Для этого подставим значение

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma_b}{E_b \cdot z_b} \text{ в (11)}$$

$$M_y = \frac{\sigma_b}{E_b \cdot z_b} (E_b \cdot J_b + E_s \cdot J_s).$$

или

$$M_y = \frac{\sigma_b \cdot E_b}{E_b \cdot z_b} (J_b + n \cdot J_s).$$

Отсюда

$$\sigma_b = \frac{M_y \cdot z_b}{J_{np}}, \quad (12)$$

где  $z_b$  - расстояние от оси, ограничивающей высоту сжатой зоны бетона, до точки сжатой зоны бетона, в которой определяется напряжение (наибольшие напряжения будут, если  $z_b = z$ );

$J_{np}$  - приведенный осевой момент инерции сталебетонного сечения, учитывающий работу сжатой зоны бетона и стального листа, который определяется по формуле

$$J_{np} = (J_b + n \cdot J_s). \quad (13)$$

Из формулы (12) определяем

$$J_{np} = \frac{M_y \cdot z_b}{\sigma_b}. \quad (14)$$

Определим напряжение в стальном листе. Для этого подставим значение

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma_s}{E_s \cdot z_s} \text{ в (11)}$$

$$M_y = \frac{\sigma_s}{E_s \cdot z_s} (E_b \cdot J_b + E_s \cdot J_s)$$

или

$$M_y = \frac{\sigma_s \cdot E_b}{E_s \cdot z_s} (J_b + n \cdot J_s) = \frac{\sigma_s}{n \cdot z_s} J_{np}.$$

Отсюда

$$\sigma_s = \frac{M_y \cdot z_s \cdot n}{J_{np}}, \quad (15)$$

где  $z_s$  - расстояние от оси, ограничивающей высоту сжатой зоны бетона, до точки стального листа, в которой определяется напряжение (наибольшие напряжения будут, если  $z_s = h + \delta - z$ ).

Приведенный осевой момент инерции определяется по формуле, учитывающей действие только сжатой зоны бетона и стального листа (рис. 2).

$$J_{np} = \frac{bz^3}{3} + nb\delta \left[ \frac{\delta^2}{12} + \left( h - z + \frac{\delta}{2} \right)^2 \right]. \quad (16)$$

Ширину сталебетонной балки определяем из выражения (16).

$$b = \frac{J_{np}}{\frac{z^3}{3} + \frac{n \cdot \delta^3}{12} + n \cdot \delta \left( h - z + \frac{\delta}{2} \right)^2}. \quad (17)$$

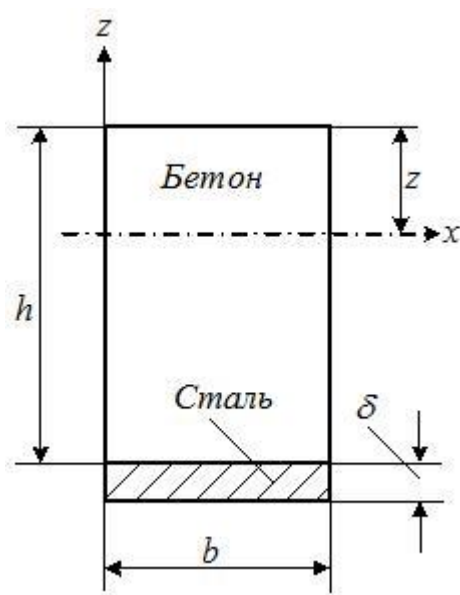


Рис. 2. Поперечное сечение сталебетонной балки



Несущая способность сталебетонных балок определяется по формуле

$$M_f = \frac{1}{2} b \sigma_b z^2 \frac{2}{3} + \sigma_s b \delta \left( h - z + \frac{5\delta}{9} \right). \quad (18)$$

В формулы (6-10) необходимо подставлять значения заданных характеристик материалов  $\sigma_b = R_b$  и  $\sigma_s = R_{sn}$ .

Теперь нужно выразить все размеры через коэффициент  $A$  и расчетный изгибающий момент  $M_y$ .

Подставим в формулу (6) значение формулы (14) и получим выражение высоты сжатой зоны бетона через коэффициент  $A$ .

$$z = \frac{\sigma_b n h (1 + A)}{d}. \quad (19)$$

Подставим в формулу (14) значение формулы (19) и получим осевой момент инерции поперечного сечения, выраженный через безразмерный коэффициент  $A$ .

$$J_{np} = \frac{M_y n h (1 + A)}{d}. \quad (20)$$

Подставим в формулу (16) значения (19) и (10).

$$\begin{aligned} J_{np} &= \frac{b z^3}{3} + n b \delta \left[ \frac{\delta^2}{12} + \left( h - z + \frac{5\delta}{9} \right)^2 \right] = \frac{b}{3} \left[ \frac{\sigma_b n h (1 + A)}{d} \right]^3 + n b h A \left[ \frac{(A h)^2}{12} + \right. \\ &+ \left. \left( h - \frac{\sigma_b n h (1 + A)}{d} + \frac{5 A h}{9} \right)^2 \right] = b h^3 n \left\{ \frac{n^2 \sigma_b^3 (1 + A)^3}{3 d^3} + \frac{A^3}{12} + A \left[ 1 - \frac{\sigma_b n (1 + A)}{d} + \frac{A}{2} \right]^2 \right\} \\ J_{np} &= b h^3 n \left\{ \frac{n^2 \sigma_b^3 (1 + A)^3}{3 d^3} + \frac{A^3}{12} + A \left[ 1 - \frac{\sigma_b n (1 + A)}{d} + \frac{A}{2} \right]^2 \right\}. \quad (21) \end{aligned}$$

Обозначим

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{n^2 \sigma_b^3 (1 + A)^3}{3 d^3}; \quad p_1 = \frac{A^3}{12}; \\ s_1 &= A \left[ 1 - \frac{\sigma_b n (1 + A)}{d} + \frac{A}{2} \right]^2; \end{aligned}$$

$$K = k_1 + p_1 + s_1. \quad (22)$$

Тогда

$$J_{np} = b h^3 n (k_1 + p_1 + s_1) = b h^3 n K. \quad (23)$$

Приравняв формулы (20) и (23), определяем ширину бетонного сечения

$$b = \frac{M_y (1 + A)}{h^2 d K}. \quad (24)$$

Если в процессе подбора задана ширина балки, то можно определить из формулы (24) высоту бетонного сечения

$$h = \sqrt{\frac{M_y (1 + A)}{b d K}}. \quad (25)$$

Если расчет производится по толщине стального листа, то возникает необходимость определять ширину балки через величину изгибающего момента и толщину стального листа. Для получения этой формулы используем выражения (10) и (25)

$$\frac{\delta}{A} = \sqrt{\frac{M_y(1+A)}{bdK}}.$$

Отсюда определяем ширину балки  $b$  через известное значение толщины стального листа  $\delta$

$$b = \frac{M_y(1+A)A^2}{\delta^2 dK}. \quad (26)$$

Коэффициент армирования определяется по формуле  $\mu = \frac{\delta}{h_o}$ , но  $h_o = h + \frac{\delta}{2}$ . Учитывая формулу (10), получим выражение коэффициента армирования, выраженного через безразмерную величину  $A$

$$\mu = \frac{2A}{2+A}. \quad (27)$$

На основании полученных формул предлагается алгоритм подбора размеров поперечных сечений бетона и стальной полосы сталебетонной балки.

#### Алгоритм

Если задана высота бетонного сечения  $h$ :

1. Определяем коэффициент  $n$ .
2. По формуле (9) определяем коэффициент  $A$ .
3. По формуле (27) выполняем проверку коэффициента армирования.
4. Задаемся высотой бетонного сечения  $h$ .

5. По формуле (10) определяем толщину стального листа  $\delta$ .

6. По формуле (19) определяем высоту сжатой зоны бетона  $z$ .

7. По формуле (20) определяем требуемый приведенный осевой момент инерции поперечного сечения сталебетонной балки  $J_{пр}$ .

8. По формуле (24) определяем ширину сталебетонной балки  $b$ .

9. По формулам (12) и (15) проверяем максимальные напряжения в бетоне и стальном листе.

10. По формуле (18) определяем несущую способность балки  $M_f$ .

Если задана ширина балки  $b$ , то в пункте 4 определяется высота бетонного сечения  $h$  по формуле (25). Далее по алгоритму.

Если задается толщина стального листа  $\delta$ , то в пункте 4 определяется ширина балки  $b$  по формуле (26). Затем по формуле (25) определяется высота бетонного сечения и далее по алгоритму.

**Выводы из исследований и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении.** Уточнен алгоритм подбора размеров поперечных сечений сталебетонных балок введением безразмерного коэффициента  $A$ , который позволяет упрощать подбор размеров поперечных сечений сталебетонных балок.

Подбор всех размеров поперечных сечений осуществляется по одному из заданных его значений. При этом максимальные напряжения в сжатой зоне бетона и стальной полосе равны предельным их значениям.

Получены выражения, которые включают расчетный изгибающий момент  $M_y$ , что позволяет производить расчет для любых нагрузок.

*Список использованных источников*

1. Людковский, И.Г. Сталебетонные фермы из гнутых профилей [Текст] / И.Г. Людковский, В.М. Фонов, С.М. Кузьменко, С.И. Самарин // Бетон и железобетон. – 1982. – №7. – С. 30-31.
2. Кириллов, А.П. Конструкция герметизирующей облицовки защитной оболочки [Текст] / А.П. Кириллов, А.С. Михайлов [и др.] // Бетон и железобетон. – 1977. – №6. – С. 9.
3. Воронков, Р.В. Исследование железобетонных перекрытий с внешней профилированной арматурой [Текст] / Р.В. Воронков, Ф.И. Багатурия // Бетон и железобетон. – 1977. – №6. – С. 11.
4. Голосов, В.И. Расчет конструкций с внешним армированием при действии поперечных сил [Текст] / В.И. Голосов, А.С. Залесов, Г.П. Бирюков // Бетон и железобетон. – 1977. – №6. – С. 14-17.
5. Чихладзе, Э.Д. Несущая способность сталебетонных плит [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов // Бетон и железобетон. – 1990. – №10. – С.30-31.
6. Чихладзе, Э.Д. Расчет сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при внецентренном сжатии и изгибе [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов, А. Салам // Строительная механика и расчет сооружений. – 1992. – №3. – С. 9-17.
7. Кобзева, Е.Н. Расчет сталебетонных балок по несущей способности, исключаяющей работу растянутой зоны бетона [Текст] / Е.Н. Кобзева, А.В. Игнатенко // Вестник ХНАДУ. – 2012. – Вып. 58. – С. 119-123.
8. Ying Xing, Qinghua Han, Jie Xu, Qi Guo, Yihong Wang, Experimental and numerical study on static behavior of elastic concrete-steel composite beams // Journal of Constructional Steel Research, Volume 123, August 2016, Pages 79-92.
9. Sudhir P. Patil, Keshav K. Sangle, Tests of steel fibre reinforced concrete beams under predominant torsion // Journal of Building Engineering, Volume 6, June 2016, Pages 157-162.
10. M.M. Arabnejad Khanouki, N.H. Ramli Sulong, Mahdi Shariati, M.M Tahir, Investigation of through beam connection to concrete filled circular steel tube (CFCST) column // Journal of Constructional Steel Research, Volume 121, June 2016, Pages 144-162.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Г.Л. Ватуля

---

Кобзева Олена Миколаївна, канд. техн. наук, доцент кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Тел. +38 (057) 700-38-66.  
E-mail.: sergekobzev@mail.com.

Петров Анатолій Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельної механіки і гідраліки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.:(057) 730-10-70.  
E-mail.: petrovbmg@ukr.net.

Ігнатенко Андрій Васильович, канд. техн. наук, асистент кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Тел. +38 (057) 700-38-66.  
E-mail.: andregkhadi@gmail.com.

Kobzyeva Olena, Phd. tehn., Associate Professor Kharkiv National Automobile and Highway University.  
Petrov Anatoliy, phd. tehn., Associate Professor Ukrainian State University of Railway Transport.  
Ignatenko Andriy Assistant, Associate Professor Kharkiv National Automobile and Highway University.

Стаття прийнята 25.05.2016 р.

УДК 656.025.2

**ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПАСАЖИРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ НА ЗАГАЛЬНУ КІЛЬКІСТЬ ПАСАЖИРОМІСЦЬ У МІСТІ**

Канд. техн. наук І.Є. Іванов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО ПАССАЖИРОМЕСТ В ГОРОДЕ**

Канд. техн. наук И.Е. Иванов

**DETERMINING PARAMETERS INFLUENCE ON PASSENGER TRANSPORT SYSTEMS TOTAL NUMBER OF PASSENGERS PLACES IN THE CITY**

Ph. I. Ivanov

*У статті розглядається сумісний вплив зміни таких параметрів, як показник ступеня функції тяжіння, обсяг відправлення, коефіцієнт динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті та маршрутний коефіцієнт на загальну кількість пасажиромісць у місті. Розроблено регресійні моделі сумісного впливу параметрів пасажирських транспортних систем на загальну кількість пасажиромісць у місті. Проведена статистична оцінка експериментальних даних та розрахованих за моделями свідчить про достатню адекватність отриманих математичних моделей.*

**Ключові слова:** пасажирська транспортна система, номінальна місткість, регресійна модель.

*В статье рассматривается совместное влияние изменения таких параметров, как показатель степени функции тяжести, объем отправления, коэффициент динамического заполнения салонов транспортных средств в городе и маршрутный коэффициент на общее количество пассажиромест в городе. Разработаны регрессионные модели совместного влияния параметров пассажирских транспортных систем на общее количество пассажиромест в городе. Проведенная статистическая оценка экспериментальных данных и рассчитанных по моделям свидетельствует о достаточной адекватности полученных математических моделей.*

**Ключевые слова:** пассажирская транспортная система, номинальная вместимость, регрессионная модель.

*The distribution of transport in urban passenger transport lies in the way the use of motor vehicles and their accessories. Established presented dependence relating to urban passenger public transport and cannot be applied to other forms of use of vehicles, including personal transport. In the article the joint effects of changing parameters such as gravity exponent function, volume administration, the coefficient of dynamic filling interior of vehicles in the city and trip rate on total of passenger seats in town. Developed regression models compatible parameters influence passenger transportation systems of passenger seats the total number in the city. Conducted statistical evaluation of experimental data and calculated by model indicates the fair received adequate mathematical models.*

**Keywords:** passenger transport system, rated capacity, regression model.

**Вступ.** Однією з основних систем забезпечення життєдіяльності міст є транспортна система. У свою чергу важливою складовою останньої є система міського пасажирського транспорту, яка забезпечує доставку людей до місць їх праці і задоволення культурно-побутових потреб.

Тому будь-які дослідження, направлені на досконалість маршрутної мережі, є надзвичайно актуальними і в сучасній системі пізнання закономірностей розвитку і функціонування міських пасажирських транспортних систем можуть зробити достойний внесок.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання розподілу транспортної роботи у міському пасажирському транспорті (МПТ) лежить в площині способу користування транспортними засобами та їх приналежності. Так, за способом користування транспортними засобами МПТ розподіляється [1-3]:

- 1) громадський транспорт загального користування;
- 2) громадський транспорт індивідуального користування;
- 3) особистий транспорт індивідуального користування.

Враховуючи, що кожен спосіб користування МПТ загального користування поділяється на види транспорту, якими реалізуються переміщення, загальна транспортна робота у місті визначається за залежністю

$$W = \sum_{i=1}^n W_i, \quad (1)$$

де  $W_i$  – транспортна робота  $i$ -го виду транспорту, пас.·км;

У свою чергу існує загально відома залежність визначення транспортної роботи [4-5]:

$$W = Q \cdot l_{\text{сер}}, \quad (2)$$

де  $Q$  – обсяг перевезень пасажирів, пас.;

$l_{\text{сер}}$  – середня відстань перевезення пасажирів, км.

Даний вид залежності застосовується для формування уявлення про витрати на перевезення. Для того, щоб визначити реальні значення транспортної роботи на маршрутах МПТ використовують таку залежність [1, 3, 6-8]:

$$W = \sum_{j=1}^m Q_j \cdot l_j, \quad (3)$$

де  $Q_j$  – обсяг перевезень пасажирів на відстань  $l_j$ , пас.

На практиці відстанню  $l_j$  є довжина ділянки транспортної мережі, а обсягом перевезень  $Q_j$  є кількість пасажирів, що знаходяться в салоні ТЗ. Тоді транспортна робота є сумарним відображенням кількості перевезених пасажирів  $Q_j$  на  $j$ -й ділянці транспортної мережі  $i$ -м видом транспорту

$$W = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_j^i \cdot l_j, \quad (4)$$

де  $Q_j^i$  – обсяг перевезень пасажирів на  $j$ -й ділянці транспортної мережі  $i$ -м видом транспорту, пас.

Але залежність (4) можливо використовувати при однаковій відстані перевезення пасажирів всіма видами МПТ, що можливо лише за умови єдиної транспортної мережі для всіх видів транспорту. Це є суттєвим недоліком, адже у кожного виду транспорту своя транспортна мережа, яка складається із сукупності з'єднаних між собою зупинних пунктів, що ускладнює визначення транспортної роботи.

Для усунення даного недоліку в роботі [9] було запропоновано для кожного

виду транспорту МПТ визначати питому роботу за такою залежністю:

$$W_i^{\text{МПТ}} = \frac{W_i}{L_i}, \quad (5)$$

де  $L_i$  – довжина транспортної мережі  $i$ -го виду транспорту, км.

Даний підхід дозволяє оцінити ефективність роботи кожного виду транспорту, як в період його функціонування, так і на перспективу.

Ключовим моментом у розподілі транспортної роботи є значення обсягів перевезень, що підтверджується залежностями (1) - (4), які у свою чергу залежать від кількості пасажиромісць на маршрутах. Тому необхідно дослідити вплив параметрів пасажирських транспортних систем на загальну кількість пасажиромісць у місті.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою даної статті є визначення закономірностей зміни загальної кількості пасажиромісць залежно від параметрів пасажирських транспортних систем.

Для досягнення цієї мети були вирішені такі завдання:

– моделювання змін загальної кількості пасажиромісць залежно від параметрів пасажирських транспортних систем;

– розробка регресійних моделей сумісного впливу.

**Основна частина дослідження.** Враховуючи існуючі дослідження щодо впливу параметрів пасажирських транспортних систем на показники функціонування, було обрано межі їх (параметрів) варіювання (табл. 1).

Таблиця 1

Межі варіювання параметрів пасажирських транспортних систем

Параметр	Межі варіювання		
	нижня	середня	верхня
Показник ступеня функції тяжіння, $\mu$	0,5	1	1,5
Обсяг відправлення, $\sum_{i=1}^n H_{Bi}$ , тис. пас.	61	184	307
Коефіцієнт динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті, $\gamma_{\text{сеп}}^M$	0,2	0,6	1,0
Маршрутний коефіцієнт, $k_m$	1,95	2,35	2,55

Як об’єкт дослідження було обрано топологічну схему транспортної мережі. В ході експериментальних досліджень було зібрано дані, що характеризують топологічну схему транспортної мережі, та проведено моделювання за розробленим алгоритмом. Результати моделювання було зведено до результуючої таблиці (табл. 2).

При визначенні загальної кількості пасажиромісць від розглянутих параметрів

пасажирських транспортних систем було виконано статистичну обробку даних за допомогою програми Statistica. Попередній аналіз дозволив встановити функціональну залежність вигляду

$$\omega = f(\mu, \sum_{i=1}^n H_{Bi}, \gamma_{\text{сеп}}^M, k_m). \quad (6)$$

Таблиця 2

Результати моделювання роботи пасажирських транспортних систем

Номер дослідження	Показник ступеня функції тяжіння	Коефіцієнт динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті	Маршрутний коефіцієнт	Обсяг перевезень, тис. пас.	Коефіцієнт пересадності	Транспортна робота, тис. пас. · км	Загальна кількість пасажиромісць, од.
1	0,75	0,4	2,15	172,2	1,4	790,9	103590
2	1	0,6	2,35	259,9	1,41	1039,3	94185
3	1,25	0,8	2,45	339,1	1,38	1184,4	82339
...	...	...	...	...	...	...	...
25	1,25	0,6	2,15	82,6	1,35	296,1	26573
26	0,75	0,6	2,45	442,6	1,44	1977,4	187324
...	...	...	...	...	...	...	...
52	1	0,6	2,55	259,8	1,41	1039,3	94716

Так, лінійна модель має вигляд

$$\omega = 147823 + \sum_{i=1}^n H_{Bi} - 298398 \cdot \gamma_{сер}^M \quad (7)$$

Зі свого боку, степенева модель має вигляд

$$\omega = 0,42 \cdot \mu^{-0,475} \cdot \left( \sum_{i=1}^n H_{Bi} \right)^{0,939} \cdot \gamma_{сер}^{M-0,985} \cdot k_m^{0,438} \quad (8)$$

Статистичну оцінку експериментальних даних та розрахованих за моделями виконано за допомогою критерію Фішера, множинного коефіцієнта кореляції,

стандартизованого відхилення та середньої помилки апроксимації. Результати оцінки наведені в табл. 3-4.

Таблиця 3

Статистична оцінка математичних моделей загальної кількості пасажиромісць від розглянутих параметрів пасажирських транспортних систем

Назва статистичного показника	Значення показника для моделі	
	(7)	(8)
Критерій Фішера, $F$ :		
– розрахунковий	23,763	373,23
– табличний	4,38	4,38
Множинний коефіцієнт кореляції, $R$	0,845	0,988
Стандартизоване відхилення, $A$	44961	0,09535
Середня помилка апроксимації, $\varepsilon$ , %	33,4	6,07

Таблиця 4

Коефіцієнти значимості факторів математичних моделей загальної кількості пасажиромісць від розглянутих параметрів пасажирських транспортних систем

Фактор	Значення коефіцієнта для моделі	
	(7)	(8)
Показник ступеня функції тяжіння, $\mu$	-0,071499	-0,271667
Обсяг відправлення, $\sum_{i=1}^n H_{Vi}$ , тис. пас.	0,654863	0,744481
Коефіцієнт динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті, $\gamma_{сер}^M$	-0,816831	-0,809632
Маршрутний коефіцієнт, $k_m$	-0,014100	0,062177

Таким чином, для залежності (7) середня помилка апроксимації склала 33,4 %, а для математичних моделей: (8) – 6,07 %. Отримані значення свідчать про достатню адекватність ступеневої математичної моделі й дозволяють використовувати її на практиці.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Наведені в роботі дослідження впливу параметрів пасажирських транспортних систем на розподіл транспортної роботи при зміні

загальної кількості пасажиромісць у місті дозволяють зробити висновок про її вагомий вплив на функціонування системи МПТ в цілому. Тобто таке розселення мешканців, де місце проживання більш тяжіє до місця – мети поїздки, забезпечуючи більш сприятливі умови для функціонування системи в цілому.

В подальшому необхідно визначити сумісний вплив параметрів пасажирських транспортних систем на показники кількості пасажиромісць (залежно від обраної місткості).

### Список використаних джерел

1. Логистика: Общественный пассажирский транспорт [Текст] / под ред. Л.Б. Миротина. – М.: Экзамен, 2003. – 224 с.
2. Hutchinson B. G. Principles of urban transport systems planning [Text] / B. G. Hutchinson. – N.Y.: McGraw-Hill, 1974. – 444 p.
3. Banister D. Transport and Urban Development [Text] / D. Banister. – L.: Taylor&Francis, 1995. – 294 p.
4. Доля, В. К. Пасажирські перевезення [Текст] / В. К. Доля. – Харків: Вид-во „Форт”, 2011. – 507 с.
5. Ігнатенко, О.С. Організація автобусних перевезень у містах [Текст] / О. С. Ігнатенко, В. С. Маруніч. – К.: УТУ, 1998. – 196 с.
6. Спирин, И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками [Текст] / И. В. Спирин. – М.: Академия, 2003. – 400 с.
7. Levinson H. Analyzing transit travel time performance [Text] / Levinson H. // Transportation research record. – 1983. – № 915. – P. 1-6.



8. Strathman J. Evaluation of transit operations: data applications of TriMet's automated bus dispatching system [Text] / [ J. Strathman, T. Kimpel, K. Dueker and oth.] // Transportation. – 2002. – № 29. – P. 321-345.

9. Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок [Текст] / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин. – М.: Высшая школа, 1980. – 535 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор В.К. Доля

---

Іванов Ігор Євгенійович, канд. техн. наук, докторант кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: (057) 707-32-61.  
E-mail: kafedra\_tsl@ukr.net.

Ivanov Igor Yevgeniiovich Ph. D., doctoral student department of transport systems and logistics O. M. Beketov National University of Urban Economy. Tel.: (057) 707-32-61. E- mail: kafedra\_tsl@ukr.net.

Стаття прийнята 26.05.2016 р.

**УДК 658.012.011**

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПРИ ПОМОЩИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ**

**Ассист. Н.Р. Зограбов**

## **ОРГАНІЗАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ**

**Асист. Н.Р. Зограбов**

## **ORGANIZATION OF RAILWAY CONTAINER TRANSPORTATION BY MEANS OF LOGISTIC CHAINS**

**Assistant N.R. Zohrabov**

*Статья посвящена вопросам организации железнодорожных контейнерных перевозок в Азербайджане при помощи логистических цепей. В статье представлена схема транспортно-логистической системы контейнерных перевозок в Азербайджане. Составлена таблица выражений для расчета продолжительности операций логистических цепей и предложен алгоритм решений. Разработана общая модель, на основе которой могут быть выявлены наиболее эффективные варианты организации доставки.*

**Ключевые слова:** контейнерные перевозки, контейнерный терминал, имитационное моделирование, математическое моделирование, транспортно-логистические системы, метод графов, логистическая цепь.

*Стаття присвячена питанням організації залізничних контейнерних перевезень в Азербайджані за допомогою логістичних ланцюгів. У статті подано схему транспортно-логістичної системи контейнерних перевезень в Азербайджані. Складено таблицю виразів для розрахунку тривалості операцій логістичних ланцюгів і запропоновано алгоритм рішень. Розроблено загальну модель, на підставі якої можуть бути виявлені найбільш ефективні варіанти організації доставки.*

**Ключові слова:** контейнерні перевезення, контейнерний термінал, імітаційне моделювання, математичне моделювання, транспортно-логістичні системи, метод графів, логістичний ланцюг.

*The article is dedicated to organization of railway container transportation in Azerbaijan by means of logistic chains. The diagram of transport - logistics system's container transport in Azerbaijan has been presented.*

*The table of expressions has been worked out for calculation of logistic chains' operation time and the algorithm of solutions has been suggested. The common model has been worked out, on the basis of which the most effective variants of the delivery organization may be exposed.*

**Keywords:** container shipping, container terminal, simulation modeling, mathematical simulation, transport - logistics systems, graph method, the logistic chain.

В настоящее время значительная часть грузовых перевозок осуществляется во взаимодействии водного, железнодорожного и автомобильного видов транспорта. При этом наиболее совершенной формой смешанных перевозок сегодня является организация контейнерных перевозок, предоставляющих: высокую сохранность перевозимого груза; мультимодальность, возможность выбора различных логистических цепей поставок; высокую скорость обработки; специализацию для перевозки различных видов груза и в совокупности сокращение цены транспортировки. Сегодня контейнерные перевозки в мире развиваются темпами 10-12 % в год. Уровень контейнеризации сухих грузов в мире по некоторым оценкам достигает 50-60 %. В то же время погрузка грузов в контейнерах составляет около 1,5 % от общей погрузки по сети железных дорог, что говорит о значительных резервах развития этого вида сообщений в нашей стране [1].

Большой Шелковый путь, проходящий через территории Азербайджана и Грузии, обладает высоким потенциалом в развитии контейнерных перевозок. Это объясняют такие факторы, как транзитное географическое положение региона, высокая концентрация промышленного производства, а также появление на закавказском рынке крупных международных компаний и торговых сетей.

Лидером азербайджанского рынка контейнерных перевозок является ООО «ADY Express» — филиал компании ЗАО «АЖД».

Цель компании – добиться создания благоприятных условий в области осуществления всех отраслей промышленности для крупных железнодорожных контейнерных перевозок и прозрачной среды логистики регионов Европы, Персидского залива, Каспийского, Черного морей, Центральной Азии и Китая. Основной целью «ADY Express» является экономически эффективная и надежная логистика, представляющая возрождение исторического Шелкового пути между Азией и Европой, а также увеличение объема контейнерных перевозок и транзита с Персидского залива между Россией и странами Европы.

ЗАО «АЖД» — важный участник контейнерного рынка, специализируется, в основном, на отправлениях в малотоннажных контейнерах, а также на мелких и сборных отправлениях крупнотоннажных контейнеров [2,3].

Участниками рынка контейнерных перевозок Азербайджана также являются такие крупные компании, как ACCESS TRANS, AZTRANSOIL, AZTRANSCO, AZINTRANS и региональные экспедиционные компании AZ-SERVICE, ELTRANS, а также автомобильные перевозчики BAKUTRANS, AZLOGISTIKA.

На контейнерном рынке Азербайджана работают более 60 различных логистических компаний.

В современных условиях важным аспектом развития регионального рынка контейнерных перевозок становится интеграция участников перевозочного процесса на взаимовыгодной основе, формирование единого информационного пространства и развитие транспортной инфраструктуры. Идея интеграции является ключевой для многих теоретических исследований в области логистики и развивается в понятиях транспортно-логистической системы, комплекса, кластера [4]. Транспортно-логистическая система – это региональная логистическая транспортно-распределительная система, представляющая собой совокупность логистических функциональных и обеспечивающих подсистем региональной

товаропроводящей сети, состоящей из звеньев, интегрированных материальными и сопутствующими потоками для получения максимального синергетического эффекта на основе установления партнерских отношений между участниками транспортно-логистического процесса [7].

Приведем графическое и вербальное представление региональной транспортно-логистической системы контейнерных перевозок.

На рис. 1 представлена схема транспортно-логистической системы (сети) контейнерных перевозок в Азербайджанской Республике, которая состоит из некоторого ядра, представляющего собой сеть транспортно-логистического грузодвижения, и окружения ядра, обеспечивающего его функционирование [8].

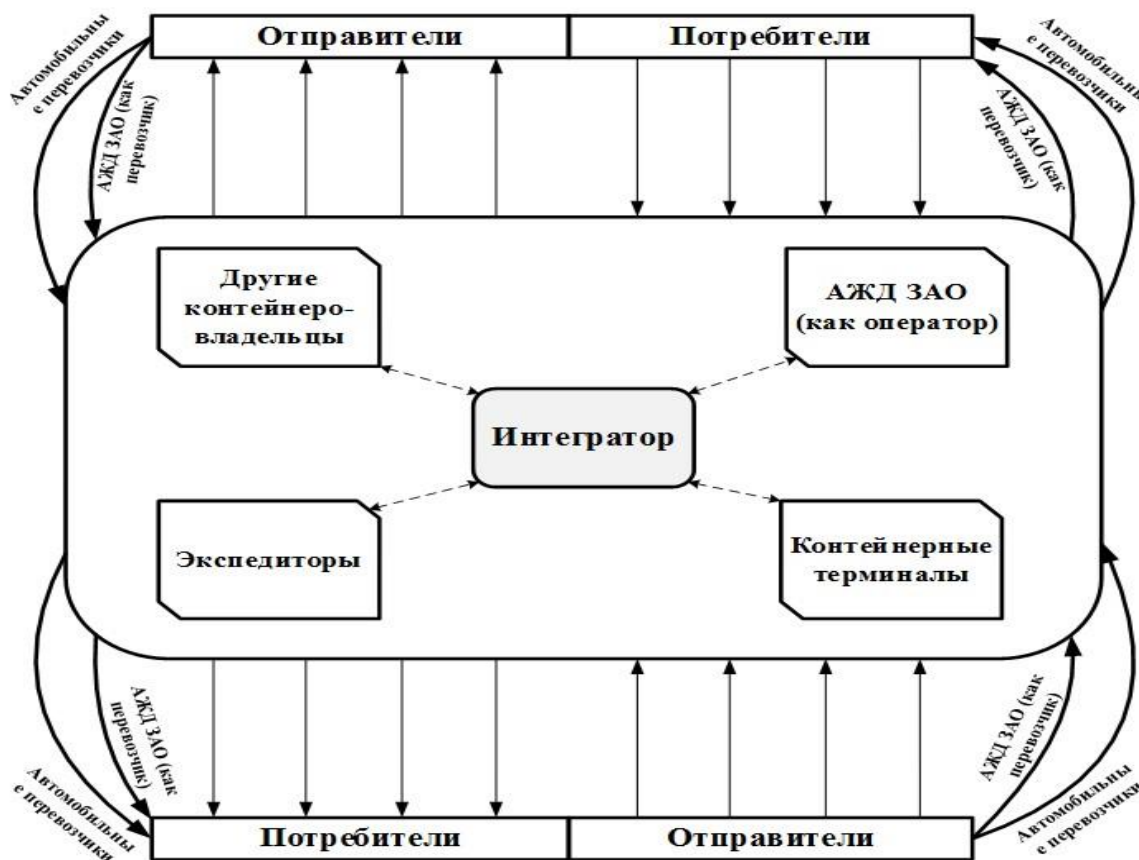


Рис. 1. Региональная схема транспортно-логистической системы контейнерных перевозок

Функциональное ядро системы включает объекты, выполняющие основной вид деятельности. К ним относятся владельцы инфраструктуры (контейнерного парка, терминалов, подвижного состава), перевозчики (ЗАО «АЖД» и автотранспортные предприятия), а также предприятия, оказывающие транспортно-экспедиторские услуги. Обслуживающая подсистема объединяет объекты, наличие которых обязательно, но их деятельность не всегда напрямую связана с организацией контейнерных перевозок. Подсистема автомобильного обслуживания выполняет функцию внутритехнологических перевозок.

Особо следует выделить системный интегратор как координатор всех субъектов, участвующих в процессе организации контейнерных перевозок в регионе. В качестве интегратора может выступать региональный логистический центр, созданный на основе партнерских соглашений между участниками рынка. Цель выделения такой структуры – не увеличение прибыли отдельных звеньев, а достижение максимального синергетического эффекта от функционирования системы в целом [6].

Региональная транспортно-логистическая система контейнерных перевозок обеспечивает связь потребителей и отправителей региона с потребителями и отправителями других регионов и

координирует как входящие, так и выходящие грузопотоки.

Попробуем сформулировать авторское определение региональной транспортно-логистической системы контейнерных перевозок [5].

Региональная транспортно-логистическая система контейнерных перевозок – это совокупность функциональных и обеспечивающих элементов системы, взаимодействующих между собой и интегрированных единым управлением для достижения максимального синергетического эффекта, совместно участвующих в продвижении генерируемых в регионе, поступающих в регион и транзитных контейнеропотоков.

На предложенной организационно-технологической схеме транспортно-логистической сети контейнерных перевозок (см. рис. 1) можно проложить множество логистических цепей доставки грузов и оборота контейнеров.

На рис. 2 показан фрагмент множества логистических цепей доставки контейнеров.

Выбор звеньев логистической цепи зависит от объемов перевозок, наличия подъездных путей к месту выгрузки (погрузки) контейнеров, объемов контейнерных терминалов, наличия погрузочно-разгрузочных машин и их производительности и т. д.



Рис. 2. Организационная схема контейнерных перевозок

Сегодня экспедиторские фирмы в своей практической деятельности при определении стоимости и продолжительности доставки контейнеров опираются, в основном, на результаты расчетов, выполненных с помощью автоматизированной системы «Этран» [9]. В программу вносятся данные, соответствующие заявке клиента (характеристика груза, тип контейнера, наименование станции отправления и назначения и другая информация). Система в автоматическом режиме выдает оперативные документы (вагонные листы, наряды на завоз-вывоз контейнеров, наряды крановщику) и рассчитывает провозную плату. На основе участковой нормативной скорости движения поездов программа определяет продолжительность доставки контейнеров, а также учитывает суммарное время на другие операции (добавляет как нормативное время на операции), связанные с отправлением и прибытием. Однако, как показывает опыт организации контейнерных перевозок, продолжительность работы, выделенной в

отдельное звено логистической цепи, – величина случайная. Значит, и фактическая продолжительность доставки контейнера также является величиной случайной.

Таким образом, возникает насущная проблема разработки имитационной модели доставки грузов в контейнерах, позволяющая прогнозировать с заданной вероятностью надежности вывода продолжительности логистических цепочек, то есть время доставки груза «от двери до двери».

При разработке имитационной модели в качестве математического аппарата может быть использован метод статистических испытаний (Монте-Карло).

На рис. 3 представлен гипотетический граф логистических цепей, состоящий из  $n=12$  звеньев при наличии  $m_i$  альтернативных работ на каждом звене, где в вершинах расположены альтернативные операции (звенья) организации доставки, а стрелками обозначены связи между последовательными операциями. Продолжительность операций  $t_{ij}$  представлена вариационным рядом из  $N$  наблюдений.

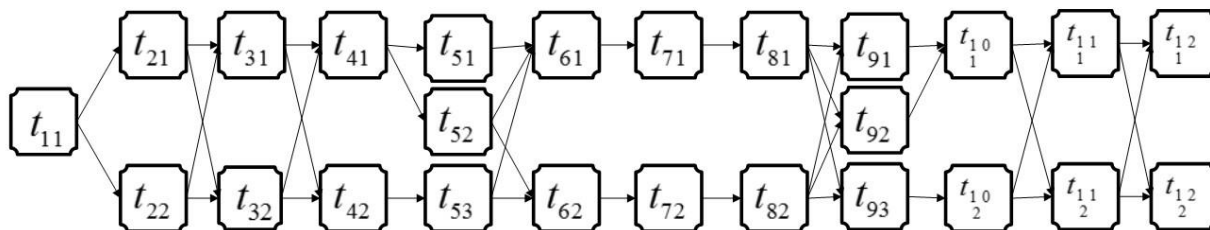


Рис. 3. Граф альтернативных логистических цепей

Число альтернативных цепей ограничивается матрицей связности вида:

$$A = (a_{ij}^{ij}),$$

где  $a_{ij}^{ij}=1$ , связь между операциями есть;  $a_{ij}^{ij}=0$  – связь отсутствует.

Для нашего примера матрица связности примет вид (табл. 1).

В результате обработки статистических данных региональных контейнерных операторов были установлены законы распределения продолжительностей операций, входящих в логистическую цепь доставки контейнера.

В табл. 2 приведены выражения для определения продолжительности операций, полученные на основе рассчитанных статистических характеристик.



1	2
6. Перевалка контейнера на железнодорожную платформу	$t_{51} = 0,0208 \cdot \sigma Z$
7. Железнодорожная перевозка (сборная отправка)	$t_{71} = 249,67 + e^{\frac{l_7}{0,1968 \cdot (\sum_1^{12} Z - 6)}}$
8. Железнодорожная перевозка (маршрутная отправка)	$t_{72} = \frac{l_7}{980,45 + 15,13 \cdot Z}$ $l_7$ – расстояние железнодорожной перевозки от станции отправления до станции назначения

Общая модель расчета продолжительности логистических цепей формируется с учетом ограничений связности. Алгоритм расчета представлен на рис. 4.

Далее, в соответствии с приведенным алгоритмом, расчеты продолжительности каждой альтернативной цепи повторяются  $N$  раз.

После заданного числа испытаний можем найти среднее время по каждой цепи.

С заданной вероятностью надежности вывода определяются оптимистическая и пессимистическая продолжительности выбранной логистической цепи:

$$T_{\min, \max} = T_{cp} \pm \lambda \sigma,$$

где  $T_{cp} = \sum_1^N T_i$  – математическое ожидание;

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение;  
 $\lambda$  – нормирующий множитель.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (T_{cp} - T_i)^2}{N - 1}}.$$

Таким образом, с заданной вероятностью надежности вывода можем прогнозировать, что  $T_i$  логистическая цепь доставки контейнера «от двери до двери» не превысит  $T_{\max}$  суток. При благоприятных условиях доставка может быть завершена через  $T_{\min}$  суток.

Данная модель прогнозирования продолжительности логистических цепей позволит обоснованно планировать оборот контейнеров и более эффективно управлять контейнерным парком. Кроме того, на основе данной модели могут быть выявлены наиболее эффективные, с точки зрения продолжительности, варианты организации доставки.

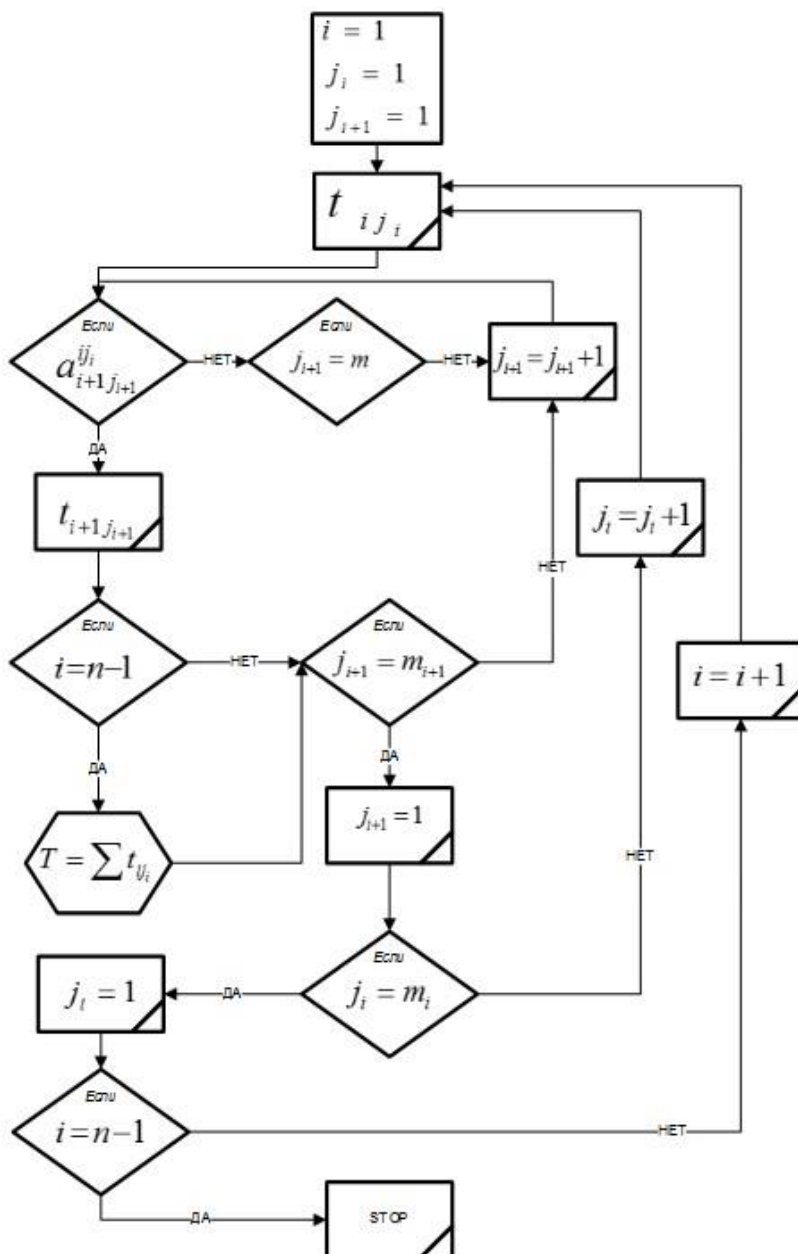


Рис. 4. Алгоритм расчета продолжительности логистических цепей:  
 $i$  – номера этапов,  $i = 1, n$ ;  $j_i$  – номера операций на  $i$ -м этапе,  $i, j = 1, m$

**Список использованных источников**

1. Апатцев, В. Логистические транспортно-грузовые системы [Текст] / В. Апатцев, С. Левин [и др.]. – М.: Транспорт, 2003. – 304 с.
2. Официальный сайт ООО «ADY Express» [www.adyexpress.az](http://www.adyexpress.az).
3. Официальный сайт ЗАО «АЖД». [www.railway.gov.az](http://www.railway.gov.az).
4. Москвичев, О.В. Кластерная политика в повышении конкурентоспособности контейнерно-транспортной системы страны [Текст] / О.В. Москвичев // Транспорт: наука, техника, управление, 2009. – № 1. – С. 28-31.



5. Шатилов, С.В. Международные интермодальные контейнерные перевозки [Текст] / С.В. Шатилов // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 2. – С. 20-24.

6. Резер, С.М. Новые формы взаимодействия железной дороги и портов на базе логистических центров [Текст] / С.М. Резер // Транспорт: наука, техника, управление: сб. обзорной информации. – 2007. – № 8. – С. 37-39.

7. Сергеев, В.И. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов [Текст] / В.И. Сергеев. — М.: ИНФРА-М, 2008.

8. Сай, В.М. Планетарные структуры управления железнодорожным транспортом [Текст] / В.М. Сай // Транспорт, наука, техника, управление. — М.: ВИНТИ РАН, 2002. – №4. – С. 8-18.

9. Ушенин, Е. Связанные одной сетью [Текст] / Е. Ушенин // РЖД-Партнер. – 2008. – № 15 (139). – С. 35-39.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Ахмедов Гейбатулла Мабуд оглы

---

Зохранов Ніджат Расул огли, асистент кафедри експлуатації залізничного транспорту Азербайджанського технічного університету. Тел.: +994-50-641-69-91.

Zohrabov N.R.

Стаття прийнята 27.05.2016 р.

УДК 624.046.5:624.074

### **АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТРАПЕЦІСПОДІБНОЇ СТАЛЕВОЇ ПЛАСТИНИ ВУЗЛА З'ЄДНАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ НИЖНЬОГО ПОЯСА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ СТРУКТУРНО-ВАНТОВОЇ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ**

**Канд. техн. наук Г.М. Гасій**

### **АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРАПЕЦИЕВИДНОЙ СТАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ УЗЛА СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НИЖНЕГО ПОЯСА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СТРУКТУРНО-ВАНТОВОЙ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ**

**Канд. техн. наук Г.М. Гасий**

### **ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE OF THE TRAPEZOIDAL STEEL PLATE USED FOR JOINTS ELEMENTS OF THE BOTTOM CHORD OF THE EXPERIMENTAL COMPOSITE STEEL AND CONCRETE GRID-CABLE BARREL SHELL**

**Cand. of techn. sciences G.M. Gasii**

*У статті проаналізований напружено-деформований стан сталевієї пластини трапецієподібної форми, що призначена для з'єднання модульних елементів нижнього пояса експериментального зразка збірної структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки. Чисельним методом виявлено місця концентрацій максимальних і мінімальних напружень, встановлено характер деформування та визначено запас міцності пластини на дію розрахункового навантаження.*

**Ключові слова:** сталезалізобетон, оболонка, структура, ванта, напруження, деформація.

*В статье проанализировано напряженно-деформированное состояние стальной пластины трапециевидной формы, предназначенной для соединения модульных элементов нижнего пояса экспериментального образца сборной структурно-вантовой сталежелезобетонной цилиндрической оболочки. Численным методом выявлены места концентраций максимальных и минимальных напряжений, установлен характер деформирования и определен запас прочности пластины на действие расчетной нагрузки.*

**Ключевые слова:** *сталежелезобетон, оболочка, структура, ванта, напряжение, деформация.*

*The paper studies mechanical behavior of elements of the new kind spatial structures. In particular, the stress-strain state of the trapezoidal steel plate that is used for joints modular elements of the bottom chord of the composite steel and concrete grid-cable barrel shell has been studied. The stress-strain state analyses of the plate has been performed with the finite element method. Solving has been performed for experimental sample of the structure with a span of 8.6 m. The structure is consisted of seven spatial modular elements and six modular bottom chord elements. Precisely through modular bottom chord elements, the load is applied to the steel plate. The maximum concentration of the stresses, the behavior and the factor of safety in plate under force have been found out. Optimization of the shape and size of the trapezoidal steel plate have been carried using the solid Von Mises stress contour that have been obtained.*

**Keywords:** *composite steel and concrete, shell, space structure, cable, stress, strain.*

**Вступ.** Структурно-вантова сталезалізобетонна оболонка є новим композитним збірним просторовим покриттям, яке складається із просторових сталезалізобетонних модулів і гнучких модульних елементів нижнього пояса. Сутність таких модулів полягає у їх конструктивному рішенні і способі з'єднання між собою. Таке рішення дозволяє максимально ефективно і раціонально використовувати будівельні матеріали. Поєднання модулів в цілісну конструкцію покриття здійснюється за допомогою спеціально розроблених болтових з'єднань. Просторовий сталезалізобетонний модуль виготовляється із сталевих трубчастих стрижнів, сталобетонної плити, яка відіграє роль верхнього пояса, та вузлових деталей, через які модулі поєднуються. Беручи до уваги, що оболонка є збірною, – значну увагу необхідно приділяти аналізу і дослідженню напружено-деформованого стану вузлових деталей.

**Огляд останніх джерел і публікацій** показав, що значна частина досліджень присвячена вивченню напружено-

деформованого стану сталобетонних плитних елементів, які будовою і характером роботи є схожими з елементами верхнього пояса структурно-вантової сталезалізобетонної оболонки [1–3]. Результати цих досліджень свідчать про високі показники міцності й ефективність застосування сталезалізобетону у складі різноманітних конструкцій покриття та перекриття [4–8]. Причому для дослідження напружено-деформованого стану конструкцій широко застосовують сучасні та прогресивні чисельні методи [9].

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** З аналізу попередніх праць видно, що недослідженим залишається питання вивчення напружено-деформованого стану вузлових з'єднань структурно-вантової сталезалізобетонної оболонки.

**Постановка завдання.** Враховуючи те, що вивченню напружено-деформованого стану плитних елементів структурно-вантового сталезалізобетонного покриття приділено достатньо уваги, нагальної потреби в їх подальшому дослідженні немає, на відміну від

дослідження елементів вузлових з'єднань. Зважаючи на це, метою роботи є проведення чисельного розрахунку і аналізу напружено-деформованого стану вузлової пластини трапецієподібної форми, яка призначена для з'єднання гнучких модульних елементів нижнього пояса із просторовим сталезалізобетонним модулем. На основі отриманих розрахунком даних ми маємо визначити

міцність і встановити ймовірні вразливі місця деталі та у разі необхідності визначити способи їх ліквідації.

**Основний матеріал і результати.**

Аналіз напружено-деформованого стану і проектні пропозиції вузлових деталей виконано на прикладі експериментальної структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки прольотом 8,6 м зі стрілою підйому 0,56 м (рис. 1).

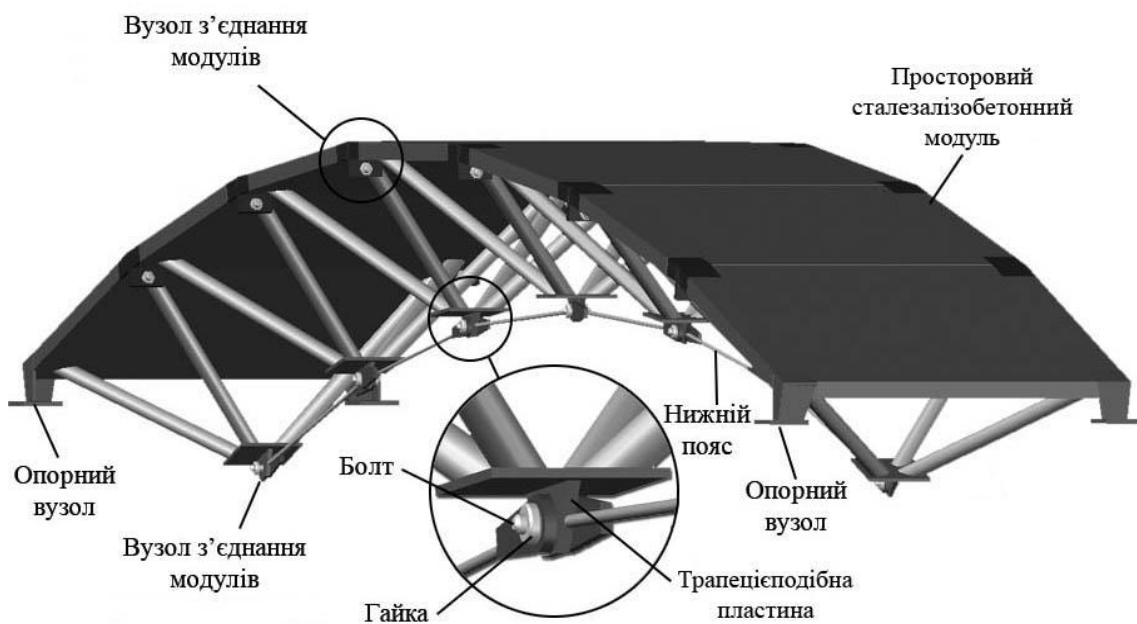


Рис. 1. Секція структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки

Для проведення дослідження необхідно було визначити внутрішні зусилля в оболонці. За результатами статичного розрахунку конструкції

циліндричної оболонки на дію рівномірно-розподіленого навантаження  $2,65 \text{ кН/м}^2$  було отримано значення поздовжніх сил  $N$  (рис. 2).

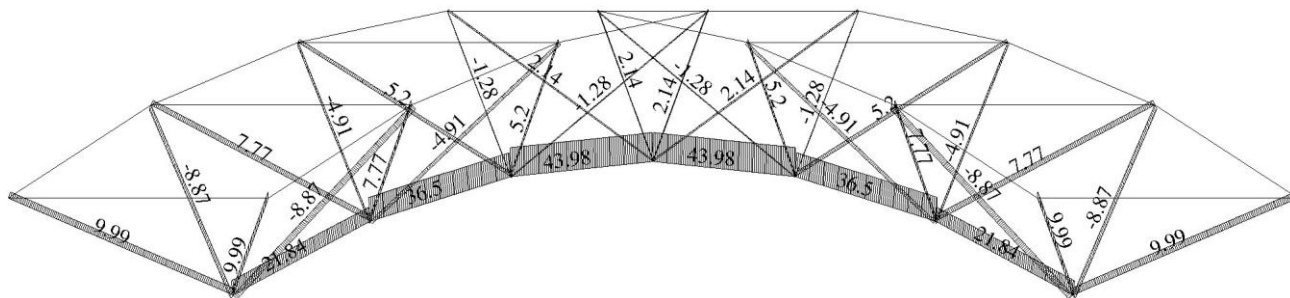


Рис. 2. Епюра поздовжніх сил  $N$ , Кн

З епюри поздовжніх сил  $N$  видно, що максимальне зусилля розтягу, яке діє в стрижневих елементах нижнього пояса структурно-вантової сталезалізобетонної оболонки, дорівнює 43,98 кН. Як зазначалося раніше, структурно-вантова сталезалізобетонна циліндрична оболонка складається із просторових сталезалізобетонних модулів і модульних елементів нижнього пояса. Ці модульні елементи поєднуються у конструкцію покриття за допомогою вузла з'єднання, головним

елементом якого є трапецієподібна пластина (рис. 3). Несуча здатність пластини послаблена отвором під болт, який працює на зріз. Крім того пластина сприймає напруження від дії поздовжніх сил розтягу в елементах нижнього пояса у двох напрямках, що може спричинити її кручення.

Згідно з розробленим кресленням було побудовано тривимірну модель деталі вузла з'єднання (рис. 4).

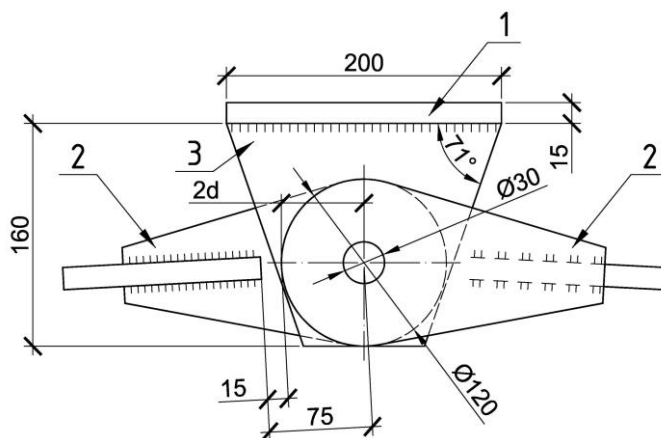


Рис. 3. Вузол з'єднання модульних елементів нижнього пояса і просторового сталезалізобетонного модуля структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки:

- 1 – сталеві пластина прямокутної форми; 2 – сталеві деталі нижнього пояса;  
3 – трапецієподібна сталеві пластина з отвором

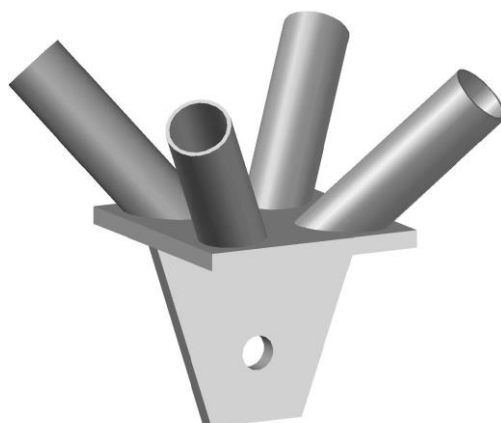


Рис. 4. Модель вузла з'єднання модульних елементів нижнього пояса і просторового сталезалізобетонного модуля структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки

Для встановлення особливостей напружено-деформованого стану і міцності трапецієподібної пластини вузла з'єднання було прийнято схему дослідження, яка моделювала її роботу і передбачала закріплення в поперечних перерізах стрижнів з прикладенням сили до отвору. На рис. 5 зображено діаграму розподілу напружень, з якої видно, що прийняті геометричні розміри і фізико-механічні властивості міцність пластини не забезпечують, оскільки напруження, що виникли в пластині, перевищують граничні

значення. У зв'язку з цим виникла необхідність пошуку певних заходів, виконання яких дозволить досягти перерозподілу напружень таким чином, щоб їх максимальна величина не перевищувала допустимих значень. Спершу було збільшено товщину пластини на 10 мм, таким чином товщина пластини дорівнювала 25 мм. На рис. 6 зображено діаграму розподілу напружень після проведення перших оптимізаційних дій та порівняння напружень до і після зміни товщини пластини.

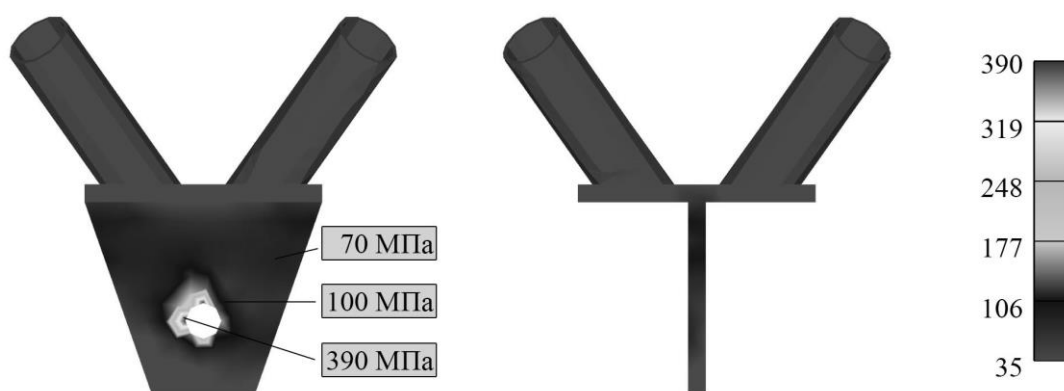


Рис. 5. Діаграма розподілу напружень в трапецієподібній пластині, МПа

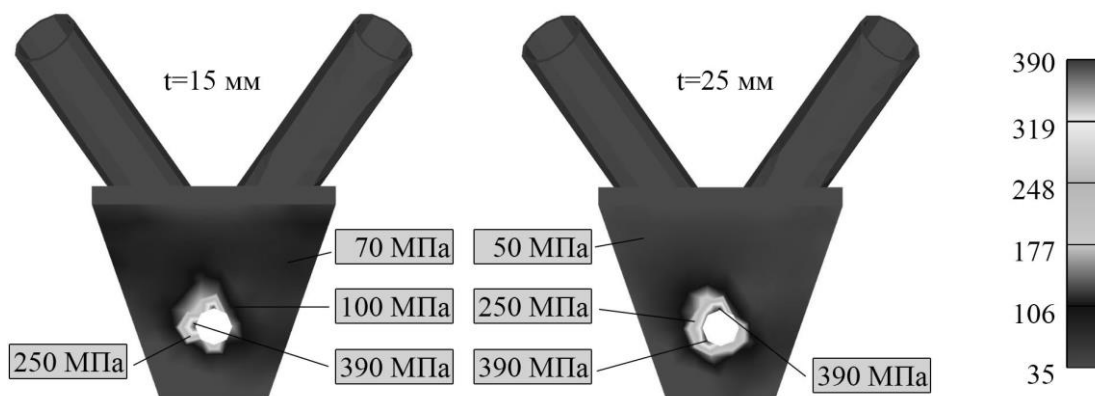


Рис. 6. Порівняння діаграм розподілу напружень до і після зміни товщини трапецієподібної пластини, МПа

Порівняння діаграм розподілу напружень в пластині після збільшення її товщини показує, що більшою мірою величина концентрацій напружень

зменшилася, але міцність пластини знову не забезпечена. Таким чином, зміна товщини не дала позитивного результату, тому необхідно продовжувати пошук

заходів для забезпечення міцності пластини. Оскільки збільшувати товщину пластини далі недоцільно тому, що вона значно перевищуватиме товщини інших елементів і деталей вузла з'єднання, було прийнято рішення залишити товщину пластини рівною 15 мм, а збільшити діаметр отвору під болт на 12 мм. Таке рішення задовольняє вимоги діючих норм, бо відношення  $a/d$  рівне 1,5. Збільшення діаметра отвору приведе до збільшення площі контакту болта з пластиною і, як

наслідок, величина напружень буде зменшуватися. На рис. 7 показано діаграму розподілу напружень в пластині зі збільшеним отвором.

При такому конструктивному рішенні в пластині виникають максимальні напруження величиною 220 МПа, – свідчить про достатню міцність пластини. Тепер необхідно проаналізувати характер деформування пластини. На рис. 8 показано деформовану модель вузла з'єднання.

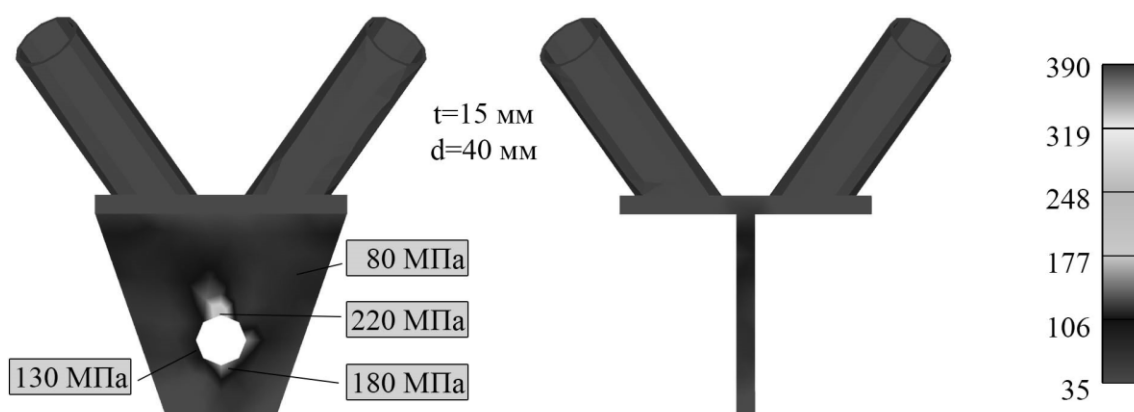


Рис. 7. Діаграма розподілу напружень в трапецієподібній пластині зі збільшеним отвором, МПа

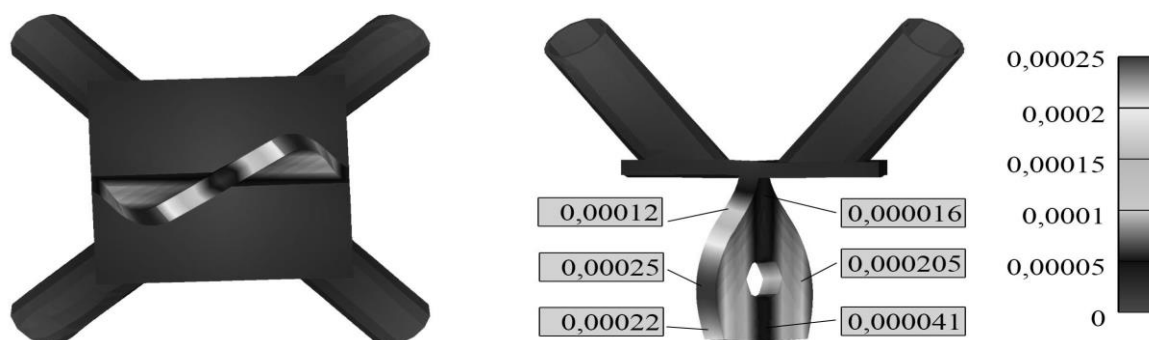


Рис. 8. Деформована модель трапецієподібної пластини зі збільшеним отвором (переміщення), м

Деформації пластини є незначними, тому можна вважати, що міцність пластини забезпечена повною мірою.

Таким чином, трапецієподібна пластинка товщиною 15 мм і з отвором діаметром

42 мм під болт здатна сприймати напруження, що виникають внаслідок дії в елементах нижнього пояса структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки поздовжньої сили  $N$  величиною 43,98 кН.

**Висновки.** За результатами проведеного дослідження вивчено напружено-деформований стан сталевієї пластини трапецієподібної форми, що призначена для з'єднання гнучких елементів нижнього пояса і просторових модулів структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки. Моделюванням встановлено характер деформування пластини і місця концентрацій

максимальних напружень. Проведений аналіз напружено-деформованого стану дозволив виявити слабкі місця пластини та виконати її оптимізацію. Внаслідок зміни діаметра отвору під болт відбувся перерозподіл напружень таким чином, що максимальні значення не перевищували граничних. Це свідчить про достатню несучу здатність і міцність пластини.

### *Список використаних джерел*

1. Storozhenko, L.I. Experimental research of strain-stress state of ferrocement slabs of composite reinforced concrete structure elements [Electronic resource] / L.I. Storozhenko, G.M. Gasii // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №6. – P. 40–42. – Access mode: [http://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI\\_2014\\_6/8-Gasii.pdf](http://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI_2014_6/8-Gasii.pdf).
2. Behaviour and Design of Composite Steel and Concrete Building Structures [Text] / B. Uy, Z. Tao, D. Lam, L.H. Han. – Boca Raton: CRC Press, 2016. – 400 p.
3. Gasii, G.M. Technological and design features of flat-rod elements with usage of composite reinforced concrete [Electronic resource] / G.M. Gasii // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №4. – P. 23–25. – Access mode: <http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/5.2014.pdf>.
4. Гасій, Г.М. Експериментальні дослідження структурно-вантових покриттів [Текст] / Г.М. Гасій // Збірник наукових праць. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво. – 2014. – Вип. 3(42). – С. 47–51.
5. Стороженко, Л.І. Просторове сталезалізобетонне структурно-вантове покриття [Текст]: сб. научных трудов / Л.І. Стороженко, Г.М. Гасій // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2015. – Вип. 82 – С. 226–230.
6. Стороженко, Л.І. Просторові сталезалізобетонні структурно-вантові покриття [Текст] : монографія / Л.І. Стороженко, Г.М. Гасій, С.А. Гапченко. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2015. – 218 с.
7. Johnson, R.P. Composite Structures of Steel and Concrete: Beams, Slabs, Columns, and Frames for Buildings: Third Edition [Text] / R.P. Johnson. – Blackwell, 2004. – 252 p.
8. Oehlers, D.J. Composite Steel and Concrete Structures: Fundamental Behavior [Text] / D.J. Oehlers, M.A. Bradford. – Elsevier, 2013. – 588 p.
9. De Sousa Jr. J.B. Numerical analysis of composite steel-concrete columns of arbitrary cross section [Text] / J.B. De Sousa Jr., R.B. Caldas // Journal of structural engineering. – 2005. – Vol. 131. – №11. – P. 1721–1730.

Рецензент д-р техн. наук, професор Л.І. Стороженко

---

Гасій Григорій Михайлович, канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри конструкцій із металу, дерева і пластмас, Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка. E-mail.: [grigorii\\_g\\_m@ukr.net](mailto:grigorii_g_m@ukr.net).

Gasii Grygorii Mykhailovych, cand. of techn. sciences, associate Professor, doctoral student of the department of structures from a metal, wood and plastics, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. E-mail.: [grigorii\\_g\\_m@ukr.net](mailto:grigorii_g_m@ukr.net).

Стаття прийнята 08.06.2016 р.

УДК 624.012:53.09

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАГМЕНТОВ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ФУНДАМЕНТОВ КОКСОВЫХ БАТАРЕЙ**

Д-р техн. наук С. Л. Фомин, соискатель А. М. Кравченко

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФРАГМЕНТІВ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ФУНДАМЕНТІВ КОКСОВИХ БАТАРЕЙ**

Д-р техн. наук С. Л. Фомін, здобувач О. М. Кравченко

**EXPERIMENTAL STUDY OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE FOUNDATION FRAGMENTS OF COKE OVEN BATTERIES**

**Dr. Sciences S. Fomin, applicant A. Kravchenko**

*Разработана методика проведения экспериментальных исследований железобетонных фрагментов фундаментов коксовых батарей с боковым подводом отопительного газа при статической нагрузке и нагревании. Разработана и выполнена новая установка для проведения огневых испытаний, опытные образцы, моделирующие фрагменты фундамента в натуральную величину. Проведены экспериментальные исследования, получены новые сведения о работе железобетонных конструкций, что позволило усовершенствовать характер армирования, доказать целесообразность конструктивных решений фундаментов из жаростойкого бетона без футеровки бортов.*

**Ключевые слова:** лабораторные экспериментальные исследования, фундаменты коксовых батарей, новая испытательная установка, учет температурных воздействий.

*Розроблено методику проведення експериментальних досліджень залізобетонних фрагментів фундаментів коксових батарей з бічним підведенням опалювального газу при статичному завантаженні і нагріванні. Розроблено та виконано нову установку для проведення вогневих випробувань, дослідні зразки, що моделюють фрагменти фундаменту в натуральну величину. Проведено експериментальні дослідження, отримано нові відомості про роботу залізобетонних конструкцій, що дозволило удосконалити характер армування, довести доцільність конструктивних рішень фундаментів з жаростійкого бетону без футерування бортов.*

**Ключові слова:** лабораторні експериментальні дослідження, фундаменти коксових батарей, нова випробувальна установка, облік температурних впливів.

*A methodology for experimental studies of reinforced concrete foundations fragments of coke oven batteries with gun flue of heating gas under static load and heating was developed. A new system for conducting fire tests, prototypes that model fragments of a full-size foundation was developed and implemented. Experimental studies were done, new information was obtained about the operation of reinforced concrete foundation structures of coke oven batteries. Existence of stretching in the lower parts of the arched bridges and compressive stresses in the upper parts was experimentally proven. This effect was found during numerical simulation with the frame arrangement in all 5 spans as well as in calculations using flat and three-dimensional model. In the first and second fragments of the foundation through cracks appeared in the bottom part of reinforced concrete flue fragment. This fact allowed to improve the pattern of reinforcement, to*



*prove the feasibility of design solutions of heat-resistant concrete foundations without lining of flues.*

**Keywords:** *Laboratory experimental studies, foundations of coke oven batteries, new test facility, effects of temperature.*

**Вступление.** Коксовой батареей называется группа коксовых печей, объединенных общим фундаментом, устройствами подведения отопительных газов и воздуха, отвода продуктов сгорания и коксования. Коксовая батарея сооружается на железобетонном фундаменте. В печах с боковым подводом отопительного газа на нижней плите фундамента расположены каналы для отвода продуктов сгорания - бороза и вентиляционный канал в центре, которые объединены несущим железобетонным массивом для восприятия нагрузок от кладки батареи.

Актуальность научных разработок по проблеме обусловлена необходимостью совершенствования конструктивных решений фундаментов коксовых батарей с боковым подводом отопительного газа.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Технические тенденции в перепроектировании и строительстве коксовых батарей изложены в [1], нелинейная модель ввода-вывода для коксовой батареи в [2], анализ переноса тепла в фундаментах проведен в [3], расчет потерь тепла фундаментной плиты при неравномерных температурных профилях внутренней температуры в [4]. Продлению срока службы коксовых батарей посвящена работа [5], прочности жаростойкого бетона на сжатие при нагреве, кубиковой и призмной прочности бетона при повышенных температурах – работы [6-8].

Разработанная модернизированная конечно-элементная рамная модель расчета фундаментов, состоящая из отдельных конечных стержневых элементов различной высоты, показала свою эффективность по сравнению с традиционной рамной системой [9]. Новая расчетная модель увеличила надежность конструкции

фундамента за счет приближения к действительной плоской арочной системе, однако остался нерешенным ряд вопросов, связанных с упрощающими предпосылками рамной схемы.

Проведен комплекс численных экспериментов напряженно-деформированного состояния фундаментов при совместном воздействии температуры и нагрузки при плоском и объемном напряженном состоянии. Выявлены особенности работы фундаментов, разработаны расчетные модели, рекомендации по совершенствованию конструктивных решений и армированию их элементов. Для проверки полученных результатов и выявления особенностей напряженно-деформированного состояния проведены экспериментальные исследования.

**Определение цели и задачи исследования.** Цель экспериментальных исследований – выявление особенностей работы фрагментов монолитных железобетонных фундаментов коксовых батарей с боковым подводом отопительного газа, подтверждение разработанной методики их расчета.

Задачами экспериментов являлись:

- разработка экспериментальной модели фрагмента фундамента коксовых батарей;
- исследование прочностных и деформационных характеристик примененного жаростойкого бетона;
- разработка и изготовление установки для испытания железобетонных фрагментов фундамента при воздействии температуры и нагрузки;
- определение двумерных температурных полей в элементах образцов;
- определение характера деформирования железобетонных конструкций

фундамента при одночасному впливі температури і навантаження;

– визначення діаграми  $\sigma_c - \varepsilon_c$  жаростійкого стисненого бетону в залежності від температури нагріву;

– виявлення впливу температурних моментів на перерозподіл навантажень;

– визначення характеру утворення і розвитку деформацій в сеченнях фундаменту в процесі нагріву і тріщинотворення;

– визначення особливостей напружено-деформованого стану при наявності і відсутності футеровки борів.

Проведене дослідження розподілу температури в конструкціях фундаментів коксових батарей з боковим підводом опалювального газу і повітря в сеченні фундаменту коксової батареї без футеровки і з футеровкою свідчить про можливість, з теплотехнічної точки зору, застосування жаростійкого бетону без застосування футеровки. Моделювання напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій фундаменту без футеровки, з футеровкою з шамотної кладки ( $\lambda=0.6$  Вт/м·К) і з футеровкою з теплоізоляційного гіпотетичного матеріалу ( $\lambda=0.03$  Вт/м·К) підтверджує висновки теплотехнічної частини досліджень про доцільність застосування жаростійкого бетону без футеровки.

#### **Основна частина дослідження.**

Проведені лабораторні експериментальні дослідження двох фрагментів коксових батарей в натуральну величину: фрагмента №1 в вигляді бору з футеровкою шамотним кирпичем, фрагмента №2 – без футеровки. Висота фрагментів становила 2180 мм, ширина 2940 мм, товщина 250 мм; ширина колонн фрагмента №1 становила 500 мм (250 мм з бетону плюс 250 мм з шамотного кирпича). Висота сечення залізобетонної арки в коньку становила 250 мм – для фрагмента №1 і 500 мм для фрагмента №2. Радіус арки у фрагмента

№1 (з урахуванням футеровки) і у фрагмента №2  $R = 970$  мм. Бетон прийнятий жаростійкий класу С25 за міцністю на стиснення, класу 7 (700 °С) за гранично допустимою температурою застосування. Склад на  $1 \text{ м}^3$  бетонної суміші: портландцемент П/ц – 400-350 кг; тонкомолота добавка з боя звичайного глиняного кирпича – 120 кг; заповнювач базальтовий: великий – 950 кг, малий – 850 кг.

Армування верхньої частини фрагмента №1 висотою 250 мм здійснювалося сталевим каркасом з верхньої арматури  $2\varnothing 16$  А400, нижньої  $2\varnothing 16$  А400. Арматура бокових частин, прилеглих до зовнішніх поверхонь, здійснювалася знизу на висоту 710 мм сталевими каркасами з установкою по кутам арматури  $4\varnothing 16$  А400 в межах бетонного сечення розмірами  $250 \times 250$  мм. Внутрішня поверхня арки облямовувалася арматурною сіткою з  $2\varnothing 16$  А400. Установлена також арматура розкріплення вугів – верхніх кутів бетонних масивів  $4\varnothing 16$  А400.

Армування фрагмента №2 здійснювалося аналогічно, з тією лише різницею, що верхня частина мала висоту 500 мм, а бетонне сечення нижньої частини становило  $500 \times 250$  мм.

Бетонування здійснювалося в горизонтальному положенні, після чого в семи сеченнях розставлені 45 каналотвірники для подальшої зачеканки термопар. Підготовлені також куби і призми для визначення фізико-механічних характеристик бетону. Результати дослідження міцності і деформаційних властивостей бетонів досліджені в роботі [10].

**Установка для випробування фрагментів залізобетонних фундаментів при статичній навантаженні і нагріві.** Розроблена і виготовлена установка для випробування залізобетонних фрагментів коксових батарей в вигляді борів (фрагмента №1 з футеровкою шамотним кирпичем і фрагмента №2 – без футеровки).

Установка для испытания железобетонных фундаментов коксовых батарей на прочность и деформативность при статической нагрузке и нагревании содержит образец, выполненный в виде монолитного железобетонного фрагмента плоской плиты высотой 2180 мм, шириной 2940 мм, толщиной 250 мм, которая прорезана бором с цилиндрическим сводом высотой 1680 мм, шириной 1940 мм. Образец закрепляется снизу в

силовой пол испытательного зала с помощью болтов и стальных закладных деталей.

Сверху и с торцов образец обрамляет П-образная силовая металлическая рама для создания вертикальной нагрузки (рис. 1), в нижней части проема бора размещается электрический нагреватель. По данным Гипрококса, температура отработанных газов в борове составляет 360-400 °С.



Рис. 1. Фрагмент №1 в виде бора с футеровкой шамотным кирпичом и силовая металлическая рама для создания вертикальной нагрузки

Для создания двумерного температурного поля в образце выполнены раздвижные рамы с теплоизолятором жаростойкими матами из минеральной ваты Рагос, которые при исследовании влияния нагрева или при совместном воздействии температуры и нагрузки плотно придвигаются к задней и передней поверхностям образца, препятствуя образованию тепловых потоков по толщине образца (рис. 2).

**Проведение испытания образцов-фрагментов фундаментов коксовых батарей. Железобетонный фрагмент**

**фундамента №1 с футеровкой бора.** Для ввода коксовых батарей в эксплуатацию предусмотрена процедура сушки кладки коксовых печей и фундаментов. При проведении эксперимента на двух моделях фрагментов фундаментов также проводилась их сушка. При этом до установки измерительных приборов проводилась теплоизоляция образцов, включались электрические нагреватели и проводилась сушка образцов с соблюдением скорости нагрева 150 °С/ч до заданной температуры не выше 300 °С. При этом фиксировались температуры по

45 термопарам, установленным по середине толщины железобетонной плиты, и по 2 термопарам в воздушном пространстве борова. Размещение термопар и результаты

распределения температуры для одного из вариантов температурных воздействий показаны на рис. 3.



Рис. 2. Раздвижные рамы с теплоизолятором - матами из минеральной ваты для создания двумерного температурного поля в образце

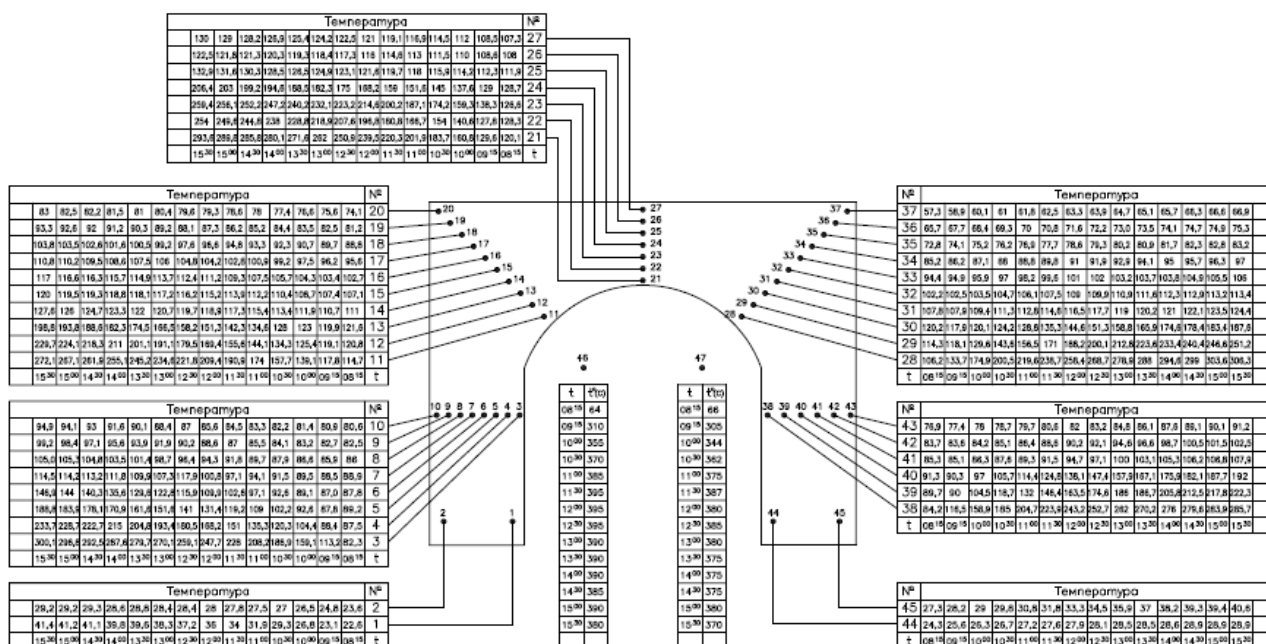


Рис. 3. Схема расстановки термопар в железобетонном фрагменте фундамента №1 с футеровкой борова

Для испытания статической нагрузкой после нагрева снималась раздвижная рама с утеплителем передней поверхности образца, расставлялись измерительные приборы по схеме (рис. 4), домкраты с

распределительными траверсами на верхнюю поверхность образца и прикладывалась нагрузка путем закачивания масла в домкраты с помощью насосной станции.

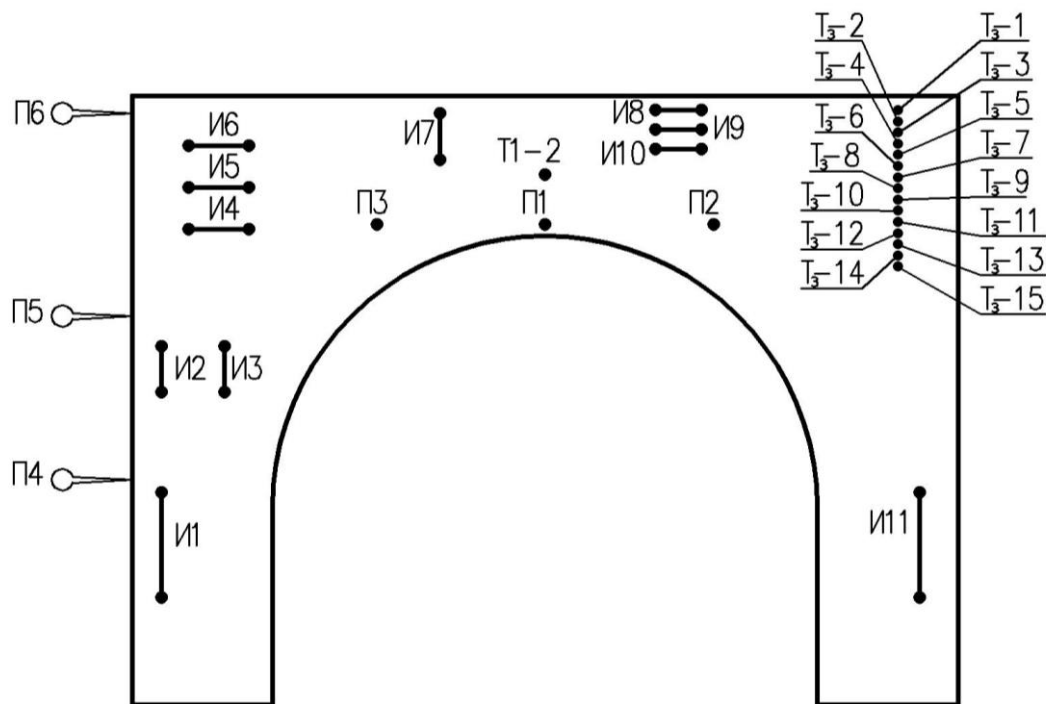


Рис. 4. Схема расстановки индикаторных тензодатчиков И1-И11 на бетон, рычажных тензодатчиков Т1-Т2 на верхней и нижней арматуре, тензодатчиков Тз<sub>1</sub> - Тз<sub>15</sub> на бетон и прогибомеров П1-П6 в фрагменте фундамента №1

Нагрузка прикладывается пошагово по 1,5 т/п.м до максимально заданного уровня 13,5 т/п.м (рис. 5), что соответствует заданию Гипрококса. На каждом шаге замерялись относительные деформации по всем тензодатчикам и перемещения по прогибомерам. При нагрузке 12 т/п.м была зафиксирована трещина посередине арки бруса, которая перерезала футеровку и дошла до половины железобетонной части (верхний рычажный тензодатчик Т2 на базе 50 мм показал деформации сжатия  $\varepsilon_s = 0,0006$ ; нижний тензодатчик Т1, который стоял на арматуре вблизи границы с футеровкой, по-

казал деформации растяжения  $\varepsilon_s = 0,001$ ). На рис. 7 показан общий вид трещины.

Верхняя часть образца прогнулась вниз (П1=0,85 мм, П2=0,64 мм, П3=0,56 мм) при нагрузке 12 т/п.м и при максимальной нагрузке 13,5 т/п.м – (П1 = 1 мм, П2 = 0,79 мм, П3 = 0,64 мм). Боковые прогибомеры показали при нагрузке 12 т/п.м - (П4 = 0,11 мм, П5 = -0,04 мм, П5 = -1,32 мм); при максимальной нагрузке 13,5 т/п.м - (П4 = 0,13 мм, П5 = -0,03 мм, П5 = -1,36 мм).

Тензорезисторы (рис. 6) показали очень малые деформации, однако, можно было выявить положительные и отрицательные значения (Тз1-Тз5 +), (Тз6-Тз11 -), (Тз12-Тз15 ±).





Рис. 5. Загрузка фрагмента фундамента №1 с футеровкой борова



Рис. 6. Комплект тензостанции

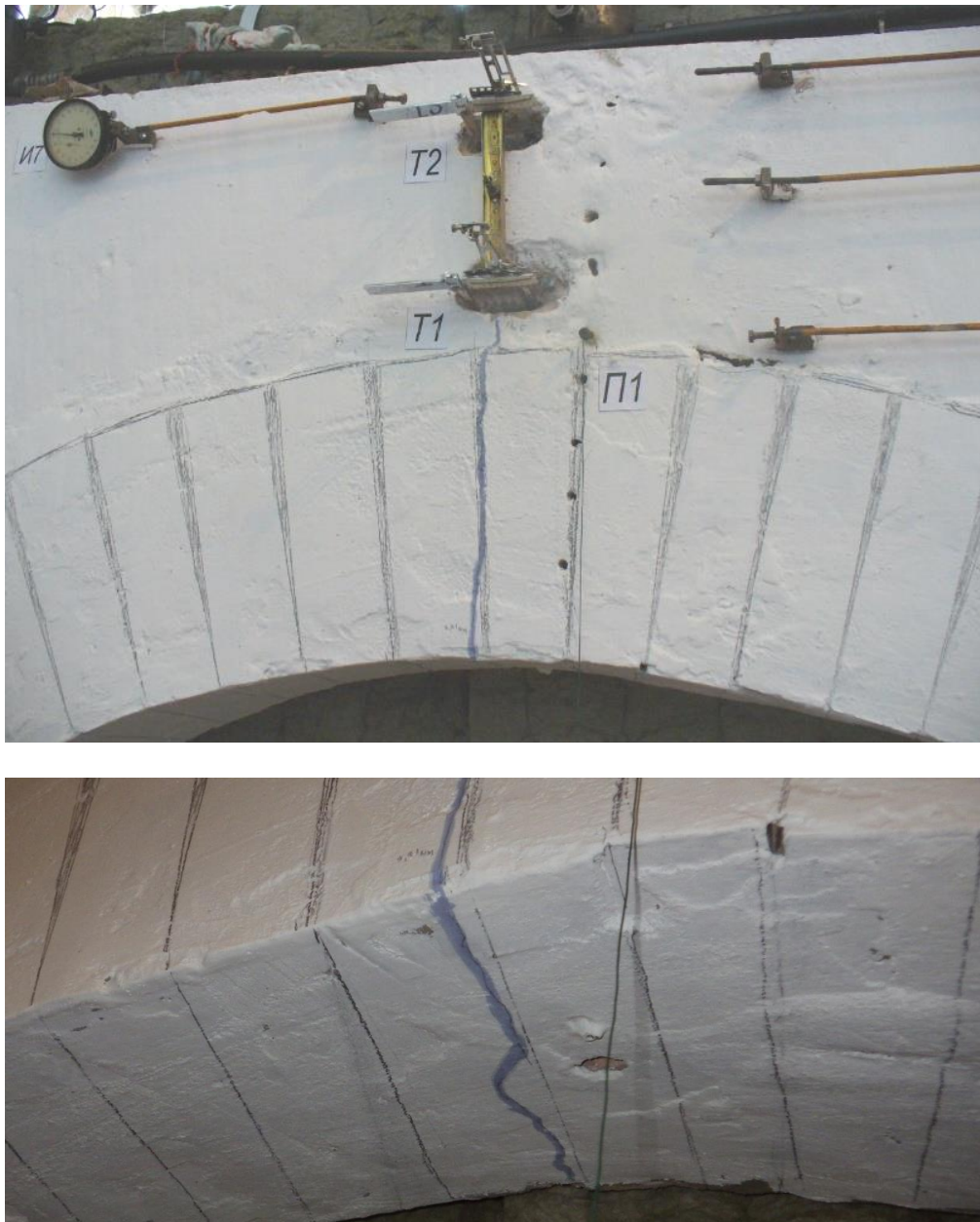


Рис. 7. Установка рычажных тензометров Т1 и Т2 и появление трещины в нижней части фрагмента железобетонного борава №1 и в футеровке

**Железобетонный фрагмент фундамента №2 без футеровки борава.** Результаты проведенных исследований железобетонного фрагмента фундамента №1 с футеровкой борава позволили упростить исследования фрагмента фундамента №2 без футеровки. Уменьшили количество индикаторных тензометров до

пяти И1-И5, отменили тензодатчики, без изменения оставили рычажные тензометры Т1 и Т2 на верхней и нижней арматуры (рис. 9) и прогибомеры П1-П6 в железобетонном фрагменте.

Схема расстановки измерительных приборов показана на рис. 8.





Рис. 8. Расстановка индикаторных тензметров И1-И5 на бетон, рычажных тензметров Т1-Т2 на верхней и нижней арматуре и прогибомеров П1-П6 в железобетонном фрагменте фундамента №2 без футеровки борава



Рис. 9. Установка рычажных тензметров Т1-Т2 на верхней и нижней арматуре



Как и для фрагмента фундамента №1 с футеровкой бора нагрузка прикладывалась пошагово 1,5 т/п.м до максимально заданной 13,5 т/п.м. На каждом шаге измерялись относительные деформации по всем тензOMETрам и перемещения по прогибомерам.

При нагрузке 6 т/п.м появились радиальные волосяные трещины, которые показаны на рис. 10 и схеме на рис. 11. Ширина раскрытия трещин не превысила 0.1 мм.



Рис. 10. Появление трещин на нижнем контуре арочного свода бора

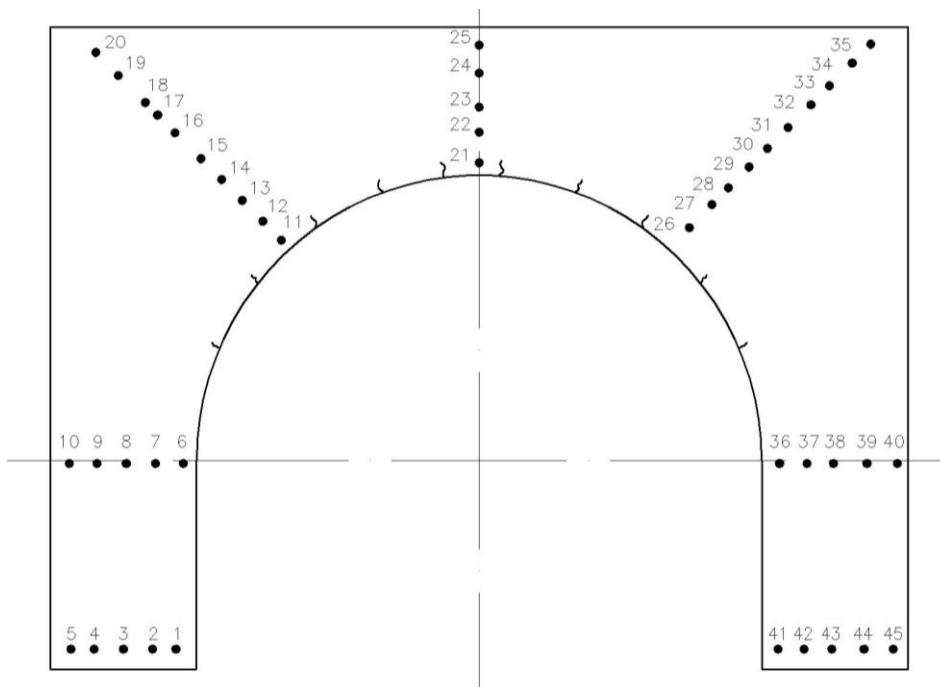


Рис. 11. Схема трещин на нижнем контуре арочного свода бора

При нагрузке 13,5 т/п.м была зафиксирована трещина посередине арки борова, которая дошла до 50 мм железобетонной части (верхний рычажный тензометр T2 на базе 50 мм показал деформации сжатия  $\varepsilon_c = 0,003$ ; нижний T1, который стоял на арматуре вблизи внутренней границы борова, показал деформации растяжения  $\varepsilon_c = -0,0002$ ).

Верхняя часть образцов прогнулась вниз (П1 = 0,59 мм, П2 = 0,38 мм, П3 = 1,71 мм) при максимальной нагрузке 13,5 т/п.м. Боковые прогибомеры показали при максимальной нагрузке 13,5 т/п.м – (П4 = 0,02 мм, П5 = 0,0023 мм, П5 = 0,0022 мм).

Результаты измерений деформаций по индикаторным тензомерам показали очень малые деформации, однако можно было выявить положительные и отрицательные значения: (И1 +), (И2 = 0), (И3 -), (И4 = 0), (И5 ±).

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

1. Разработана методика проведения экспериментальных исследований железобетонных фрагментов фундаментов коксовых батарей с боковым подводом отопительного газа при статической загрузке и нагревании.

2. Разработана и выполнена новая установка для проведения огневых испытаний, опытные образцы, моделирующие фрагменты фундамента в натуральную величину.

3. Полученные результаты экспериментальных исследований выявили ряд новых особенностей работы железобетонных конструкций.

Экспериментально доказан факт наличия в нижних частях арочных перемычек растягивающих, а в верхних – сжимающих напряжений. Этот эффект был обнаружен при численном моделировании с применением рамной схемы во всех пяти пролетах, а также при расчетах с применением плоской и объемной модели. В первом и во втором фрагментах фундамента появлялись сквозные трещины в нижней части фрагмента железобетонного борова.

Это позволило усовершенствовать характер армирования, доказать целесообразность конструктивных решений фундаментов из жаростойкого бетона без футеровки бороров [11].

4. Разработаны и внедрены эффективные конструктивные решения фундаментов коксовых батарей с боковым подводом отопительного газа.

#### *Список использованных источников*

1. 98/03564 Technical trends in the redesign and construction of coke oven batteries and units for dry quenching of coke. Fuel and Energy Abstracts. – September 1998. – Volume 39, Issue 5. – Page 336.
2. Input-output nonlinear model of a coke oven battery. Control Applications of Nonlinear Programming and Optimization / C. Bénard, S. Berekdar, C. Duhamel, M.-M. Rosset. – 1989, 1990. – Pages 95-99.
3. CFD analysis of the thermal behaviour of heating walls in a coke oven battery. International Journal of Thermal Sciences / Jacek Smolka, Lukasz Slupik, Adam Fic, Andrzej J. Nowak, Ludwik Kosyrzyk. – June 2015. – Volume 104. – Pages 186-193.
4. Slab heat loss calculation with non-uniform inside air temperature profiles. Energy Conversion and Management / Sangho Choi, Moncef Krarti. – September 1996. – Volume 37, Issue 9. – Pages 1435-1444.

5. Продление срока службы коксовых батарей. По материалам IV Европейского конгресса по коксохимическому и доменному производствам [Текст] // Кокс и химия. – 2001. – № 4. – С. 21-25.

6. Гитман, Г. Ф. Прочность жаростойкого бетона на сжатие при нагреве [Текст] / Г.Ф. Гитман, Т.Н. Малкина, А.Ф. Милованов // Жаростойкий бетон и железобетон и области их эффективного применения в строительстве / НИИ бетона и железобетона (НИИЖБ) Госстроя СССР, Волгоградский институт инженеров городского хозяйства. – Волгоград: ВИИГХ, 1969. – 242 с.

7. Десов, А.Е. Кубиковая и призмная прочность бетона при повышенных температурах. Бетоны для атомных реакторов. Т. II. Американский институт бетона. Специальная публикация SP-34 [Текст] / А.Е. Десов, К.Д. Некрасов, А.Ф. Милованов. – Детройт–Мичиган, 1972. – С.423-434.

8. Милованов, А. Ф. Жаростойкий железобетон. [Текст] / А.Ф. Милованов. – М.: Госстройиздат, 1963. – 235 с.

9. Фомин, С.Л. Модернизированная рамная модель расчета коксовых батарей с боковым подводом отопительного газа [Текст]: тези за матеріалами VII Міжнародної наукової конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд» / С.Л. Фомин, А.М. Кравченко. – Харків: ХНУБА, 2015. – С. 149-151.

10. Кравченко, А. М. Экспериментальная модель фрагмента коксовых батарей [Текст] / А.М. Кравченко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2016. – Вип. 1(83). – С. 134-138.

11. Фомин, С. Л. Температурные поля в конструкциях фундаментов коксовых батарей [Текст] / С.Л. Фомин, А.М. Кравченко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2013. – Вип. 73. – С. 436-444.

---

Фомин Станіслав Леонідович, д-р техн. наук, професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (057) 700-01-63. E-mail: Sfomin@ukr.net.

Кравченко Олександр Михайлович, здобувач наукового ступеню кандидата технічних наук кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій Харківського національного університету будівництва та архітектури. Заступник директора ДП «ГИПРОКОКС». Тел.: (057) 719-22-96. E-mail: kravchenko@giprokoks.com.

Fomin Stanislav Leonidovich. Dr. Sc., professor of chair of concrete and masonry structures at Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057) 700-01-63. E-mail: Sfomin@ukr.net.

Kravchenko Alexander Michailovich applicant for scientific degree of candidate of technical sciences at chair of concrete and masonry structures in Kharkiv National University of Construction and Architecture. Deputy Director of SE "GIPROKOKS" Tel.: (057) 719-22-96. E-mail: kravchenko@giprokoks.com.

Стаття прийнята 08.06.2016 р.

УДК 656.073.235

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ КОНТЕЙНЕРНОЇ ПЛОЩАДКИ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ГРАФІВ

Д-р техн. наук Є. С. Альошинський, канд. техн. наук А. О. Ковальов,  
магістрант О. І. Іванюк

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ КОНТЕЙНЕРНОЙ ПЛОЩАДКИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Д-р техн. наук Е. С. Алёшинский, канд. техн. наук А. А. Ковалёв,  
магистрант А. И. Иванюк

## IMPROVEMENT OF CONTAINER YARD OPERATION TECHNOLOGY BASED ON GRAPH THEORY

Doct. of techn. sciences E. Alyoshinsky, cand. of techn. sciences A. Kovalov,  
master student O. Ivaniuk

*Розглянуто технологічний процес обробки контейнерних потоків на вантажних станціях. На основі теорії графів побудовано математичну модель, що описує процес роботи козлового крана на контейнерній площадці. Виходячи з математичної моделі, запропоновано оптимізаційну задачу, розв'язання якої дає змогу раціоналізувати переміщення козлового крана на контейнерній площадці за обраним критерієм.*

**Ключові слова:** контейнерні перевезення, залізнична інфраструктура, контейнерна площада, раціоналізація роботи, теорія графів.

*Рассмотрен технологический процесс обработки контейнерных потоков на грузовых станциях. На основе теории графов построена математическая модель, описывающая процесс работы козлового крана на контейнерной площадке. Исходя из математической модели, предложена оптимизационная задача, решение которой позволяет рационализировать перемещение козлового крана на контейнерной площадке по выбранному критерию.*

**Ключевые слова:** контейнерные перевозки, железнодорожная инфраструктура, контейнерная площадка, рационализация работы, теория графов.

*Analyzed the feasibility of railway infrastructure development for the container flows processing. Considered the technological process of processing containers at freight stations. Proposed the mathematical model that describes the container yard operation technology based on the methods of graph theory. Formulated optimization problem, based on the proposed mathematical model, the solution of which will allow to optimize the movement of the gantry crane on the container yard, in the processing of container flows. As an optimality criteria is proposed gantry crane's runs, the time and energy to move. There is the possibility of formulating a multicriterial optimization problem, based on the proposed model. In the future, possible to use the presented model as a basis for the development container yard employee's workstation, through the establishment of appropriate decision support system.*

**Keywords:** container shipping, railway infrastructure, container yard, work rationalization, graph theory.

**Вступ.** Вигідне географічне розташування дає Україні значний потенціал для розвитку економіки. Міжнародні вантажопотоки з країн Азії до країн Європи мають тенденцію до зростання з кожним роком. Обмежена пропускна спроможність країн-транзитерів, значні витрати на перевезення змушують виробників шукати нові шляхи надходження вантажів до споживачів. Задача України полягає в удосконаленні технології обробки вантажопотоків для розвитку свого транзитного потенціалу [1].

Незважаючи на тимчасово негативну динаміку зміни обсягів вітчизняних залізничних перевезень останніми роками, частка вантажів, що перевозяться в контейнерах, поступово зростає. Така тенденція вимагає розвитку контейнерних перевезень з метою підвищення ефективності роботи залізниць.

Важливим етапом контейнерних перевезень є процес навантаження-вивантаження контейнерів на контейнерних площадках. Цей етап є енерго- та часовитратним, проходить під впливом сезонних коливань та нерівномірностей. Наявність визначених факторів обумовлює необхідність створення нових і розвитку існуючих способів планування та управління роботою контейнерних площадок, що дають можливість раціоналізувати використання навантажувально-розвантажувальних пристроїв і зменшити непродуктивні простой транспортних засобів.

**Аналіз попередніх досліджень.** Технологія роботи контейнерних площадок, як невід'ємна частина процесу обробки контейнерних потоків, розглядається у роботах [2, 3, 4, 5]. Але в цих дослідженнях недостатньо уваги приділено питанню удосконалення технології роботи навантажувально-розвантажувальних пристроїв на контейнерній площадці.

Доцільність удосконалення технології роботи козлового крана на контейнерній площадці доводиться у дослідженнях [6, 7].

Слід більше уваги зосередити на специфіці роботи навантажувально-розвантажувального пристрою саме на залізничній контейнерній площадці.

У роботі [8] використано генетичні алгоритми для раціоналізації роботи козлового крана на контейнерному терміналі.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є розроблення математичної моделі, що дасть змогу автоматизувати процес формування плану навантажувально-розвантажувальної роботи козлового крана.

**Основна частина дослідження.** Контейнерні площадки, як правило, складаються з території, що відведена під короткотермінове зберігання контейнерів, навантажувально-розвантажувального пристрою – козлового крана (далі – кран) та підкранових колій (рис. 1) [9]. Площадки розділені на ділянки та секції, кожна з яких спеціалізована під окремий тип контейнерів. Підкранові колії розташовані вздовж площадки. Паралельно до однієї з підкранових колій розташовано залізничну колію для подавання-забирання вагонів. Кран у процесі переміщення по площадці виконує навантаження-розвантаження контейнерів на рухомий склад.

Множину варіантів переміщення крана можна зобразити у вигляді зваженого двочасткового орієнтованого графа  $G = (V = (W \cup U), E)$  (рис. 2). Множина вершин графа  $V$  – це загальна кількість точок простору  $p$ , в яких кран здійснює забирання-встановлення контейнера. Перша частка графа  $W \subset V$  – множина з  $n$  контейнерів, що надійшли під розвантаження, друга частка графа  $U \subset V$  – множина з  $(p - n)$  контейнерних місць на площадці. Множині дуг графа  $E$  поставлено у відповідність ваги  $e_{i,j}$ , що характеризують переміщення крана з  $i$ -ї точки простору у  $j$ -ту, відповідно до обраного критерію (відстань переміщення, витрати часу або енергії на переміщення). Відповідно до властивості двочастковості, дуги з'єднують вершини, що містяться у різних частках графа [10].



Рис. 1. Спрощена схема контейнерної площадки

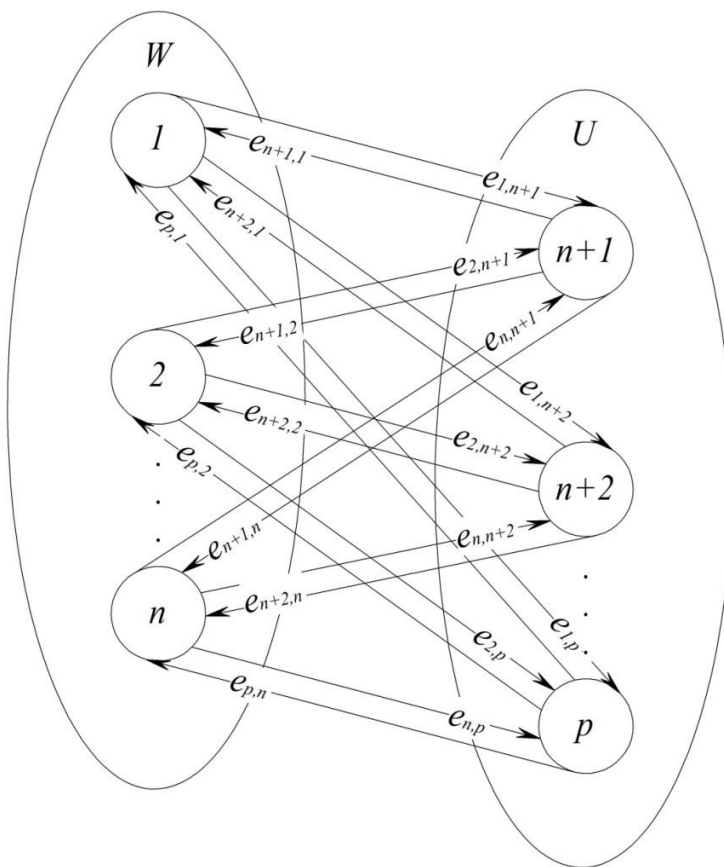


Рис. 2. Зважений двочастковий граф множини варіантів переміщення крана

Виходячи з поставленої задачі та її графового опису, процес раціоналізації роботи крана зводиться до пошуку маршруту мінімальної довжини на графі, що включає усі вершини першої частки  $W \subset V$ . В математичному вигляді маємо

оптимізаційну задачу з цільовою функцією (1) та системою обмежень (2) [11].

$$X(x_{i,j}) = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p x_{i,j} \cdot e_{i,j} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\begin{cases} p \geq 2n; \\ x_{i,j} = \{0; 1\}; \\ x_{i,j} = \begin{cases} 0, \text{ якщо перехід з } i \text{ в } j \text{ не включається;} \\ 1, \text{ якщо перехід з } i \text{ в } j \text{ включається;} \end{cases} \\ \sum_{i=1}^p x_{i,j} = 1, \forall j = \overline{1, p}; \\ \sum_{j=1}^p x_{i,j} = 1, \forall i = \overline{1, p}; \\ u_i - u_j + 2n \cdot x_{i,j} \leq 2n - 1, (i = \overline{1, p}, j = \overline{1, p}); \end{cases} \quad (2)$$

де  $x_{i,j}$  – булева змінна;

$e_{i,j}$  – вага дуги графа, що з'єднує вершини  $i$  та  $j$ ;

$u_i, u_j$  – змінні, які набувають значення порядкових номерів вершин.

Розв'язанням поставленої задачі є матриця-вектор  $X^* = (x_{i,j}^*) (i = \overline{1, p}; j = \overline{1, p})$ , яка задовольняє умови (2) і при якій цільова функція (1) набуває найменшого значення [11].

Для розв'язання поставленої оптимізаційної задачі необхідно сформулювати матрицю суміжності зваженого двочасткового графа  $(e_{i,j})$  (3). Матриця складається з елементів, що відповідають вагам дуг графа  $e_{i,j}$ . Забороненим переходам (між вершинами однієї частки або між невідповідними одна одній вершинами через спеціалізацію ділянок та секцій площадки) в матриці суміжності приписується вага  $\infty$ .

$$(e_{i,j}) = \begin{pmatrix} \infty & \infty & \dots & \infty & e_{1,n+1} & e_{1,n+2} & \dots & e_{1,p} \\ \infty & \infty & \dots & \infty & e_{2,n+1} & e_{2,n+2} & \dots & e_{2,p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \infty & \infty & \dots & \infty & \infty & \infty & \dots & \infty \\ e_{n+1,1} & e_{n+1,2} & \dots & \infty & \infty & \infty & \dots & \infty \\ e_{n+2,1} & e_{n+2,2} & \dots & \infty & \infty & \infty & \dots & \infty \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{p,1} & e_{p,2} & \dots & \infty & \infty & \infty & \dots & \infty \end{pmatrix}. \quad (3)$$

На першому етапі формується матриця  $(l_{i,j})$ , що характеризує пробіги крана. Ця матриця визначається за формулою:

$$(l_{i,j}) = (l_{i,j}^k) + (l_{i,j}^e), \quad (4)$$

де  $(l_{i,j}^k)$  – матриця, елементи якої є відстанями переміщення крана по підкранових коліях;

$(l_{i,j}^e)$  – матриця, елементи якої є відстанями переміщення візка по мосту крана.

Матриці  $(l_{i,j}^k)$  та  $(l_{i,j}^e)$  формуються на основі координат контейнерів на колії подачі (встановлюються на основі інформації про розміщення контейнерів у вагонах і вагонів у подачі) та координат контейнерних місць на площадці шляхом знаходження різниці відповідних координатних складових.

У [9] вказано, що контейнери, які вивантажуються з вагонів, доцільно встановлювати на найближче до вагона вільне місце, тобто за критерій приймається мінімум пробігів крана, без декомпозиції переміщень крана на складові. Рационалізація роботи крана з дотриманням наведеної рекомендації досягається при розв'язанні оптимізаційної задачі (1), коли  $(e_{i,j}) = (l_{i,j})$ .

З нормативних документів [12] встановлено, що швидкості переміщення візка по мосту та крана по підкранових коліях відрізняються. З метою мінімізації часу навантаження-розвантаження вагонів, як ваги двочасткового графа доцільно використовувати час на переміщення контейнера замість відстаней. У цьому випадку необхідно сформувати матрицю суміжності  $(t_{i,j})$ , елементами якої є час на переміщення контейнера від вершини  $i$  до вершини  $j$ . Ця матриця визначається за формулою:

$$(t_{i,j}) = v_k \cdot (l_{i,j}^k) + v_e \cdot (l_{i,j}^e), \quad (5)$$

де  $v_k$  – швидкість переміщення крана по підкранових коліях;

$v_e$  – швидкість переміщення візка по мосту крана.

Аналізуючи роботу крана можна встановити, що витрати енергії на переміщення крана по підкранових коліях та візка по мосту крана відрізняються. Оптимізуючи витрати енергії на переміщення, необхідно сформувати матрицю суміжності  $(c_{i,j})$  за формулою:

$$(c_{i,j}) = \sigma_k \cdot (l_{i,j}^k) + \sigma_e \cdot (l_{i,j}^e), \quad (6)$$

де  $\sigma_k$  – витрати енергії на переміщення крана по підкранових коліях;

$\sigma_e$  – витрати енергії на переміщення візка по мосту крана.

На основі трьох наведених матриць, які базуються на запропонованих критеріях, доцільно в подальшому сформувати багатокритеріальну оптимізаційну задачу, що дасть змогу комплексно рационалізувати роботу крана.

**Висновки.** Запропонована математична модель дає можливість рационалізувати роботу контейнерної площадки шляхом формалізації процесу формування плану роботи козлового крана.

Зважаючи на велику розмірність сформульованої задачі, розв'язання доцільно виконувати за допомогою ЕОМ з використанням кластерного аналізу та стохастичних методів оптимізації (мурашиний алгоритм, алгоритм імітації відпалу, генетичний алгоритм).

На базі моделі, в подальшому, можливе удосконалення автоматизованого робочого місця прийомоздавальника вантажу контейнерного пункту шляхом створення додаткової системи підтримки прийняття рішень (СППР).



*Список використаних джерел*

1. Іванюк, О. І. Створення інтегрованого інформаційного простору з метою управління ланцюгами постачань. Я бачу так! [Текст] / О.І. Іванюк, Є.С. Альошинський // Студентська науково-дослідна робота. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 28 с.
2. Альошинський, Є. С. Розробка моделі функціонування пунктів переробки контейнерних вантажів з використанням мереж Петрі [Текст] / Є. С. Альошинський, Д. В. Ломотко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2008. – №1/2(31). – С. 29-31.
3. Ковальов, А. О. Удосконалення технології переробки контейнерів на станції за допомогою ПЕОМ [Текст] / А.О. Ковальов, О.О. Нестеренко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 140. – С. 9-13.
4. Carlo, H.J. Storage yard operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions [Text] / H.J. Carlo, I.F.A. Vis, K.J. Roodbergen // European journal of operational research. – 2014, Jun. – Vol. 235, № 2. – P. 412-430.
5. Carlo, H.J. Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme [Text] / H.J. Carlo, I.F.A. Vis, K.J. Roodbergen // European journal of operational research. – 2014, Jul. – Vol. 236, № 1. – P. 1-13.
6. Wang, L. Rail mounted gantry crane scheduling optimization in railway container terminal based on hybrid handling mode [Text] / L. Wang, X. Zhu // Computational intelligence and neuroscience. – 2014, Jan. – Vol. 2014, Art. №. 31. – 8 p.
7. Wu, Y. Scheduling multiple yard cranes with crane interference and safety distance requirement [Text] / Y. Wu, W. Li, M.E.H. Petering, [et al] // Transportation Science. – 2015. – Vol. 49, №. 4. – P. 990-1005.
8. Guo, P. Gantry crane scheduling with interference constraints in railway container terminals [Text] / P. Guo, W. Chenga, Z. Zhanga [et al] // International Journal of computational intelligence systems. – 2013. – Vol. 6, № 2. – P. 244-260
9. Смахов, А. А. Управление грузовой и коммерческой работой на железнодорожном транспорте [Текст] : учебн. для вузов / А.А. Смахов, В.В. Повороженко, А.Т. Дерibas и др.; под ред. А.А. Смахова. – М. : Транспорт, 1990. – 351 с.
10. Трохимчук, Р. М. Теорія графів [Текст] : навч. посібник для студентів факультету кібернетики / Р. М. Трохимчук. – К. : РВЦ «Київський університет», 1998. – 43 с.
11. Наконечний, С. І. Математичне програмування [Текст] : навч. посібник / С. І. Наконечний, С. С. Савіна. – К. : КНЕУ, 2003. – 452 с.
12. ГОСТ 7352-88. Краны козловые электрические. Типы [Текст]. – Введ. 1990-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 14 с.

---

Альошинський Євген Семенович, доктор технічних наук, професор, кафедра транспортних систем та логістики, Український державний університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-55. E-mail: aesevgeny@gmail.com.

Ковальов Антон Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85. E-mail: kovalovanton1979@gmail.com.

Іванюк Олександр Ігорович, магістрант, кафедра управління вантажною і комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: ivaniuk.alex94@gmail.com.

Alyoshinsky Evgeny, doctor of technical sciences, professor, department of transport systems and logistics, Ukrainian state university of railway transport. Tel.: (057) 730-19-55. E-mail: aesevgeny@gmail.com.

Kovalov Anton, candidate of technical sciences, assistant professor, department of management of freight and commercial work, Ukrainian state university of railway transport. Tel.: (057) 730-10-85. E-mail: kovalovanton1979@gmail.com.

Ivaniuk Oleksandr, master student, department of management of freight and commercial work, Ukrainian state university of railway transport. E-mail: ivaniuk.alex94@gmail.com.

Стаття прийнята 14.06.2016 р.

УДК 625.031

## ПЛАНУВАННЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ ТА ОБСЯГІВ КОЛІЙНИХ РОБІТ НА ПІДСТАВІ ДАНИХ ВАГОНІВ-КОЛІЄВИМІРЮВАЧІВ

Кандидати техн. наук Д. О. Потапов, В. Г. Вітольберг, магістрант О. В. Падалка

## ПЛАНИРОВАНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ И ОБЪЕМОВ ПУТЕВЫХ РАБОТ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ ВАГОНОВ ПУТЕИЗМЕРИТЕЛЕЙ

Кандидаты техн. наук Д. А. Потапов, В. Г. Витольберг, магистрант А. В. Падалка

## PLANNING INTERVALS AND SCOPE TRACK WORKS BASED ON DATA FROM CARS TRACK GEOMETRY CAR

PhD, Associated Professor D.O. Potapov, V.G. Vitolberg, mag. O.V. Padalka

*Запропонована методика для визначення обсягів та періодичності проведення планово-попереджувальних колійних робіт з поточного утримання колії. В основу методики закладено використання закону нормального розподілу частоти та глибини відповідної геометричної нерівності залізничної колії.*

**Ключові слова:** залізнична колія, вагон-колівимірник, поточне утримання.

*Предложена методика для определения объемов и периодичности проведения планово-предупредительных путевых работ по текущему содержанию. В основе методики лежит использование нормального закона распределения частоты и глубины соответствующей геометрической неровности железнодорожного пути.*

**Ключевые слова:** железнодорожный путь, вагон-путеизмеритель, текущее содержание.

*The frequency and volume of planned - preventive work depends on many factors: the type and structure of the upper structure, plan and profile of the way, the quality of track, operational, climatic and topographic conditions. At the same time for each type of work, these factors influence differently. Besides the factors are unstable and path length. Therefore, under different operating conditions the frequency and volume of track works on the current maintenance of different ways.*

*Because the current in the regulatory, technical and domestic scientific sources there are no requirements for areas of high-speed traffic on the railways of Ukraine, there is a problem in monitoring the state of the path to the data of operating conditions.*

*The method for determining the volume and frequency of the planned preventive works on current travel content. The method is based on the use of the normal law of frequency distribution and the depth of the respective geometrical irregularities of the railway track. The maximum effect of the proposed method can be achieved through the use of modern-track geometry car wagons with an automated system to collect and decode the information, which the vast majority are used in areas of high-speed movement.*

**Keywords:** railway track, train-track geometry car, the track maintenance.

**Вступ.** Системою ведення колійного господарства передбачається періодична перевірка стану залізничної колії вагонами-

колівимірниками. Колівимірний вагон забезпечує вимірювання і реєстрацію на стрічці геометричних параметрів

рейкової колії, які впливають на плавність на безпеку руху поїздів. До параметрів стану рейкової колії, що вимірюються і реєструються колісвимірниками, належать: взаємне положення рейкових ниток за висотою (рівнем), місцеві осідання (горби і западини) кожної рейкової нитки, ширина колії, положення рейкових ниток за напрямком у плані.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Періодичність та обсяги планово-попереджувальних робіт залежать від багатьох факторів [10]: типу і конструкції верхньої будови, плану та профілю колії, якості утримання колії, експлуатаційних, кліматичних та топографічних умов. При цьому на кожний вид робіт ці фактори впливають по-різному. Крім цього самі фактори непостійні і по довжині колії. Тому при різних умовах експлуатації періодичність та обсяги колійних робіт з поточного утримання колії різні.

Оскільки, згідно з [1-3], на даний час в нормативно-технічних та вітчизняних наукових джерелах відсутні вимоги щодо ділянок швидкісного руху на залізницях України, виникає проблема в організації контролю за станом колії в даних експлуатаційних умовах.

**Визначення мети та задачі досліджень.** Метою статті є запропонувати методику, згідно з якою з'явиться можливість прогнозувати зміну стану основних геометричних характеристик рейкової колії, що в подальшому дозволить раціонально планувати терміни проведення колійних робіт з поточного утримання, особливо на перспективних ділянках впровадження швидкісного руху.

**Основна частина.** Згідно з [1-3], в основу оцінки геометричного положення рейкової колії покладено вплив відступів від норм утримання на динамічні показники взаємодії колії і рухомого складу.

Кожний відступ має свій ступінь впливу на динамічну взаємодію колії і

рухомого складу та на інтенсивність накопичень залишкових деформацій колії. Встановлено п'ять ступенів для всіх відступів від норм утримання рейкової колії залежно від їхньої величини і довжини. Залежно від ступеня кожний відступ оцінюється в балах.

До I-III ступенів належать відступи, при яких забезпечуються безпека і плавність руху поїздів, а також економічно раціональна робота колії під час руху поїздів зі встановленими швидкостями.

До IV ступеня належать відступи, за наявності яких при установлених швидкостях погіршується плавність руху поїздів, що призводить до інтенсивного накопичення залишкових деформацій колії.

До V ступеня належать відступи, за наявності яких зростають сили взаємодії коліс і рухомого складу до таких критичних значень, які за несприятливих умов можуть призвести до дуже швидкого накопичення деформацій і до виникнення загрози безпеки руху. За відступи II-V ступенів нараховуються штрафні бали.

У зв'язку з підвищеним динамічним впливом [7, 8] рухомого складу на колію в місцях відступів V ступеня, а також при сполученнях кількох відступів III-V ступенів (перекосів, осідань, відступів в плані) при виявленні таких місць необхідно негайно вжити заходів щодо їх усунення.

Відомо [4, 5], що після виконання ремонтних робіт залізнична колія у вертикальній та горизонтальній площині являє собою нерівність з різною величиною довжини і глибини. В основу методики закладено підпорядкованість закону розподілу геометричних нерівностей нормальному закону розподілу із середнім значенням  $H$  та середньоквадратичним відхиленням  $\sigma$ .

Згідно з [6], середнє значення статистично можна визначити так:

$$H = \frac{h_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (1)$$

де  $h_i$  - відповідна геометрична нерівність залізничної колії;

$n_i$  - частота нерівності.

Середньоквадратичне відхилення можна визначити так:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(h_i - H)^2 \cdot n_i}{n_i}} \quad (2)$$

На початковій стадії своєї роботи нерівності колії будуть знаходитись у межах встановлених норм, як правило,

першого ступеня, із середнім значенням відступу від нормативного значення  $-H_0$  та середньоквадратичним відхиленням  $-\sigma_0$ .

Під час експлуатації (рис. 1) відбувається поступова зміна зазначених вище двох параметрів геометричних нерівностей залізничної колії. Поступово змінюється середнє значення  $H_0$  та  $\sigma_0$ , і після пропуску певного тоннажу ці два параметри вже будуть знаходитись у межах якогось ступеня несправності, що у свою чергу буде вимагати виконання колійних робіт з усунення цих несправностей.

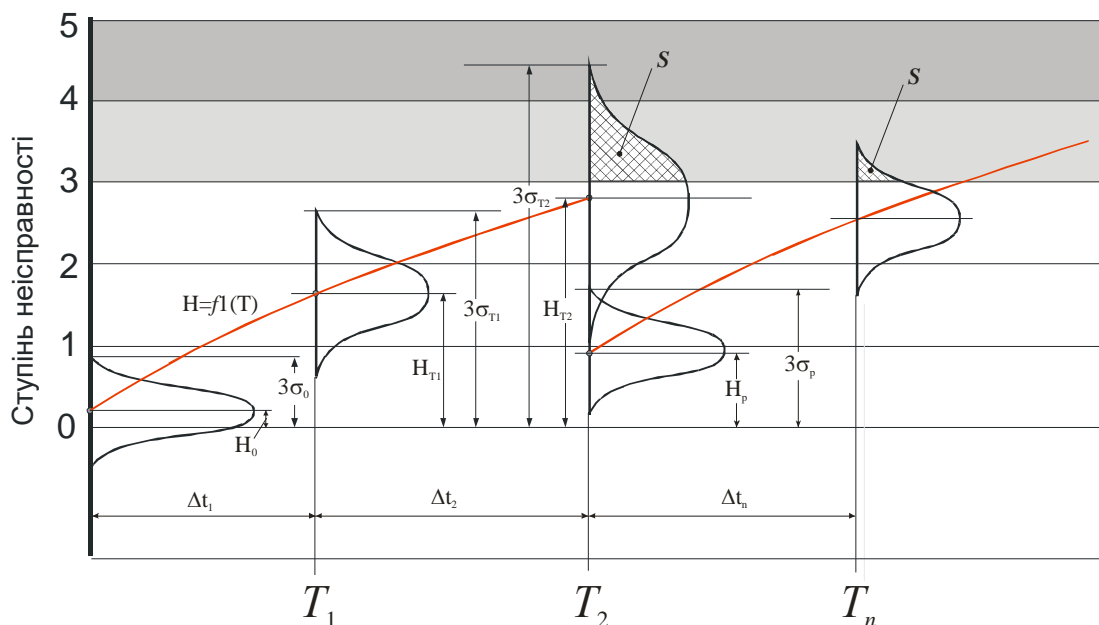


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення обсягів та періодичності проведення колійних робіт з поточного утримання колії

Виходячи з рис. 1 основними критеріями для проведення колійних робіт є наявність несправностей або відступів III ступеня і вище, площа  $S$  – не що інше, як прогнозований обсяг колійних робіт.

Середнє значення  $H$  для будь-якого пропущеного тоннажу можна подати у вигляді виразу

$$H_T = f1(T). \quad (3)$$

Функція  $f(T)$  залежить від багатьох експлуатаційних факторів і, що головне, від виду геометричних нерівностей (положення за рівнем, просадки, ширини колії, рихтування).

Аналогічно можна записати і для середньоквадратичного відхилення

$$\sigma_T = f2(T). \quad (4)$$

Для перспективного планування періодичності виконання та обсягів колійних робіт слід визначати закон зміни середнього значення  $H$  та середньоквадратичного відхилення  $\sigma$  в залежності від пропущеного тоннажу для кожного із геометричних параметра залізничної колії для конкретної ділянки залізничної колії.

Відомо [6, 10], що у загальному вигляді нормальний закон розподілу можна подати так:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma}} \cdot e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2 \cdot \sigma^2}}, \quad (5)$$

де  $\sigma$  - середньоквадратичне відхилення;  
 $\bar{x}$  - середнє значення параметра;  
 $x_i$  - поточне значення параметра.

Спираючись на вирази (1), (2), на підставі даних проходу вагонів-

колієвимірювачів є можливість розрахувати два основних параметри закону нормального розподілу. Наприклад, на рис. 2 наведені криві нормального розподілу за шириною колії для однієї з ділянок Харківської дистанції колії.

Згідно з рис. 1, площа  $S$  являє собою прогнозний обсяг колійних робіт, який можна визначити так:

$$S = \int_{d_{III-IV}}^{H_T + 3 \cdot \sigma_T} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_T}} \cdot e^{-\frac{(h - H_T)^2}{2 \cdot \sigma_T^2}}, \quad (6)$$

де  $d_{III-IV}$  - чисельне значення III ступеня відступу для відповідної геометричної характеристики залізничної колії;

$H_T, \sigma_T$  - поточне значення середнього значення та середньоквадратичного відхилення відповідної геометричної характеристики залізничної колії.

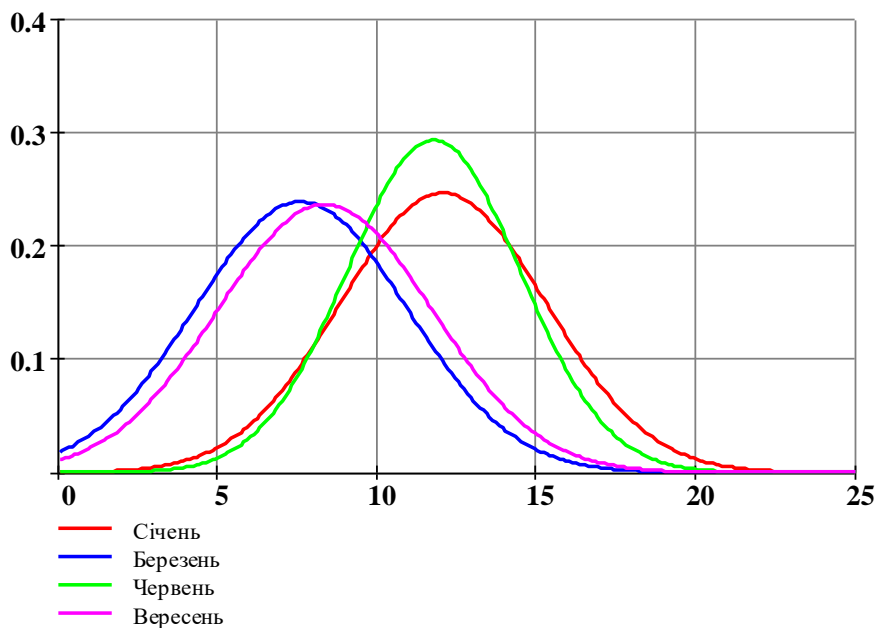


Рис. 2. Криві нормального розподілу ширини колії

Спираючись на отримані залежності середнього значення та середньоквадратичного відхилення від пропущеного

тоннажу для певного проміжку часу, можна записати

$$H_T = H_{T-1} + f_1(T), \quad (7)$$

де  $H_T$  - середнє значення відповідної геометричної нерівності залізничної колії;

$H_{T-1}$  - попереднє середнє значення відповідної геометричної нерівності залізничної колії;

$\Delta T$  - пропущений тоннаж;

аналогічно для середньоквадратичного відхилення

$$\sigma_T = \sigma_{T-1} + f_2(t). \quad (8)$$

Відомо [3], що основним із критеріїв проведення колійних робіт є наявність несправностей III ступеня і вище, а виходячи із забезпечення безпеки руху поїздів зі встановленими швидкостями – відсутність несправностей IV, і, що головне, V ступеня, тобто

$$H_T + 3 \cdot \sigma_T < d_{III}; \quad (9)$$

$$H_T + 3 \cdot \sigma_T < d_{IV}; \quad (10)$$

$$H_T + 3 \cdot \sigma_T < d_V. \quad (11)$$

Формули (9-11) є основними критеріями для визначення періодичності проведення колійних робіт. При перевищенні відповідних граничних значень обсяг колійних робіт можна визначати за формулою (6).

**Висновки з дослідження.** Запропонована методика для прогнозування термінів проведення та обсягів планово-запобіжних колійних робіт з поточного утримання колії. Максимальний ефект від запропонованої методики можливо досягнути за рахунок використання сучасних вагонів-колєсвимірювачів з автоматизованою системою збору та розшифровки інформації, які в переважній більшості використовуються на ділянках швидкісного руху.

### Список використаних джерел

1. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст]. – К.: Транспорт України, 2003.
2. Інструкція з улаштування та утримання колій залізниць України [Текст]. ЦП-0269. – К., 2012.
3. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колєсвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії [Текст] ЦП-0267. – К., 2012.
4. Даніленко, Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом [Текст] : підруч. для вищих навч. закл. (у 2-х т.) / Е.І. Даніленко. – К.: Інперс, 2010. – Т. I. – 528 с.
5. Bogacz R., Konowrocki R. On new effects of wheel-rail interaction //Archive of Applied Mechanics. – 2012. – Т. 82. – №. 10-11. – С. 1313-1323
6. Korn G., Korn T. Mathematical handbook for scientists and engineers [Текст]// McGraw-Hill Book Company, London, 1968.– 832 p.
7. Вериго, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. – М.: Транспорт, 1986. – 599 с.
8. Даренський, О. М. Умови контактування коліс і рейок в горизонтальній площині. Силкові і кінематичні зв'язки екіпажу і колії [Текст] / О. М. Даренський // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 113. – С. 171-177.
9. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України [Текст]: ЦП-0285. – К.: Видавництво ТОВ «Девалта», 2015. – 48 с.

10. Бусленко, Н. П. Метод статических испытаний [Текст] / Н. П. Бусленко, Ю. А. Шрейдер. – М.: ГИФМЛ, 1961. – 216 с.

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

---

Потапов Дмитро Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-60. E-mail. prr-xiit@kart.edu.ua.

Вітольберг Володимир Геннадійович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-60.

Падалка Олександр Валерійович, магістрант ІППК. Тел.: (066) 062-71-79.

Potapov Dmytro Oleksandrovych, PhD, Associated Professor of Track and Track Facilities Department Ukraine State of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-60.

Vitolberg Volodymyr Gennadiyovich PhD, Associated Professor of Track and Track Facilities Department Ukraine State of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-60.

Padalka Oleksandr Master of Training Institute. Tel.: (066) 062-71-79.

Стаття прийнята 15.06.2016 р.

**УДК 625.143.3:620.179**

## **ЗАСОБИ РЕЙКОВОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ДІЛЯНОК ВПРОВАДЖЕННЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ**

**Канд. техн. наук Д. О. Потапов, магістрант В. Т. Сторчай**

## **СРЕДСТВА РЕЛЬСОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ ВНЕДРЕНИЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ**

**Канд. техн. наук Д.А. Потапов, магистрант В. Т. Сторчай**

## **MEANS RAIL TESTING FOR IMPLEMENTATION PROMISING AREAS HIGH-SPEED SERVICE ON UKRAINIAN RAILWAYS**

**PhD, Associated Professor D. O. Potapov, mag. V. T. Storchay**

*Проведено огляд технічних характеристик сучасних засобів рейкової дефектоскопії. Показана доцільність їх використання на ділянках залізниць України, де планується перехід на швидкісний рух.*

**Ключові слова:** рейки, дефекти рейок, рейкова дефектоскопія, швидкісний рух.

*Проведен обзор технических характеристик современных средств рельсовой дефектоскопии. Показана целесообразность их применения на участках железных дорог Украины, где планируется переход на скоростное движение.*

**Ключевые слова:** рельсы, дефекты рельсов, рельсовая дефектоскопия, скоростное движение.

*Since rail is one of the basic sectors of Ukrainian economy among the many ways to improve the functioning of the national rail system occupies a special place the phased introduction of high-speed traffic.*

*The aim of the article is to examine modern rail flaw detection, their technical characteristics that ensure timely detection of defects rails railway track, taking into account the characteristics of the defect in the promising areas of implementation of high-speed traffic.*

*The current system of non-destructive testing at the required level to ensure traffic safety, but requires constant development and improvement, the study of foreign experience and attract qualified staff.*

*Modern means of rail flaw detection, which were reviewed in the article make it possible to ensure reliable and uninterrupted functioning of the promising areas of railway track, which is planned to introduce high-speed traffic on the railways of Ukraine with unconditional ensuring the required level of safety.*

**Keywords** rails, rail defects, rail flaw detection, high-speed traffic.

**Вступ.** Залізничний транспорт являє собою одну із базових галузей національної економіки України. Серед багато численних способів підвищення ефективності функціонування вітчизняної залізничної транспортної системи особливе місце посідає поетапне впровадження швидкісного руху. У зв'язку з цим урядом України у різні роки було затверджено такі програми:

- Концепція впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України від 31.12.2004, №979;

- Комплексна програма оновлення рухомого складу України на 2006-2010 роки;

- Концепція державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки;

- Концепція комплексної програми розвитку залізничного транспорту України на 2007-2020 роки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** По мірі впровадження нового рухомого складу, перспективних конструкцій залізничної колії [11] та об'єктів транспортної інфраструктури, найбільш актуальними постають питання, що пов'язані із забезпеченням безпеки руху. Взаємодія рухомого складу та залізничної колії на ділянках швидкісного руху [10] має суттєві відмінності у порівнянні з іншими, що накладає відбиток на механізми появи та розвитку дефектів та пошкоджень в рейках. Тому в першу чергу існує проблема підбору засобів рейкової

дефектоскопії [7] саме для ділянок, де планується перехід на швидкісний рух. Розв'язання цієї проблеми тісно пов'язане із положеннями вищеперелічених програм.

**Визначення мети та задачі досліджень.** Метою статті є розгляд сучасних засобів рейкової дефектоскопії, їх технічних характеристик, які б забезпечували своєчасне і якісне виявлення дефектних та гостродефектних рейок в колії, з урахуванням особливостей дефектоутворення в рейках на перспективних ділянках швидкісного руху.

**Основна частина.** Рейкова дефектоскопія — одна з частин системи діагностики та моніторингу залізничної інфраструктури. Використання сучасних типів дефектоскопів, які дозволяють здійснювати реєстрацію результатів контролю рейок у комплексі із системою визначення місця знаходження за допомогою GPS, дало можливість суттєво знизити кількість випадків зламів рейок на вітчизняних залізницях протягом останніх років.

Наприклад, система неруйнівного контролю рейок на Південній залізниці відповідно до [7, 8] складається з комплексу засобів дефектоскопії, до якого входять мобільні засоби — вагони-дефектоскопи та знімні дефектоскопи. Загальна кількість рейкових дефектоскопів становить близько 170 одиниць, які обслуговують більш ніж 388 працівників. Протягом 2015 року вагонами-дефектоскопами було перевірено близько 61 тис. км



колії, знімними дефектоскопами перевірено 95 877 км колії, 92 493 стрілочних переводи та 321 003 зварних стики в плітях безстикової колії. У зазначений період було виявлено 620 небезпечних місць, наявність яких у колії могла б призвести до зламів рейок та більш небезпечних наслідків.

Із загальної кількості гостродефектних рейок, що виявлені з початку 2015 року, найбільшу частку становлять дефекти рейок 2-ї групи: дефекти коду 27 (гартувальні тріщини в загартованому шарі металу головки та злами через них) — 117 шт., дефекти коду 21 (поперечні тріщини в головці у вигляді світлих і темних плям і злами через них, унаслідок недостатньої контактної-втомлювальної міцності металу), їх кількість 61 шт. Другими за кількістю є дефекти 3-ї групи, а саме дефекти коду 30Г (горизонтальне розшарування головки через наявність неметалевих включень) — 61 шт. та дефекти коду 37 (горизонтальне

розшарування загартованого шару головки рейки) — 98 шт.

Основними засобами неруйнівного контролю рейок були й залишаються на сьогодні знімні дефектоскопи суцільного контролю. Загальна кількість дефектоскопів цього типу, які щоденно виконують контроль стану рейок, становить більш ніж 100 одиниць. Найсучасніші з тих, що використовуються на Південній залізниці, це дефектоскопи РДМ-22 та УДС2-73.

Двонитковий пересувний дефектоскоп РДМ-22 (рис. 1) призначений для виявлення дефектів рейок за Класифікацією [1] в обох нитках залізничної колії по всій довжині та перерізу рейок, за винятком пір'їв підшви, при суцільному контролі зі швидкістю руху до 4 км/год, а також для вибіркового ручного контролю зварних стиків, окремих перерізів і ділянок рейки, визначення координат виявлених дефектів та їх умовної протяжності [2,3].



Рис. 1. Загальний вигляд дефектоскопа РДМ-22

Дефектоскоп є переносною механізованою системою ультразвукового контролю рейок із використанням луна методу і дзеркально-тіньового методу при контактному способі введення ультразвукових коливань. У дефектоскопі передбачено безперервне документування (реєстрація) результатів контролю у вигляді дефектограм проконтрольованих ділянок,

які реєструються через 1 мм пройденого шляху.

Дефектоскопи серії УДС2-73 випускаються НВФ «УЛЬТРАКОН-СЕРВІС» (м. Київ) (рис. 2), на вітчизняних залізницях експлуатуються з 2004 року і постійно вдосконалюються. Першим вдосконаленням стало додавання до конструкції блоку резонаторів перетворювача з кутом введення ультразвукових коливань

70 градусів. Впровадження нових матеріалів дозволило підвищити зносостійкість п'єзоелектричних перетворювачів при контакті з рейкою. В 2013 році у приладі проведено повне оновлення

електронно-елементної бази і програмного забезпечення, що дозволило підвищити достовірність контролю і надійність системи в цілому.



Рис. 2. Загальний вигляд дефектоскопа УДС2-73

Для забезпечення безпеки руху поїздів і вибору оптимальної періодичності дефектоскопного контролю рейок з метою своєчасного виявлення дефектів контактної

втомлювального походження необхідно знати швидкість росту тріщини  $T_\beta$ , на будь-якій ділянці, млн т брутто.

Значення  $T_\beta$  може бути визначене за формулою

$$T_\beta = (0,04 \cdot M - 0,06 \cdot V + 0,002 \cdot R - 0,0405 \cdot P_{oc} + 10,15), \quad (1)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує наявність термічної обробки рейок;

$\gamma$  – коефіцієнт, що враховує величину інтервалу розвитку поперечної утомленої тріщини від  $F_1$  до  $F_2$  (у відсотках від поперечного перерізу головки рейки), рівний  $\ln \frac{F_2}{F_1}$ ;

$M$  – маса рейки, кг/м;

$V$  – швидкість руху поїздів, км/год;

$R$  – радіус кривої, м;

$P_{oc}$  – статичне осьове навантаження вагонів, кН.

Для спрощення розрахунків можливе використання відповідних номограм періодичності перевірок рейок у добах ( $n$ )

від значень  $T_\beta$  для конкретних експлуатаційних умов (рис. 3).

Знаючи пропущений тоннаж  $T$  з моменту перекладання рейки до його вилучення після виявлення дефектоскопом тріщини, розкривають дефект, заміряють площу  $F_1$  і  $F_2$  по кутах  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ , розраховують коефіцієнт не менш ніж для трьох тріщин у рейках даної ділянки за формулою

$$\beta = \frac{1}{T} \ln \frac{F_2}{F_1}, \quad (2)$$

де  $F_1$  – площа тріщини під кутом  $\alpha_1$  у момент перекладання;

$F_2$  – площа тріщини, що розвилася під кутом  $\alpha_2$ , виявленої дефектоскопом.

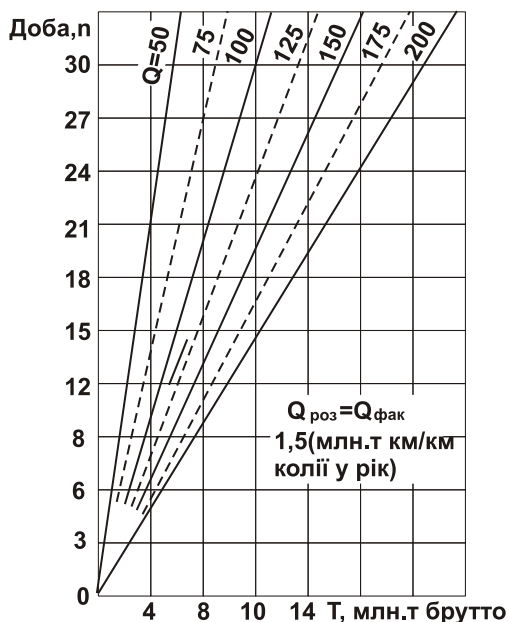


Рис. 3. Залежність періодичності перевірок відповідно до конкретних експлуатаційних умов

Інтервал між черговими перевірками дефектоскопом колії на даній ділянці в добі можна визначити з такого виразу:

$$n = \frac{1}{\beta_{\max}} \ln \frac{F_{\text{крит}}}{F_{\text{мін}}} \cdot \gamma_c, \quad (3)$$

де  $\beta_{\max}$  – найбільше значення коефіцієнта  $\beta$ , отримане не менш ніж для трьох тріщин;

$F_{\text{крит}}$  – відношення критичної площі тріщини до загальної площі перетину головки рейки, %;

$F_{\text{мін}}$  – мінімальна площа тріщини, яку здатний знайти даний тип дефектоскопа, відсоток від площі перетину головки;

$\gamma$  – коефіцієнт, який характеризує, що для надійності виявлення тріщини за період її росту від  $F_{\text{мін}}$  до  $F_{\text{крит}}$  проведено не менш двох перевірок рейок дефектоскопами ( $\gamma$ , як правило, приймають рівним 2,5-3);

$t_c$  – розрахунковий тоннаж, що пропускається на даній ділянці за добу.

Однак, як було зазначено вище, впровадження швидкісного руху накладає більш жорсткі вимоги щодо забезпечення безпеки руху. Тому поряд з цими двома сучасними типами дефектоскопів слід зауважити про деякі перспективні технічні засоби [6], використання яких сприяє вирішенню поставленої задачі.

Дефектоскопна мобільна лабораторія (ЛДМ) (рис. 4) належить до спеціалізованого самохідного рухомого складу на комбінованому ході, призначена для автоматизованого безперервного контролю, діагностування та виявлення дефектів з використанням дефектоскопа «ЭХО-КОМПЛЕКС» без магнітного каналу [4].



Рис. 4. Мобільна дефектоскопна лабораторія ЛДМ

ЛДМ випускається компанією «ТВЕМА» (РФ) і змонтована на серійному переобладнаному на комбінований хід двовісному автомобілі підвищеної прохідності з переднім і заднім ведучими мостами УАЗ-3263–ПАТРИОТ (ЛДМ-1), а її модифікація – на позашляховику LAND ROVER-DEFENDER (ЛДМ-ЛР).

Крім того, модифікація ЛДМ-ЛР забезпечена пристроєм, що дозволяє за короткий час переводити систему комбінованого ходу з рейкової колії 1520 мм на загальноєвропейську 1435 мм і назад.

Лабораторія забезпечує безперервний контроль, діагностування та виявлення дефектів рейок із використанням

комп'ютерних систем обробки інформації зі швидкістю руху до 25 км/год. По ходу свого руху ЛДМ також уточнює параметри ділянки залізничної колії (координати кілометрових відміток, переїздів, мостів, стрілочних переводів та ін.), формує і передає інформацію про стан залізничної колії на сервери центрів діагностики залізниць для її подальшого використання в роботі (рис. 5).

Двонитковий ультразвуковий дефектоскоп УДС-РДМ-23 (рис. 6) дозволяє виявляти та діагностувати дефекти в рейках залізничної колії шириною від 990 до 1550 мм.

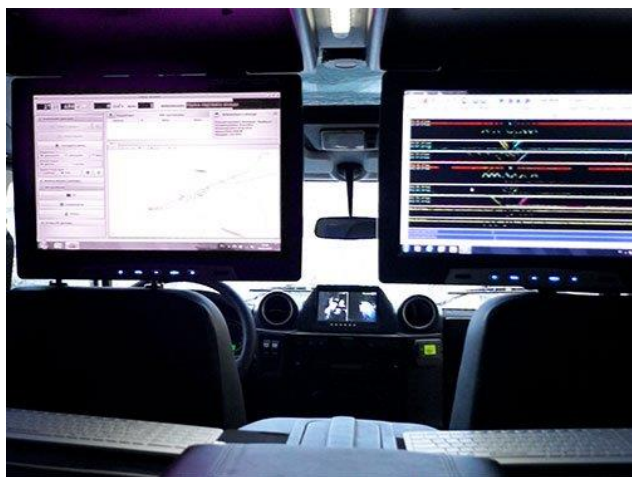


Рис. 5. Робоче місце оператора ЛДМ



Рис. 6. Загальний вигляд дефектоскопа УДС-РДМ-23

Кількість незалежних інформаційних каналів, які реалізуються при роботі з блоками п'єзоелектричних резонаторів у режимі суцільного контролю, для кожної з ниток залізничної колії – 14, із них вісім із реалізацією в каналі роздільної, а шість – суміщеної схеми випромінювання та приймання. Таким чином, використання при суцільному контролі рейок 28-канальної однієї з чотирьох програмно встановлюваних послідовно-паралельних схем розучування забезпечує ефективне виявлення різноорієнтованих дефектів за

один прохід ділянки контролю. Функціональні клавіші приладу дозволяють скоротити час налаштування дефектоскопа оператором для контролю та виключити можливі помилки в процесі роботи.

Ультразвуковий одонитковий рейковий дефектоскоп УДС2-РДМ-12 (рис. 7) призначений для виявлення, реєстрації сигналів від дефектів в рейках на ділянках колії, де перевірка одночасно по двох нитках ускладнена або небезпечна (тунелі, мости, пасажирські платформи); в рейках покілометрового запасу; в



старопридатних рейках на рейкозварювальних підприємствах; при вибірковому ручному контролі зварних стиків.



Рис. 7. Загальний вигляд дефектоскопа УДС2-РДМ-12

Портативний дефектоскоп АВИКОН-17 (рис. 8) зі спеціальним скануючим пристроєм, розроблений ВАТ «Радиоавионика» (РФ) у 2012 році на базі промислового комп'ютера Panasonic CF-19, дозволяє оцінювати реальний розмір

внутрішнього дефекту в головці рейок, і, що найголовніше, визначати динаміку розвитку дефектів при заданих умовах експлуатації.



Рис. 8. Загальний вигляд дефектоскопа АВИКОН-17

Принцип дії дефектоскопа полягає у переміщенні сканера по дефектній ділянці (на величину до 100 мм в обидва боки від дефекту) і подальшому скануванні вузьким ультразвуковим променем головки рейки з її бічних граней (по всій висоті головки від верхньої до нижньої викружки). Після завершення сканування на екрані дефектоскопа відображається переріз головки з внутрішнім дефектом у вигляді трьох проекцій (рис. 9).

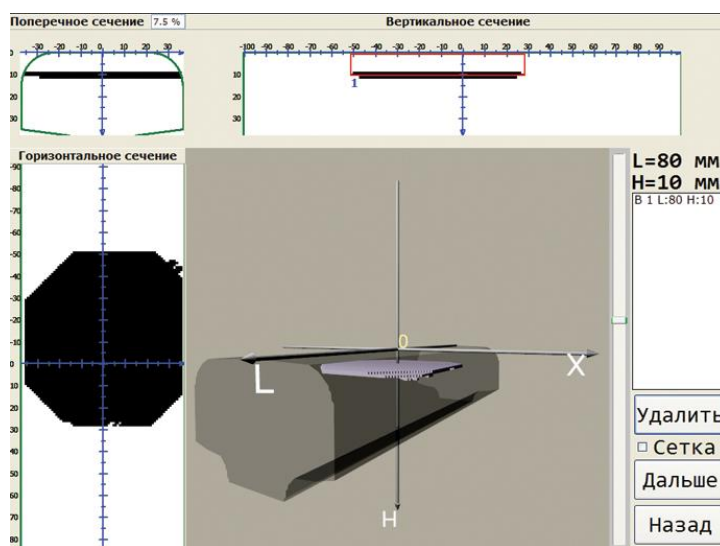


Рис. 9. Візуальне зображення дефекту за результатами роботи дефектоскопа АВИКОН-17

З 2009 року ЗАТ «Фирма ТВЕМА» (м. Москва) розпочала випуск суміщених вагонів-дефектоскопів серії ВД-УМТ1 (рис. 10) [4], які відрізняються від попередніх серій (ВД-1МТ, ВД-1МТ5К) використанням більш досконалих засобів і систем комплексного діагностування, можливістю реалізації швидкості контролю до 70 км/год, розширеним кліматичним діапазоном експлуатації, поліпшеною

ергономікою та комфортабельним приміщенням.

Як стверджують розробники [5], вперше в практиці неруйнівного контролю рейок і стрілочних переводів мобільними засобами діагностики на даному вагоні реалізовані чотири методи контролю: ультразвуковий, магнітно-динамічний, візуально-вимірювальний, оптичний.



Рис. 10. Вагон-дефектоскоп ВД-УМТ1

Вагон-дефектоскоп обладнано дефектоскопним візком із шарнірним вузлом для постійного контакту колісних пар із рейками, що забезпечує їх плавне кочення в кривих ділянках і стрілочних переводах. Дистанціювання ультразвукової лижі відносно головки рейки відбувається за допомогою безконтактної магнітної слідкувальної системи, не через механічний контакт із рейкою, а безконтактним магнітним методом.

До складу діагностичного комплексу вагона (рис. 11) входить сім систем: дефектоскоп «ЭХО-КОМПЛЕКС-2», реєструвальний комплекс і спеціалізоване керуюче програмне забезпечення «КРУЗ-2», безконтактна центральна система «БАРС», підсилена намагнічувальна система «МАРС», відеосистема візуального виявлення дефектів «СВОД-2»,

безконтактна система вимірювання додаткових параметрів геометрії рейок «СОКОЛ-2», система автоматизованої обробки результатів контролю «АСТРА».

Згідно з [9, 10] одним із перспективних засобів рейкової дефектоскопії для ділянок зі швидкісним рухом є ультразвуковий поїзд-дефектоскоп фірми Speno US 6-1 (рис. 12).

Спеціально розроблений високошвидкісний ультразвуковий візок, що встановлюється на вагон, дозволяє проводити контрольні заходи на швидкостях до 90 км/год. Безперервність контролю рейок та стрілочних переводів на високих швидкостях досягається за рахунок конструктивних особливостей контролюючого візка, який зроблено у вигляді нескінченної стрічки, що рухається між рейкою та детекторами.



Рис. 11. Робоче місце оператора вагона-дефектоскопа ВД-УМТ1



Рис. 12. Поїзд-дефектоскоп Speno US 6-1

**Висновки з дослідження.** Існуюча система неруйнівного контролю відповідає необхідному рівню забезпечення безпеки руху поїздів, але потребує постійного розвитку і вдосконалення, вивчення зарубіжного досвіду та залучення кваліфікованих фахівців.

Сучасні технічні засоби рейкової дефектоскопії, що були розглянуті в статті,

дозволяють забезпечити надійне та безперебійне функціонування перспективних ділянок залізничної колії, де планується впровадження швидкісного руху на залізницях України при безумовному забезпеченні необхідного рівня безпеки руху.

*Список використаних джерел*

1. Класифікація та каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів України [Текст]: ЦП-0284; Класифікація та каталог дефектів та пошкоджень рейок залізниць України [Текст]: ЦП-0285. – К.: Видавництво ТОВ «Інпрес», 2013. – 196 с.
2. Дефектоскоп ультразвуковой УДС2-РДМ-22 [Текст]: Руководство по эксплуатации/ Редакция 2.25.3.2007. – Кишинев, 2007. – 112 с.
3. Дефектоскоп ультразвуковой УДС2-РДМ-22 [Текст]: Учебный альбом пользователя/ Редакция 2.25.3.2007. – Кишинев, 2007. – 68 с.
4. Сайт компанії «Фірма ТВЕМА»: [www.twema.ru](http://www.twema.ru).
5. Тарабрин, В. Ф. Совмещенный вагон-дефектоскоп нового поколения ВД-УМТ-1 – средство повышения эффективности комплексной диагностики рельсового пути [Текст] / В. Ф. Тарабрин, О. Н. Кисляковский, С. В. Сараев // В мире неразрушающего контроля. – 2014. – №3 (65). – С. 74-80.
6. Карпов, М. І. Засоби неруйнівного контролю рейок [Текст]: навч. посібник / М. І. Карпов, Р. М. Йосифович. – К.: Видавництво ТОВ «Аванпост-Прим», 2015. – 174 с.
7. Положення при систему організації роботи, ремонту та обслуговування засобів дефектоскопії в колійному господарстві [Текст]: ЦП-0264. – К.: «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 88 с.
8. Положення про організацію роботи вагонів-дефектоскопів, автотрис дефектоскопних та дефектоскопів на комбінованому ході [Текст]: ЦП-0263. – К.: «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 76 с.
9. Rezaie, F. Experimental and numerical studies of longitudinal crack control for rails [Text] / F. Rezaie, M. R. Shiri, S. M. Farnam // «Engineering Failure Analysis» № 26 (2012) 21-30.
10. Modern Railway Track [Електрон. ресурс] / editing D. Z. Nieuwenhuizen. – D.: TUDelft, 2001. - 654с. – Режим доступу:<http://www.esveld.com>.
11. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України [Текст]: ЦП-0285. – К.: Видавництво ТОВ «Девалта», 2015. – 48 с.

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

---

Потапов Дмитро Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-60.  
E-mail. [prx-xiit@kart.edu.ua](mailto:prx-xiit@kart.edu.ua).  
Сторчай Віталій Тимофійович, магістрант ІППК. Тел.: (067) 469-03-31.

Potapov Dmytro Oleksandrovych, PhD, Associated Professor of Track and Track Facilities Department Ukraine State of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-60.  
Storchay Vitaliy Tymophiyovich Master of Training Institute. Tel.: (067) 469-03-31.

Стаття прийнята 15.06.2016 р.



УДК 625.143

## ЖОРСТКІСТЬ СКРІПЛЕНЬ ТРЕП-Ш ТА ТРЕП ПРИ КРУЧЕННІ РЕЙКИ

Старш. викл. Е. А. Бєліков

## ЖЕСТКОСТЬ СКРЕПЛЕНИЯ ТРЕП-Ш И ТРЕП ПРИ КРУЧЕНИИ РЕЛЬСА

Старш. препод. Э. А. Беликов

## THE STIFFNESS OF THE BOND TRAP-N AND TRAP TORSIONAL RAIL

Senior lecturer E.A.Byelikov

*У статті розглянуто основні навантаження, що діють на скріплення типу ТРЕП та ТРЕП-Ш при крученні рейки під дією горизонтальних поперечних сил і дією вертикальних сил. Складені розрахункові схеми і емпіричні залежності роботи вузла скріплення. Базові математичні викладки є математичним подовженням просторової моделі взаємодії сил, що діють на верхню будову колії, розробленої в УкрДУЗТ для умов залізниць незагального користування. Подані математичні моделі дають можливість визначати в різних умовах експлуатації жорсткості скріплень ТРЕП та ТРЕП-Ш при крученні рейки під дією горизонтальних поперечних сил.*

**Ключові слова:** рівновага сил, бічна сила, сила тертя ізолюючого вкладиша, пружний опір подрейкової прокладки, сила опору поперечному переміщенню подошви рейки, жорсткість вкладиша, жорсткість подрейкової прокладки, коефіцієнт тертя вкладиша по подошві рейки, сила клемного натискання, пружні динамічні вертикальні деформації, сила монтажного натискання клеми.

*В статье рассмотрены основные нагрузки, которые действуют на скрепления типа ТРЕП-Ш и ТРЕП при кручении рельса под действием горизонтальных поперечных сил и действием вертикальных сил. Составлены расчетные схемы и эмпирические зависимости работы узла скрепления. Базовые математические выкладки являются математическим продолжением пространственной модели взаимодействия сил, действующих на верхнее строение пути, разработанной в УкрДУЗТ для условий железных дорог необщего пользования. Представленные математические модели дают возможность определять в различных условиях эксплуатации жесткость скреплений ТРЕП и ТРЕП-Ш при кручении рельса под действием горизонтальных поперечных сил.*

**Ключевые слова:** равновесие сил, боковая сила, сила трения изолирующего вкладыша, упругое сопротивление подрельсовой прокладки, сила сопротивления поперечному перемещению подошвы рельса, жесткость вкладыша, жесткость подрельсовой прокладки, коэффициент трения вкладыша по подошве рельса, сила клеммного нажатия, упругие динамические вертикальные деформации, сила монтажного нажатия клеммы.

*The article describes the main load, which is operating on bonds-type TRAP-N and the TRAP torsional rail under the action of horizontal shear forces and vertical forces actions. Composed design diagram and empiricheskie according to work site bonds. Basic mathematical calculations is a mathematical prodoljeniem spatial model of interaction forces acting on the superstructure, designed in Ukjust for the conditions of the Railways of uncommon use. The mathematical models make it possible to determine various operating conditions of the bonds jetcost TRAP-N and the TRAP torsional rail under the action of horizontal shear forces.*

**Keywords:** the balance of power, the lateral force, the friction force of the insulating liner elastic resistance under-rail pads, the resistance force lateral movement of the rail foot, the stiffness of the liner, under-rail pad stiffness, friction pad on the sole of the rail, the power of the terminal is pressed, the elastic dynamic vertical deformation, the force pushing the mounting terminals.

**Вступ.** Експлуатація та утримання колії промислових залізниць значно відрізняються від магістральних колій загального користування. Найбільш проблемними є вузли прикріплення рейок до залізобетонних шпал. На цей час практично єдиним типом проміжних скріплень в таких умовах є скріплення КБ. Цей тип скріплення має суттєві недоліки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний внесок у вирішення питань взаємодії рухомого складу та колії належить науковим школам, які сформуливали професори В.І. Ангелейко [1], Е.І. Даниленко [2], В.В. Рибкін [3], академік В.А. Лазарян [4] та професори М.А. Фрішман [5], М.Ф. Веріго [6], С.П. Першин [7], В.Ф. Яковлев [8], А.Я. Коган [9,10].

Слід відзначити, що в цих дослідженнях використовувалася загальна розрахункова схема колії у вигляді балки на суцільній пружній основі. Ця схема передбачає стабільність пружних дисипативних характеристик підрейкової основи. Однак аналіз, зроблений у роботі [11] показав, що така схема для умов промислового транспорту надмірно ідеалізує колію та її технічний стан.

В роботах [11,12,13,14,15] розроблені моделі та методи досліджень сил взаємодії рухомого складу і колії, а також розрахунків напружено-деформованого

стану залізничної колії з застосуванням просторової розрахункової схеми колії у вигляді балок-рейок, які впливають на пружно-дисипативні опори-шпали з нелінійними характеристиками.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою статті є знаходження математичного рівняння, яке враховувало б один з параметрів жорсткості скріплення ТРЕП та ТРЕП-Ш при крученні рейки під дією горизонтальних поперечних сил і дії вертикальних сил та необхідних експериментальних параметрів.

**Основна частина дослідження**

**Жорсткість скріплення ТРЕП-Ш.**

Жорсткість вузла скріплення при крученні рейки під дією горизонтальних поперечних сил і дією вертикальних сил з урахуванням послідовного з'єднання жорсткостей першої і другої системи дорівнює

$$C_{\varphi} = \frac{C_{\varphi 1} \cdot C_{\varphi 2}}{C_{\varphi 1} + C_{\varphi 2}}, \tag{1}$$

де  $C_{\varphi}, C_{\varphi 1}, C_{\varphi 2}$  – жорсткість при крученні системи «підрейкова прокладка – клема» (перша система).

Розглянемо дію обертального згинального моменту  $M_{кр}$  на першу систему (рис. 1).

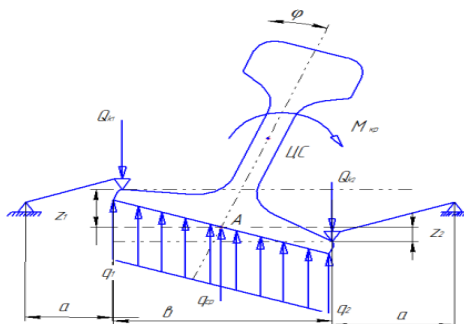


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення жорсткості при крученні системи "підрейкова прокладка – пружна клема"

Умову рівноваги зовнішнього обертального моменту  $M_{кр}$ , моментів сил клемного натиснення і моменту нерівномірно розподіленої реакції

$$M_{кр} + Q_{к2} \cdot \frac{b}{2} - (q_2 + q_{ср}) \cdot \frac{b^2}{16} + (q_{ср} + q_1) \cdot \frac{b^2}{16} - Q_{к1} \cdot \frac{b}{2} = 0, \quad (2)$$

Після перетворень одержимо

$$M_{кр} = (Q_{к1} - Q_{к2}) \cdot \frac{b}{2} + (q_2 - q_1) \cdot \frac{b^2}{16}, \quad (3)$$

де  $Q_{к1}$  і  $Q_{к2}$  - сила натиснення пружних клем,  $\kappa H$ ;

$q_1$  і  $q_2$  - інтенсивності нерівномірно розподіленої реакції підрейкової прокладки при її стисненні пружними клемами і зовнішнім обертальним моментом  $M_{кр}$ ,  $\kappa H/м$ .

Сили натиснення клем на підшви рейки при сумісній дії на вузол скріплення вертикальних сил і обертальних моментів будуть дорівнювати

$$\begin{aligned} Q_{к1} &= Q_{к}^{ноч} - \Delta Q_{к} + \Delta Q_{кр1} \\ Q_{к2} &= Q_{к}^{ноч} - \Delta Q_{к} + \Delta Q_{кр2}, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $Q_{к}^{ноч}$  - монтажна сила натиснення пружних клем,  $\kappa H$ ;

$\Delta Q_{к}$  - зміна сили клемного натиснення при дії вертикальної сили на скріплення,  $\kappa H$ ;

$\Delta Q_{кр1}$ ,  $\Delta Q_{кр2}$  - зміна сил клемного натиснення при крученні рейки,  $\kappa H$ .

Позначимо зміну згинань кромки підшви рейки при її крученні через  $\Delta Z_1$  і  $\Delta Z_2$ , м (рис. 1). Тоді величини  $\Delta Q_{кр1}$  та  $\Delta Q_{кр2}$  з урахуванням характеру роботи дорівнюють

підрейкової прокладки щодо центру повороту перетину рейки (ЦП) можна записати так:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{кр1} &= Z_{y1} \cdot \mathcal{J}_{кл} \\ \Delta Q_{кр2} &= Z_{y2} \cdot \mathcal{J}_{кл}, \end{aligned} \quad (5)$$

де  $\mathcal{J}_{кл}$  - жорсткість пружної клеми,  $\kappa H/м$ .

Різницю величин  $Q_{к1} - Q_{к2}$  у формулі (3) можливо записати так

$$Q_{к1} - Q_{к2} = \mathcal{J}_{ш} (\Delta z_1 + \Delta z_2), \quad (6)$$

Застосовуючи той же підхід для значень  $q_1$  і  $q_2$ , отримуємо

$$q_1 - q_2 = u_{ППТ}^{дін} \cdot \left( \frac{\Delta z_1 + \Delta z_2}{b} \right), \quad (7)$$

Підставимо вирази (6) і (7) у формулу

$$M_{кр} = C_{\varphi1} \cdot \varphi_1, \quad (8)$$

Змінюючи в цьому виразі

$$\varphi_1 = \frac{\Delta z_1 + \Delta z_2}{b} \quad (9)$$

та враховуючи тип значення кута  $H \cdot м$ , набудемо значення жорсткості першої системи при крученні рейки, залежно від характеристик пружних елементів

$$C_{\varphi1} = \frac{b^2}{4} \cdot \left( \mathcal{J}_{ш} + \frac{u_{ППТ}^{дін}}{4} \right), \kappa H/рад, \quad (10)$$

де  $b$  - ширина підшви рейки,  $м$ .

Аналогічно розглядаючи жорсткість другої системи при крученні, можна одержати вираз (рис. 2)

$$C_{\varphi 2} = \frac{b^2}{4} \mathcal{J}_{кл} + \frac{d^2}{16} u_{ПНТ}^{дин}, \text{ кН/рад}, \quad (11)$$

де  $d$  – довжина підкладки скріплення, м;  
 $u_{ПНТ}^{дин}$  – жорсткість наспальної прокладки при стисненні динамічним навантаженням, кН/м; решта позначень загальна.

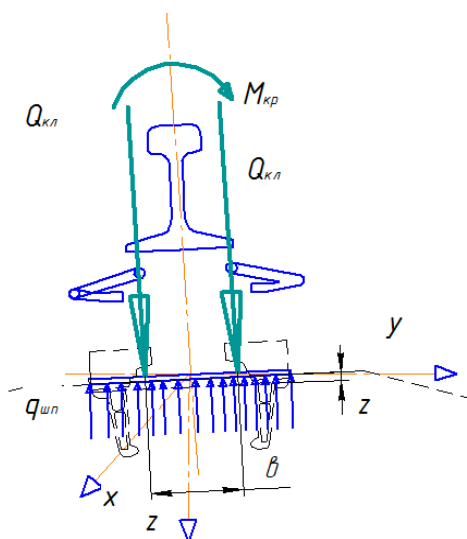


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення жорсткості при крученні системи "наспальна прокладка – пружні клеми"

Вирази (1, 7 і 10) дозволяють зробити висновок про те, що жорсткість скріплень ТРЕП при крученні рейки залежить лише від жорсткості прокладок і пружинних клем при їх стисненні.

**Жорсткість скріплення ТРЕП.** При дії на вузол скріплення обертального моменту  $M_{кр}$  перетин рейки повернеться на кут  $\Delta\varphi$ , величину якого можна отримати (рис. 3)

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta z_1 + \Delta z_2}{b}, \quad (12)$$

де  $\Delta z_1$  й  $\Delta z_2$  – додаткові переміщення кромки підшви рейки при повороті перетину, м;

$b$  – ширина підшви рейки, м.

Жорсткість вузла скріплення при крученні:

$$C_{\varphi} = \frac{M_{кр}}{\Delta\varphi}, \text{ кН/рад}.$$

Умови рівноваги моменту  $M_{кр}$ , моментів сил клемного натискання  $Q_{\kappa 1}$ ,  $Q_{\kappa 2}$  і моменту нерівномірно розподіленого опору підрейкової прокладки стиску щодо центру повороту перетину рейки (ЦП) мають вигляд

$$M_{кр} + Q_{\kappa 2} \frac{b}{2} - \frac{q_2 - q_{cp}}{2} \frac{b^2}{8} + \frac{q_{cp} + q_1}{2} \frac{b^2}{8} - Q_{\kappa 1} \frac{b}{2} = 0.$$

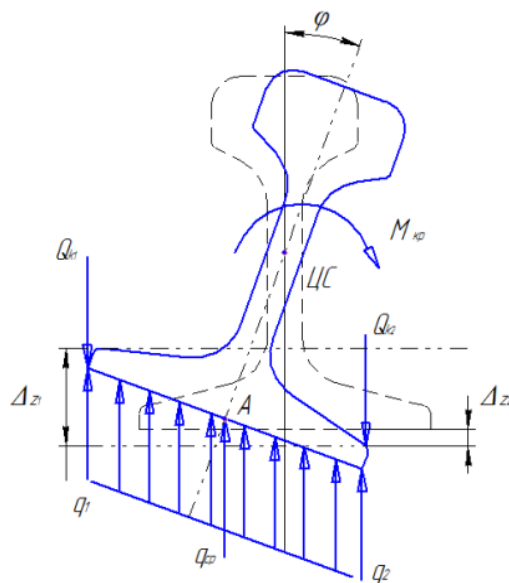


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення жорсткості скріплення ТРЕП при крученні рейки

Після перетворень отримаємо

$$M_{кр} = (Q_{\kappa 2} - Q_{\kappa 1}) \cdot \frac{b}{2} + (q_2 - q_1) \cdot \frac{b^2}{16}, \quad (13)$$

де  $Q_{\kappa 1}$  й  $Q_{\kappa 2}$  – сили натискання клем при повороті рейки,  $\kappa H$ ;

$q_1$  і  $q_2$  – інтенсивності по кромках підшви нерівномірно розподіленого опору підрейкової прокладки при її нерівномірному стиску,  $\kappa H/м$ .

Сили натискання клем при повороті рейки

$$Q_{\kappa 1} = Q_{\kappa \text{кл}}^M - \Delta Q_{\kappa 1} = Q_{\kappa \text{кл}}^M - \mathcal{J}_{\kappa \text{кл}} \cdot \Delta z_1;$$

$$Q_{\kappa 2} = Q_{\kappa \text{кл}}^M - \Delta Q_{\kappa 2} = Q_{\kappa \text{кл}}^M - \mathcal{J}_{\kappa \text{кл}} \cdot \Delta z_2.$$

Тоді

$$Q_{\kappa 2} - Q_{\kappa 1} = \mathcal{J}_{\kappa \text{кл}} (\Delta z_1 + \Delta z_2).$$

Аналогічно можна отримати

$$q_2 - q_1 = \frac{u_{\text{ППТ}}^{\text{дин}}}{\epsilon} \cdot (\Delta z_1 + \Delta z_2).$$

Тоді рівняння (13) буде мати вигляд

$$M_{\text{кр}} = \mathcal{J}_{\kappa \text{кл}} (\Delta z_1 + \Delta z_2) \cdot \frac{\epsilon}{2} + u_{\text{ППТ}}^{\text{дин}} \cdot \frac{(\Delta z_1 + \Delta z_2)}{\epsilon} \cdot \frac{\epsilon^2}{16}.$$

Підставляючи значення  $\Delta \varphi$  з рівняння (1), отримаємо

$$M_{\text{кр}} = \mathcal{J}_{\kappa \text{кл}} \cdot \Delta \varphi \cdot \frac{\epsilon^2}{2} + u_{\text{ППТ}}^{\text{дин}} \cdot \Delta \varphi \cdot \frac{\epsilon^2}{16}.$$

Переходячи до жорсткості скріплення при обертанні,

$$C_{\varphi} = \mathcal{J}_{\kappa \text{кл}} \cdot \frac{\epsilon^2}{2} + u_{\text{ППТ}}^{\text{дин}} \cdot \frac{\epsilon^2}{16}, \kappa H/\text{рад}. \quad (14)$$

Таким чином, просторова жорсткість скріплення ТРЕП визначається жорсткістю пружинних клем  $\mathcal{J}_{\kappa \text{кл}}$ , жорсткістю підрейкових прокладок при стиску при

статичному  $u_{\text{ППТ}}^{\text{ст}}$  та динамічному  $u_{\text{ППТ}}^{\text{дин}}$  навантаженні, жорсткістю ізолюючого вкладиша при зсуві рейки  $u_{\text{УП}}$  та жорсткістю підрейкової прокладки при зсуві  $u_{\text{ППТ}}^{\Gamma}$

Аналіз формування просторових жорсткостей вузла скріплення ТРЕП та ТРЕП-Ш дозволив визначити необхідний перелік характеристик пружних елементів цього скріплення і перелік залежностей їх зміни в процесі експлуатації.

До таких характеристик і залежності слід віднести наступні:

- статична і динамічна жорсткість підрейкових і нашпальних при стисненні прокладок та їх зміни в процесі експлуатації;

- динамічна жорсткість підрейкових і нашпальних прокладок при зсуві в поперечному і поздовжньому напрямках і залежності цієї жорсткості від величини стиснення прокладок вертикальними силами;

- жорсткість пружинних клем;

- жорсткість вкладиша при діючих переміщеннях рейки.

Ці характеристики і залежності можуть бути визначені експериментально.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Таким чином, складено математичні залежності (10,15) умов виявлення та формування жорсткостей вузла скріплення при крученні рейки під дією горизонтальних поперечних сил і дією вертикальних сил, яка залежить від статичної та динамічної жорсткості підрейкових і нашпальних при стисненні прокладок та їх змін в процесі експлуатації; динамічної жорсткості підрейкових і нашпальних прокладок при зсуві в поперечному і поздовжньому напрямках і залежності цієї жорсткості від величини стиснення прокладок вертикальними силами.

*Список використаних джерел.*

1. Ангелейко, В. И. Вывод основных уравнений для расчета рельса в горизонтальной и вертикальной плоскостях [Текст]: монография / В.И. Ангелейко. – Харьков: ХИИТ, 1958. – 38 с.
2. Даніленко, Е. І. Сучасні рейкові пружні скріплення і особливості вимог до вітчизняних скріплень на залізобетонних шпалах [Текст] / Е. І. Даніленко, М. Д. Костюк, О. М. Жученко // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 6. – С. 3-12.
3. Рибкін, В. В. Теоретичні дослідження впливу пружності проміжних рейкових скріплень на деформативну роботу колії [Текст] / В. В. Рибкін, М. Д. Костюк, Н.П. Настечик, М. П. Сисин // Тези LXVI Міжнар. наук.-практ. конф. “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту”. – Дніпропетровськ, 2006. – № 1. – С. 188.
4. Лазарян, В. А. Избыточные колебания кузова полувагона в вертикальной и горизонтальной плоскостях [Текст] / В. А. Лазарян, В. Ф. Ушаков // Труды ДИИТ. – 1967. - №68. – С. 32-38.
5. Фришман, М. А. Экспериментальные определения жесткостей и неупругих сопротивлений пути [Текст] / М. А. Фришман, Л. Я. Воробейчик, Р. С. Липовской // Вестник ЦНИИ МПС. – 1970. - № 8. – С. 31- 35.
6. Вериго, М. Ф. Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава [Текст] / М.Ф. Вериго // Труды ВНИИЖТ. – М.: Трансжелдориздат, 1955. – №97. – С. 25-288.
7. Першин, С. П. Вертикальная жесткость пути и его надежность [Текст] / С. П. Першин // Путь и путевое хозяйство. – 1996. – №8. – С. 8-10.
8. Яковлев, В. Ф. Определение расчетных параметров пути в вертикальной и горизонтальной плоскостях с помощью вибромашины [Текст] / В.Ф. Яковлев, И. И. Семенов, В. И. Абросимов // Труды ЛИИЖТа. – Л.: ЛИИЖТ, 1971. – Вып. 326. – С. 66-85.
9. Коган, А. Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь [Текст] / А. Я. Коган // Труды ЦИИТ МПС. – М.: Транспорт, 1969. – 206 с.
10. Расчеты железнодорожного пути на вертикальную динамическую нагрузку [Текст]/ под ред. А.Я. Когана // Труды ВНИИЖТ. – 1973. – №502. – 80 с.
11. Даренский, А. Н. Результаты лабораторных испытаний скрепления типа КБ [Текст] / А. Н. Даренский // ЦНИИТЭИ МПС. – 1983. – № 2145. – С. 11.
12. Даренський, О. М. Визначення приведеної вертикальної жорсткості рейкової нитки при використанні розрахункової схеми як балки на пружних опорах з випадковими характеристиками [Текст] / О. М. Даренський, Н. В. Бугаєць, В. Г. Вітольберг // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. заліз. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 115. – С. 151-162.
13. Даренський, О. М. Теоретичні та експериментальні дослідження роботи залізничних колій промислового транспорту [Текст]: монографія / О. М. Даренський. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 204 с.
14. Иванова, Л. И. Экспериментальные исследования перемещений элементов рельсошпальной решетки под поездной нагрузкой [Текст] / Л. И. Иванова, Н. И. Карпущенко // Труды НИИЖТ. – 1971. – № 129. – С. 61-67.
15. Bogacz R., Konowrocki R. On new effects of wheel-rail interaction //Archive of Applied Mechanics. – 2012. – Т. 82. – №. 10-11. – С. 1313-1323. <http://link.springer.com/article/10.1007/s00419-012-0677-6>.

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

---

Беліков Едуард Анатолійович, старший викладач, завідувач навчальної лабораторії секції кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-60, 22-10.

Byelikov Eduard Anatolyevich, senior lecturer, head of school laboratory section of the Department «Road and trak acilities» Ukrainian state University of railway transport. (730-10-60, 22-10).

Стаття прийнята 16.06.2016 р.

УДК 629.423.31

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ МОДАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ З ДВИГУНОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Канд. техн. наук С. Г. Буряковський, магістрант В. С. Старченко

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Канд. техн. наук С. Г. Буряковский, магистрант В. С. Старченко

## MATHEMATICAL MODELING OF THE SYSTEM MODAL CONTROL OF DC MOTORS

Cand. of techn. Sciences S. Buryakovskiy, master student V. Starchenco

*Використання електропривода з модальним регулятором замість існуючого релейно-контакторного забезпечує більш високі динамічні показники роботи системи електровоза і підвищує її загальну ефективність. Математичне моделювання перехідних процесів у системі наочно показало якість регулювання координат швидкості і струму при розгоні із застосуванням модального регулятора.*

**Ключові слова:** електропривод, модальний регулятор, перехідний процес, регулювання координат, динамічні показники.

*Использование электропривода с модальным регулятором вместо существующего релейно-контакторного обеспечивает более высокие динамические показатели работы системы электровоза и повышает её общую эффективность. Математическое моделирование переходных процессов в системе наглядно показало качество регулировки координат скорости и тока при разгоне с применением модального регулятора.*

**Ключевые слова:** электропривод, модальный регулятор, переходной процесс, регулирование координат, динамические показатели.

*Using the drive with a modal regulator instead of the existing relay-contactor allows higher dynamic performance of electric system operation and boosts its overall efficiency. In combination with the use of slave control system, such a system provides a high quality of regulation subject to the limitation specified coordinates at the appropriate level. This is especially important for electric traction drives, as current limiting coordinates and speed ensures safe driving mode in conjunction with an increase in the reliability of the whole system. To study the effectiveness of the proposed solutions was used mathematical apparatus based matrices, as well as classical approaches of mathematical modeling to the construction of block diagrams prepared on the basis of differential equations describing the system in the state space. Mathematical modeling of transients showed high quality speed and coordinate adjustment of current during acceleration with the modal controller.*

**Keywords:** electric drive, modal regulator, transient, coordinate control, dynamic performance.

**Вступ.** Сучасний стан рухомого складу яскраво показує неможливість втілення рішень щодо підвищення ефективності

роботи залізничного транспорту. Існує гостра потреба у впровадженні нових рішень та технологій для якісної зміни

процесів керування в електрорухомому складі. Одним з найпростіших та якісних є застосування систем керування з модальними регуляторами та спостерігачами стану [1]. Найбільш простим способом дослідження властивостей електроприводів локомотивів є математичне моделювання типових режимів їх роботи [2].

**Аналіз попередніх досліджень.**

Принципи модального керування отримали широке розповсюдження в таких галузях, як верстатобудування, металургія та роботобудування. На жаль, відсутність упровадження вітчизняних розробок сучасних систем керування в рухомому складі України не дає можливості зібрати інформацію про дослідження в цій галузі.

**Мета дослідження.**

Метою дослідження є розроблення математичної моделі, що дасть змогу проаналізувати можливість застосування модального керування для тягових приводів на базі двигунів постійного струму.

**Основна частина дослідження.**

Фундаментальним поняттям у математичній теорії керування є простір станів. Зазвичай припускається, що система має  $n$ -й порядок, керується  $r$ -числом керуючих впливів  $u$  та має  $m$  вихідних координат  $y$ , які в загальному випадку можуть не бути координатами  $x$  руху електропривода. Стан системи в будь-який момент часу  $t_0$  є така сукупність відомостей про неї, наявність яких разом з деяким керуючим впливом достатня для прогнозування стану системи в будь-який момент часу  $t$  [3].

У цьому випадку для опису системи доцільно використовувати апарат лінійної алгебри.

Тоді  $X$  є не що інше, як вектор-стовпчик станів системи:

$$X = \begin{pmatrix} X_1(t) \\ X_2(t) \\ X_3(t) \\ \dots \\ X_n(t) \end{pmatrix}; \quad (1)$$

$U$  – вектор-стовпчик керування

$$U = \begin{pmatrix} U_1(t) \\ U_2(t) \\ U_3(t) \\ \dots \\ U_r(t) \end{pmatrix}; \quad (2)$$

$Y$  – вектор-стовпчик виходів системи

$$Y = \begin{pmatrix} Y_1(t) \\ Y_2(t) \\ Y_3(t) \\ \dots \\ Y_m(t) \end{pmatrix}; \quad (3)$$

У векторно-матричній формі будь-яку лінійну стаціонарну систему можна описати рівняннями:

$$X=AX+BU; \quad (4)$$

$$Y=CX+DU, \quad (5)$$

де  $A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$  – квадратна матриця власних значень розмірності  $n \times n$ ;

$B = \begin{pmatrix} b_{11} & \dots & b_{1r} \\ b_{n1} & \dots & b_{nr} \end{pmatrix}$  – прямокутна матриця керування розмірності  $n \times r$ ;

$A = \begin{pmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ c_{m1} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix}$  – прямокутна матриця коефіцієнтів виходу розмірності  $m \times n$ ;

$A = \begin{pmatrix} d_{11} & \dots & d_{1r} \\ d_{m1} & \dots & d_{mr} \end{pmatrix}$  – матриця впливу керування на виході координати розмірності  $m \times r$ .

Структурна схема багатовимірної лінійної стаціонарної системи відповідно до рівняння (4) подана на рис. 1.



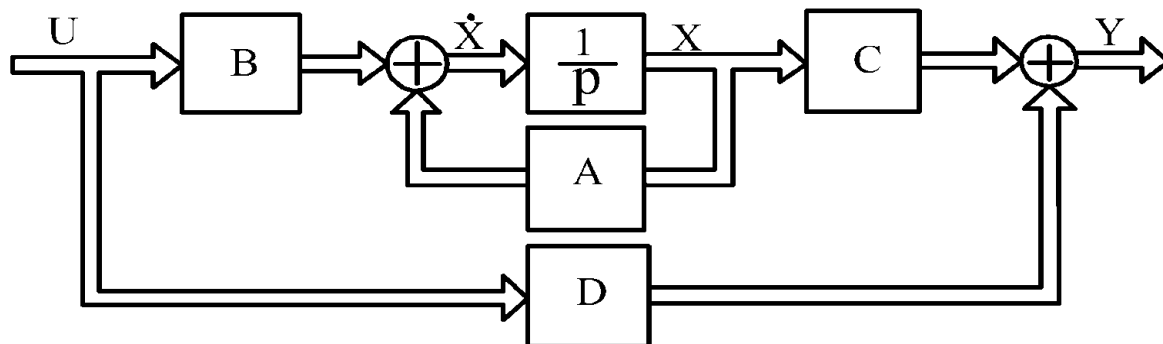


Рис. 1. Структурна схема багатовимірної стаціонарної системи

Система що описується рівнянням (4), називається повністю керованою, якщо за допомогою обмеженого впливу  $U$  вона може бути переведена з довільного стану  $x_0(t_0)$  у довільний кінцевий стан  $x_1(t_1)$ , при зміні часу  $t_0 \leq t \leq t_1$ . Умовою керованості є

$$\text{Rang } P = n, \quad (6)$$

де  $n$  – порядок системи;

$P$  – матриця керованості розмірності  $n \times m$ :

$$P = [B, BA, BA^2, \dots, BA^{n-1}].$$

Якщо виконується умова (6), можливе створення модального регулятора (МР) у відповідності до структурної схеми (рис. 2).

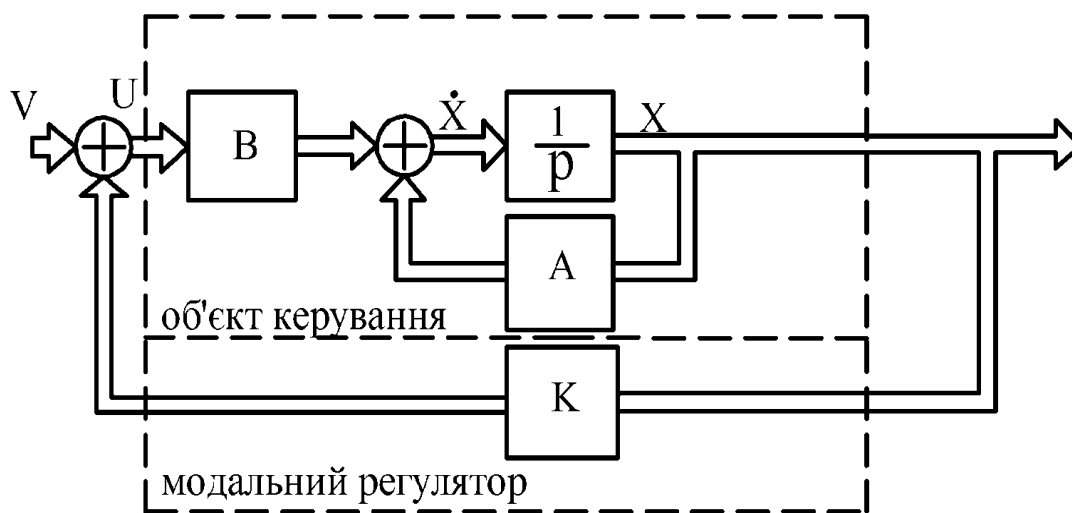


Рис. 2. Структурна схема замкненої багатовимірної системи з МР

У цьому випадку замкнена система керування буде описуватись такими рівняннями:

$$\begin{cases} \dot{X} = AX + BU \\ U = V - KX, \end{cases} \quad (7)$$

де  $U$  – матриця керування;

$V$  – матриця завдання;

$K$  – матриця-рядок зворотного зв'язку, що складається з коефіцієнтів зворотного зв'язку за вектором стану  $X$ .

Розв'язуючи рівняння, отримаємо:

$$\dot{X} = AX + BV - KBX = (A - KB)X + BV = \tilde{A}X + BV, \quad (8)$$

де  $\tilde{A} = A - KB$ .

Модальний регулятор є безінерційним регулятором. Він устатковується в ланцюгу зворотного зв'язку. На його вході здійснюється алгебраїчне додавання всіх зворотних зв'язків за вектором стану [4,5].

Для визначення коефіцієнтів модального регулятора необхідно знайти характеристичне рівняння замкненої системи:

$$F_0(P) = \det(pI - \tilde{A}), \quad (9)$$

де  $I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$  – одинична матриця,

А потім прирівняти коефіцієнти рівняння до коефіцієнтів фільтра Баттерворта при відповідних степенях  $p$ .

Фільтри Баттерворта для систем 2 – 4-го порядків мають вигляд:

$$p^2 + 1,41\omega_0 p + \omega_0^2, \quad (n=2);$$

$$p^3 + 2\omega_0 p^2 + 2\omega_0^2 p + \omega_0^3, \quad (n=3);$$

$$p^4 + 2,6\omega_0 p^3 + 3,41\omega_0^2 p^2 + 2,6\omega_0^3 p + \omega_0^4, \quad (n=4),$$

де  $\omega_0$  – власна частота коливання системи.

Для визначення коефіцієнтів матриць А і В необхідно скористатись структурною схемою системи тиристорний перетворювач – двигун [6] (рис. 3).

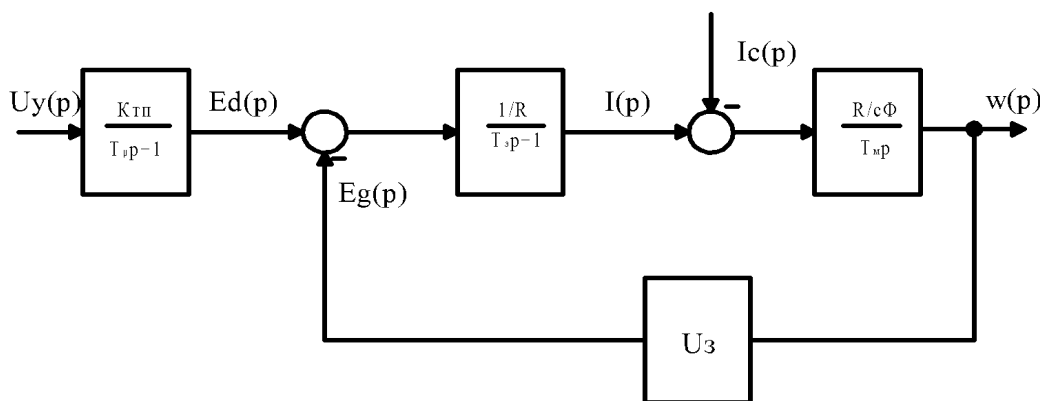


Рис. 3. Структурна схема силової частини електропривода

За структурною схемою запишемо:

$$\begin{cases} \frac{E_d}{U_y} = \frac{K_{ТП}}{T_{\mu}p+1} \\ \frac{1}{E_d - c\omega\Phi_H} = \frac{1/R_з}{T_зp+1} \\ \frac{\omega}{I} = \frac{R_з/c\Phi_H}{T_{\mu}p} \end{cases} \quad (10)$$

Позначимо:

$$\dot{X}_1 = \frac{d\omega}{dt}; \quad x_1 = \omega; \quad \dot{X}_2 = \frac{dI}{dt}; \quad x_2 = I; \quad \dot{X}_3 = \frac{dE_d}{dt}; \quad x_3 = E_d.$$

Після розв'язання системи рівнянь відносно  $\dot{X}_1, \dot{X}_2$  та  $\dot{X}_3$  отримаємо:

$$\dot{X}_1 = 0 + \frac{R_3}{T_M c \Phi_H} x_2 + 0 + 0; \quad (11)$$

$$\dot{X}_2 = -\frac{c \Phi_H}{R_3 T_3} x_1 - \frac{1}{T_3} x_2 + \frac{1}{R_3 T_3} x_3 + 0; \quad (12)$$

$$\dot{X}_3 = 0 + 0 - \frac{1}{T_\mu} x_3 + \frac{K_{TP}}{T_\mu} U_y. \quad (13)$$

Таким чином, з коефіцієнтів при  $x_1, x_2, x_3$  складається матриця А, а з коефіцієнтів при керуючих впливах – матриця В.

Тоді для матриці власних значень А отримаємо:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & \frac{R_3}{T_M c \Phi_H} & 0 \\ -\frac{c \Phi_H}{R_3 T_3} & -\frac{1}{T_3} & \frac{1}{R_3 T_3} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_\mu} \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Матриця керування В має вигляд:

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_{TP}}{T_\mu} \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Для визначення коефіцієнтів зворотного зв'язку регулятора знайдемо характеристичне рівняння:

$$\begin{aligned} \det(pI - A + BK) &= p \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 0 & \frac{R_3}{T_M c \Phi_H} & 0 \\ -\frac{c \Phi_H}{R_3 T_3} & -\frac{1}{T_3} & \frac{1}{R_3 T_3} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_\mu} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_{TP}}{T_\mu} \end{vmatrix} \times |K_0 \ K_1 \ K_2| \\ &= p^3 + \left( \frac{1}{T_3} + \frac{1}{T_\mu} + \frac{K_{TP}}{T_\mu} K_2 \right) p^2 \\ &+ \left( \frac{(c \Phi_H)^2}{J R_3 T_3} + \frac{1}{T_3 T_\mu} + \frac{K_{TP} \cdot K_2}{T_3 T_\mu} + \frac{K_{TP} \cdot K_1}{R_3 T_3 T_\mu} \right) p \\ &+ \left( \frac{(c \Phi_H)^2}{J R_3 T_3 T_\mu} + \frac{K_{TP} (c \Phi_H)^2 \cdot K_2}{J R_3 T_3 T_\mu} + \frac{K_{TP} c \Phi_H K_0}{J R_3 T_3 T_\mu} \right), \end{aligned}$$

де  $K_0$  – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю;

$K_1$  – коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом;

$K_2$  – коефіцієнт зворотного зв'язку за напругою тиристорного перетворювача.

Фільтр Баттерворта для системи 3-го порядку має вигляд

$$p^3 + 2\omega_0 p^2 + 2\omega_0^2 p + \omega_0^3$$

Порівнюючи коефіцієнти при відповідних степенях  $p$ , за якими можуть бути розраховані їх числові значення, якщо попередньо задатися величиною  $\omega_0$ :

$$K_2 = \left( -\frac{1}{T_\mu} - \frac{1}{T_\beta} - 2\omega_0 \right) \frac{T_\mu}{K_{ТП}}; \tag{16}$$

$$K_1 = \left( -\frac{1}{T_M T_\beta} - \frac{K_{ТП} K_2}{T_\mu T_\beta} - \frac{1}{T_\mu T_\beta} - 2\omega_0^2 \right) \frac{R_\beta T_\beta T_\mu}{K_{ТП}}; \tag{17}$$

$$K_0 = \left( -\frac{1}{T_\mu T_M T_\beta} - \frac{K_{ТП} K_2}{T_\mu T_M T_\beta} + \omega_0^3 \right) \frac{T_\mu T_M T_\beta c\Phi_H}{K_{ТП}}. \tag{18}$$

Власну частоту коливань  $\omega_0$  вибирають довільно. Для спрощення розрахунків коефіцієнтів  $\omega_0$  можна прийняти рівною  $\frac{1}{2T_{\mu TP}} \leq \omega_0 \leq \frac{1}{T_{\mu TP}}$ .

Структурна схема системи модального керування наведена на рис. 4.

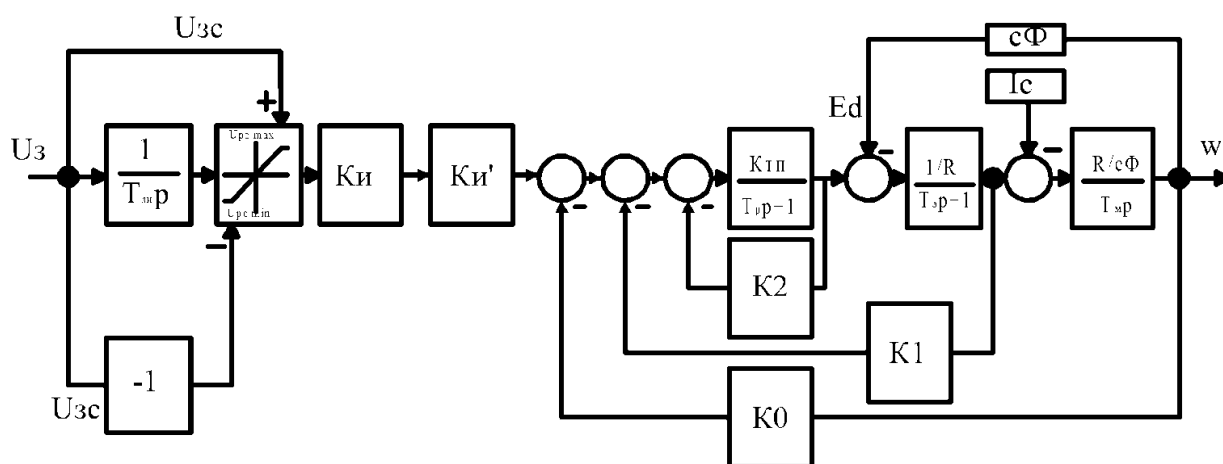


Рис. 4. Структурна схема електропривода з МР

Коефіцієнт підсилення замкненої системи за керуючим впливом  $K_3$  можна визначити методом графів або методом лінійної ТАК [7]. Він розраховується за залежністю:

$$K_3 = \left( K_{ТП} K_2 + 1 + \frac{K_{ТП} K_0}{c\Phi_H} \right) \frac{c\Phi_H}{K_{ТП}}. \quad (19)$$

Окрім цього, для замкненої системи справедлива залежність

$$U_{з.макс.} K_u K_u' = K_3 \omega_H, \quad (20)$$

де  $K_u$  – коефіцієнт підсилення за керуванням, що визначається з матриці В як

$$K_u = \frac{K_{ТП}}{T_\mu}; \quad (21)$$

$K_u'$  – коефіцієнт підсилення, що корегує напругу завдання для виведення двигуна на номінальну швидкість  $\omega_H$  та визначається за залежністю

$$K_u' = \frac{K_3 \omega_H}{U_{з.макс.} K_u}. \quad (22)$$

При розрахунку  $K_u'$  величину напруги завдання  $U_{з.макс.}$  потрібно прийняти рівною 10 В.

За отриманими значеннями побудуємо математичну модель (рис. 5).

Результатом моделювання є графіки швидкості та струму двигуна постійного струму (ДПС), що зображені на рис. 6 та 7 відповідно.

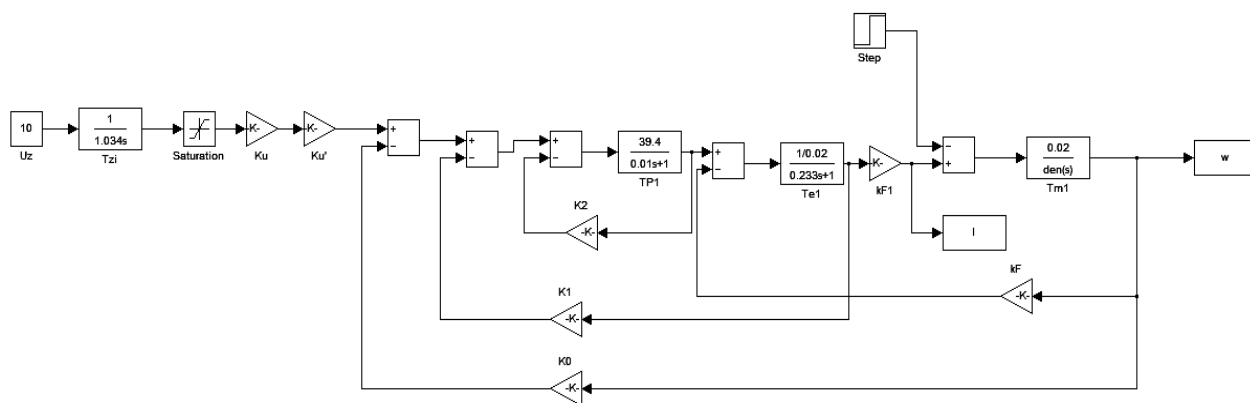


Рис. 5. Математична модель системи модального керування ДПС

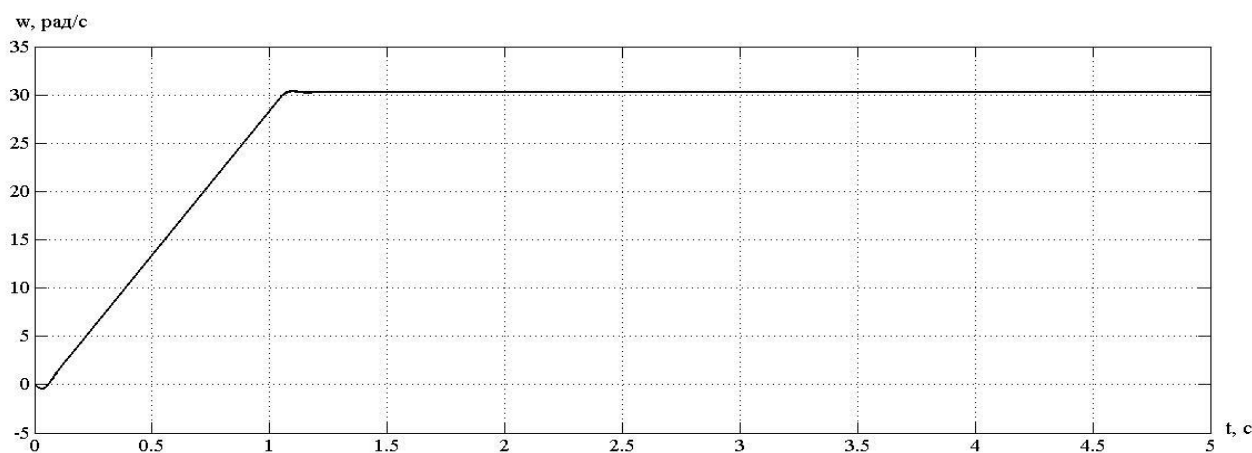


Рис. 6. Швидкість двигуна при модальному керуванні

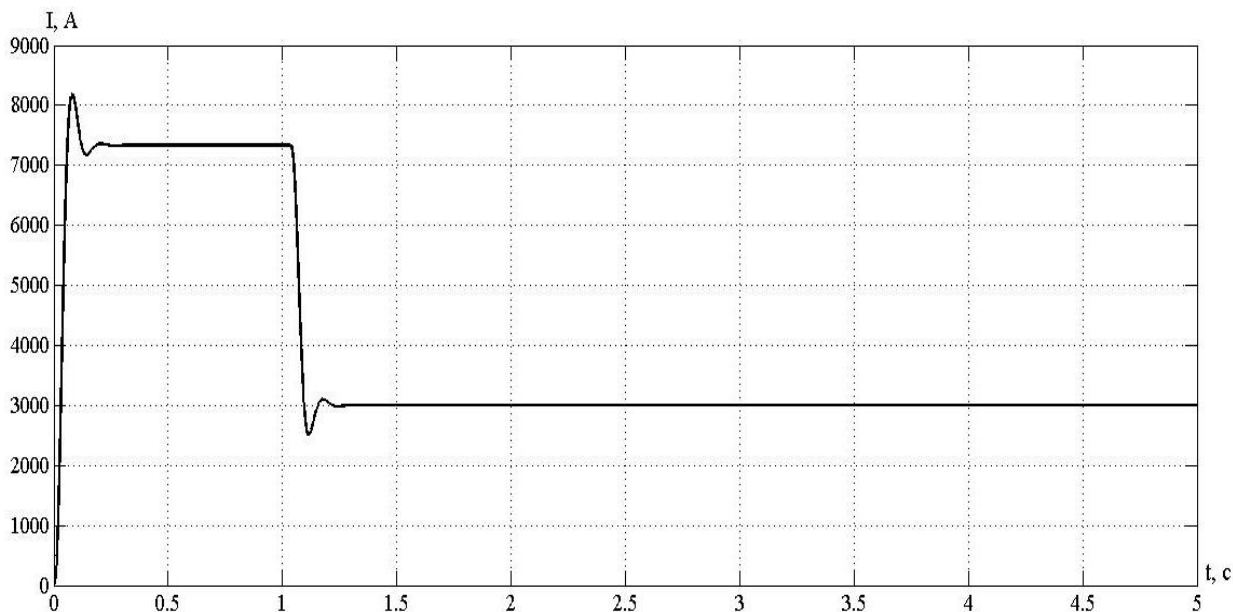


Рис. 7. Струм двигуна при модальному керуванні

**Висновки.** Із графіків видно, що ступінь керованості процесом пуску значно зростає. Таким чином, при застосуванні систем з модальним керуванням можна запобігти явищам буксування та ковзання, підвищити ефективність та надійність

роботи електромеханічної системи, що у свою чергу приводить до покращення динамічних показників роботи рухомого складу та скорочення часу руху поїзда в цілому.

#### Список використаних джерел

1. Концепція та Програма реструктуризації на залізничному транспорті України [Текст]. – К.: НАБЛА, 1998. – 145 с.
2. Герман-Галкин, С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем [Текст] / С. Г. Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА принт, 2007. – 320 с.
3. Кузовков, М. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства [Текст] / М. Т. Кузовков. – М.: Машиностроение, 1976. – 184 с.
4. Filippo Ubertini, Iaria Venanzi, Gabriele Comanducci. Considerations on the implementation and modeling of an active mass driver with electric torsional servomotor. Mechanical Systems and Signal Processing. Volumes 58-59, June 2015, Pages 53-69.
5. Khizir Mahmud, Graham E. Town. A review of computer tools for modeling electric vehicle energy requirements and their impact on power distribution networks.. Applied Energy. Volume 172, June 2016, Pages 337-359
6. Чиликин, М. Г. Основы автоматизированного электропривода [Текст] / М.Г. Чиликин [и др.]. – М.: Энергия, 1974. – 567 с.
7. Ключев, В. И. Теория электропривода [Текст]: учеб. для вузов / В. И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.

8. Коновалов, Є. В. Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до побудови, викладення та оформлення [Текст]: метод. посібник / Є. В. Коновалов, Л. М. Козар. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – 36 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.П. Фалендиш

---

Буряковський Сергій Геннадійович, канд. техн. наук, професор кафедри автоматизованих систем електричного транспорту Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-74.  
E-mail: sergbyg@i.ua.

Старченко Володимир Сергійович, магістрант кафедри автоматизованих систем електричного транспорту Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: vsshjg@meta.ua.

Buryakovskiy Sergiy, candidate of technical sciences, professor department of automated electric transport systems, Ukrainian State University of Railway Transport.

Starchenko Volodymyr, master student department of automated electric transport systems, Ukrainian State University of Railway Transport.

Стаття прийнята 16.06.2016 р.

УДК 656. 027 (100)

## **ІНТЕГРАЦІЯ УКРАЇНСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ШВИДКІСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ДО МІЖНАРОДНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ**

**Канд. техн. наук Ю. В. Шульдінер, магістр В. М. Кальян**

## **ИНТЕГРАЦИЯ УКРАИНСКИХ ПАССАЖИРСКИХ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОК В МЕЖДУНАРОДНУЮ ТРАНСПОРТНУЮ СЕТЬ**

**Канд. техн. наук Ю. В. Шульдинер, магистр В. М. Кальян**

## **INTEGRATION OF UKRAINIAN PASSENGER HIGH-SPEED TRANSPORTATION TO INTERNATIONAL TRANSPORT NETWORK**

**Cand. of techn. Y. Shuldiner, master student V. Kalyan**

*У статті розглянуто перспективи розвитку високошвидкісних перевезень в Україні. За результатами моделювання з використанням мереж Петрі визначено варіанти організації міжнародних пасажирських залізничних перевезень з мінімальними витратами часу та запропоновано шляхи оптимізації міжнародних пасажиропотоків при перетині кордонів.*

**Ключові слова:** пасажирський швидкісний рух, міжнародні перевезення, моделювання, залізничний транспорт, інфраструктура залізниць.

*В статье рассмотрены перспективы развития высокоскоростных перевозок в Украине. По результатам моделирования с использованием сетей Петри определены варианты организации международных пассажирских железнодорожных перевозок с минимальными затратами времени и предложены пути оптимизации международных пассажиропотоков при пересечении границ.*

**Ключевые слова:** пассажирские скоростные перевозки, международные перевозки, моделирование, железнодорожный транспорт, инфраструктура железных дорог.

*The article examines the prospects for the development of high-speed traffic in Ukraine, the main obstacles for further development of high-speed traffic and the possibility of international passenger rail transport based on the experience of other countries. The main purpose of the article is to analyze the implementation and development of international high-speed passenger services, such as the strengths and competitiveness of international passenger rail transportation. This work analyzes the possibility of increasing the shuttle speed and reduce the length of trains on international directions, the prospects of high-speed passenger traffic from Europe, with 1435 mm railway track and simplification of customs formalities at the border.*

**Keywords:** *passengers high-speed transportations, the International transportations, modeling, railway transport, railways infrastructure.*

**Вступ.** Забезпечення ефективного функціонування залізниць України на ринку транспортних послуг вимагає подальшого розвитку і впровадження нових інформаційних технологій у сфері організації пасажирських перевезень. При цьому необхідно покращити якість обслуговування пасажирів, зберегти конкурентоспроможні позиції та підвищити ефективність роботи за рахунок скорочення витрат і збільшення доходів.

Враховуючи геополітичне розташування нашої країни та намагання досягти європейського рівня у всіх сферах економіки, на сьогоднішній день розвиток у сфері залізничного руху набуває все більшої актуальності. За часи існування України пасажирські залізничні перевезення мали переважно збитковий характер. На сьогодні ця галузь реформується. На державному рівні запроваджено програму модернізації й реструктуризації пасажирських перевезень (Розпорядження Кабінету Міністрів України № 979-р «Про схвалення Концепції Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів»). Враховуючи, що швидкісні перевезення є вагомим показником розвитку країни у транспортній галузі та соціально-економічній сфері в цілому, актуальність розвитку та інтеграція швидкісного руху має велике значення.

На сьогоднішній день для нашої країни швидкісний рух знаходиться в межах 140-160 км/год. У світі ця швидкісна планка дещо вища і знаходиться на рівні

200-250 км/год, що дає змогу переймати закордонний досвід для покращення та розвитку мережі швидкісних перевезень України.

Варто звернути увагу, що зараз рівень розвитку залізничної транспортної системи стає більш актуальним з кожним днем, а для України створення швидкісних перевезень у міжнародному сполученні – це не що інше, як можливість вийти на міжнародний рівень [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відповідно до Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року у нашій державі розглядають можливості впровадження інтеграції наших залізниць до європейської мережі. Наукові дослідження у сфері підвищення швидкості руху поїздів проводили і проводять науково-дослідні інститути, вчені й фахівці України та інших країн світу. Питання підготовки колії до швидкісного та високошвидкісного залізничного руху були розглянуті у роботах професорів А. Ф. Золотарського, М. А. Чернишова, О. П. Єршкова та М. А. Фрішмана.

В роботах таких авторів як С. В. Вершинський, О. Я. Коган, В. Ф. Ушкалов, М. Л. Коротенко, В. Д. Данович, М. О. Радченко, В. А. Лазарян викладено дослідження процесів взаємодії колії та рухомого складу при високих швидкостях.

Науковим основам удосконалення поздовжнього профілю і плану залізниці з використанням математичних моделей присвячені роботи професорів Є. П. Блохіна, В. В. Рибкіна, А. А. Босова,



Г. Л. Аккермана, А.К. Дюніна, І. І. Кантора, І. В. Турбіна, В. О. Бучкінаю.

Проблемою визначення економічної ефективності впровадження швидкісних перевезень в Європі займається французька фірма «SYSTRA», якою саме розроблені теоретичні та практичні підходи щодо вирішення цього питання [2].

Вирішенням задач цієї різнобічної проблеми займалися за кордоном професори Н. Балух, А. Тіль, К. Мацубара, Ф. Бірман та ін.[2].

**Визначення мети та задачі дослідження.** Основною метою статті є аналіз впровадження та розвитку міжнародних швидкісних пасажирських перевезень, а саме:

- переваги та конкурентоспроможність міжнародних пасажирських залізничних перевезень;

- можливість збільшення маршрутних швидкостей й зменшення тривалості руху на міжнародних напрямках;

- організація перевезень з країнами Європи, що мають залізничну колію 1435 мм;

- спрощення митних формальностей на кордоні.

**Основна частина дослідження.** Велика провізна спроможність залізниць України, стабільність їх роботи та порівняна дешевизна перевезень сприяли тому, що залізничний транспорт був і залишається у країні основним перевізником пасажирів у міжміському (далекому) та приміському сполученні. Міжнародні пасажирські перевезення до країн Європи здійснюються переважно авіаційним та автотранспортом [3].

Головним конкурентом даного виду сполучення на відстанях обслуговування від 400 до 700 км є автомобільний транспорт. При цьому автомобільний транспорт виграє за параметрами вартості перевезень, яка у два рази нижча. Тим не менше він суттєво програє за часом подорожі та комфортом. А авіаційний транспорт хоч і забезпечує перевагу в часі

на відстані більше 500 км, проте залишається занадто дорогим. Більш того, якщо врахувати час проїзду між центром міста та аеропортом та час, що витрачається на оформлення формальностей (реєстрація на рейс) та час очікування вильоту, часові переваги авіаційного транспорту значно зменшуються [4].

Високошвидкісні залізничні перевезення в державах Західної Європи стали серйозним конкурентом для авіатранспорту, а в деяких випадках – для особистих легкових автомобілів. Час руху є чи не найважливішою складовою користування швидкісними пасажирськими перевезеннями міжнародного рівня, тому необхідно, щоб час подорожі був співрозмірним або ненабагато більшим, ніж при подорожі літаками. Через значну обмеженість фінансових ресурсів і наявність високорозвиненої і незавантаженої мережі залізниць, найбільш доцільно для нашої країни перейняти досвід Німеччини та Італії щодо модернізації і спрямлення існуючих магістралей для реалізації швидкісного руху. Значна частина загального обсягу пасажирських перевезень (до 90 %) при відстанях поїздок до 500 км, при їх тривалостях до трьох годин виконується залізницею. При відстанях перевезень більше 1000 км відбувається конкуренція між залізницями й авіатранспортом. Переможцем в цій боротьбі за першість на транспортному ринку вийде той вид транспорту, який надасть пасажирам більш широкий сервісний спектр послуг вищої якості та гарантовану безпеку.

Однак сьогодні залізниці вже не повною мірою відповідають сучасним вимогам, які висуваються до транспорту, насамперед щодо тривалості поїздок.

Незважаючи на вжиті за останні роки заходи з оновлення верхньої будови колії, земляного полотна та рухомого складу, максимально дозволена швидкість руху пасажирських поїздів на залізницях України залишається порівняно невисокою

– 120 км/год (крім напрямків Київ - Харків та Київ - Дніпропетровськ з максимальною швидкістю руху 140 км/год). Маршрутна швидкість руху пасажирських поїздів на основних напрямках ще нижча (55-65 км/год) [3,9,10].

Радикальним заходом, який надасть залізницям змогу зберегти передові позиції у сфері пасажирських перевезень, є створення мережі швидкісних магістралей, що забезпечить значне зростання обсягів залізничних перевезень, у тому числі за рахунок залучення пасажирів з інших видів транспорту. Це підтверджує і досвід Західної Європи, де завдяки підвищенню швидкості руху поїздів залізниці мають перевагу перед авто- та авіатранспортом на відстані 250-500 кілометрів і на рівних конкурують з авіацією у діапазоні 500-1000 кілометрів. Залучення залізницями нових обсягів перевезень сприятиме підвищенню мобільності населення та розширенню міжнародного співробітництва.

З метою впровадження швидкісного руху у міжнародному сполученні необхідно розв'язати проблеми, які раніше не стояли перед залізничним транспортом. Це усунення та спрощення митних і прикордонних оформлень при прямуванні пасажирів до іншої країни. Впровадженню швидкісного руху пасажирських поїздів у міжнародному сполученні сприятиме з'єднання мережі швидкісних залізниць України із закордонними швидкісними і високошвидкісними залізницями, зокрема, розглядаються виходи до інших країн через прикордонні передавальні станції.

Для аналізу послідовності проходження технологічних операцій при швидкісних пасажирських перевезеннях доцільно розробити імітаційну модель організації швидкісних маршрутів з використанням мережі Петрі, яка являє собою графічний та математичний засіб моделювання, що застосовується до систем керування та прогнозування різних типів (див. рисунок).

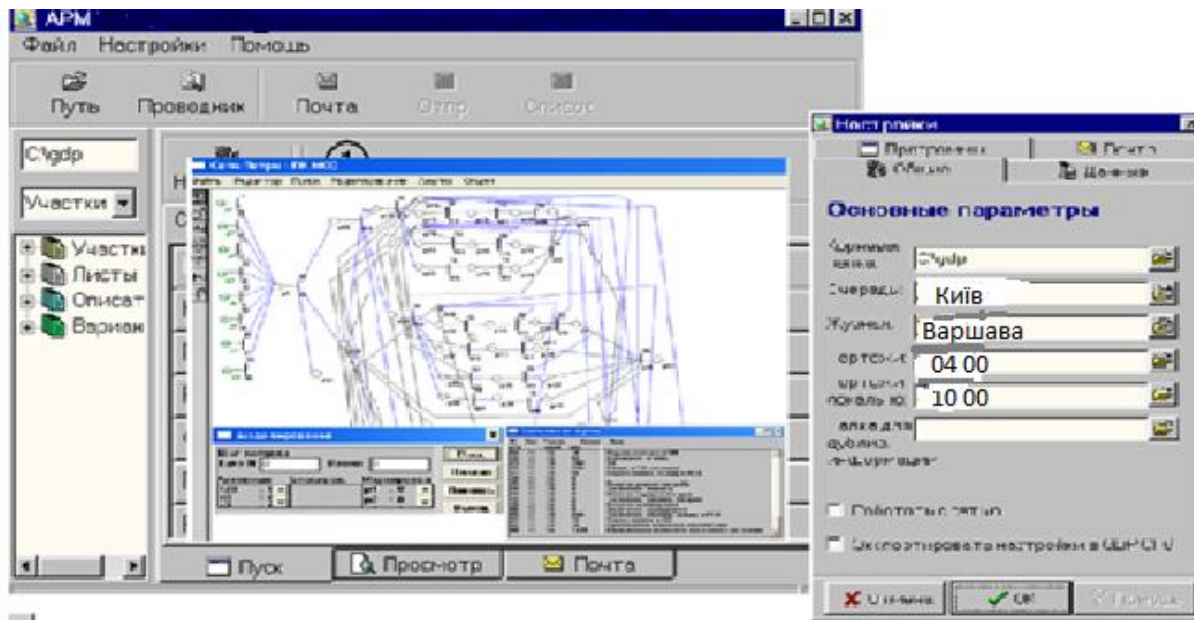


Рис. Вікно програмного інтерфейсу моделювання швидкісних пасажирських перевезень у міжнародному сполученні

Для отримання результатів моделювання розроблено програмний продукт, в основу якого покладено математичну модель, що відображає організацію руху та враховує можливі очікування на прикордонних передавальних станціях за різних умов. При моделюванні враховано комплексний підхід до визначення критерію впливу відмов у підсистемі передачі міждержавного вагонопотоку України та суміжних держав, що дозволяє мінімізувати можливості затримок поїздів та враховує зовнішні фактори впливу на систему з боку митних та інших служб.

За аналізом всієї системи з'ясовано, що прямування швидкісного маршруту є складною подією, яка складена з затримок на деяких етапах. Протилежна до неї подія є проходження маршруту без перешкод на всіх етапах, що є добутком подій, тобто незатримка на етапі проходження кордону і т.д. Результати обчислюються за формулою

$$P\left(\sum_{i=1}^m \Pi_i\right) = \left[ 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P(\Pi_j)) \right], \quad (1)$$

де  $\Pi_i$  - перешкода при прямуванні на  $i$ -тому етапі.

Обчислимо кількість можливих перешкод за одиницю часу ( $M_{cp}$ )

$$M_{cp} = N_{cp} \cdot P\left(\sum_{i=1}^m \Pi_i\right), \quad (2)$$

де  $N_{cp}$  – кількість вагонів, що проходять крізь станцію, за одиницю часу;

$\sum_{i=1}^m \Pi_i$  – вірогідність затримання в системі.

Якщо поїзд затримується при прямуванні, то позначимо через  $t_{cp}$  середній час затримки та розрахуємо вагоно години

затримки, що має технічні або технологічні проблеми ( $T_{Mi}$ )

$$T_{M_i} = t_{cp} N_{cp} \cdot P\left(\sum_{i=1}^m \Pi_i\right). \quad (3)$$

Знаючи вартість вагоно години простою, можна отримати функцію вартості затримки поїзда ( $F$ )

$$F = C_{\text{вз}} \cdot t_{cp} N_{cp} \cdot P\left(\sum_{i=1}^m \Pi_i\right), \quad (4)$$

де  $C_{\text{вз}}$  – можлива вартість простою на прикордонних передавальних станціях.

За допомогою отриманої функції вартості затримок поїздів при технічній та технологічній обробці у системі передачі вагонопотоку між країнами можна обчислити і зменшити витрати на організацію швидкісного маршруту.

На сьогодні, поки безвізовий режим з країнами Європи у стадії впровадження, здійснення міжнародних європейських рейсів можливе за умов отримання Шенгенської візи та проходження митних формальностей. Тому поки що доцільно використати досвід інших країн з оформлення міжнародних залізничних рейсів. На зразок авіаційного транспорту митні процедури слід проводити у пункті відправлення та призначення. Також існують варіанти, де повторний досмотр здійснюється більш формально, що надає змогу заощадити час тривалості подорожі. У зв'язку з перспективами приєднання України до Євросоюзу або спрощенням процедур при перетині кордонів міжнародні залізничні рейси стають більш реальними й актуальними [7, 8].

Моделювання організації швидкісного пасажирського руху у міжнародному сполученні за умов усунення митних формальностей дозволяє відобразити процес перетину кордону за різних умов та отримати достовірні результати щодо часових витрат, а також

відобразити технологію швидкісного перевізного процесу в цілому.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Результати моделювання міжнародних швидкісних перевезень визначили найбільш «вузькі» місця на шляху міжнародної інтеграції залізниць України. Для України можливість введення швидкісного руху міжнародного рівня можлива лише за умови вирішення ряду проблем. У імітаційній моделі найбільшою за часовими витратами є проблема невідповідності ширини колії, оскільки стандарт 1435 мм не відповідає коліям нашої країни, де всі колії складають 1520 мм [3]. У подальших дослідженнях слід розглянути можливі шляхи вирішення цього питання.

1. Побудова окремих швидкісних ліній з колією європейського стандарту в 1435 мм, що дадуть можливість приєднати свою мережу до швидкісних ліній LGV, як це впроваджено в Іспанії, де стандартна колія складає 1674 мм.

2. Найбільш поширеним способом для поєднання колій 1520/1435 мм є заміна візка вагона. Для цього на прикордонних станціях розміщуються додаткові колії для проведення таких процедур. Даний підхід має суттєвий недолік, а саме збільшення часу обороту вагонів, значні затрати технологічних та виробничих ресурсів.

3. Актуальною постає проблема розробки розсувних колісних пар, що здатні без зупинки руху змінити ширину колісних пар. В європейській залізничній практиці відомі декілька систем

автоматичного переходу вагонів з однієї колії на іншу. До таких систем відноситься: система «Talgo» (Іспанія), система «DBAG/Rafil» (ФРН), система «БТ» (Болгарія), система SUW2000 (Польща).

4. Найбільш зручним підходом до вирішення цієї проблеми у нашій країні є наявність суміщених рейкових колій, або дві паралельні залізниці різних колій. В Україні уже існує відрізок колії «Дьяково-Чоп», де поїзди можуть проїхати з Румунії в Угорщину або Словаччину через Україну на звичайних візках, розрахованих на колії 1435 мм [6].

На сьогоднішній день, навіть не маючи розвиненої європейської інфраструктури, Україна вже має успішний досвід впровадження швидкісних пасажирських перевезень, останнім досягненням яких є поїзди Intercity та Intercity+. Поки що такі поїзди курсують лише по території нашої країни. Обсяги пасажирів швидкісними поїздами з кожним роком зростають. Так, пасажиропотік в період літніх місяців (червень-серпень) 2015 року становив 889 628 пасажирів, що майже вдвічі більше, ніж за аналогічний період 2014 року (480 154 пасажирів), та значно більше аналогічного показника 2013 року (580 211 пасажирів) [6]. Маючи такі показники, можна зробити висновок, що швидкісні пасажирські перевезення увійшли до нашого повсякденного життя і потрібні нашій країні, отже, існує доцільність створення швидкісних та високошвидкісних перевезень і на міжнародному рівні.

### *Список використаних джерел*

1. Константинов, Д. В. Розвиток швидкісних пасажирських перевезень на залізницях України [Текст]: тези доп. / Д. В. Константинов // Тези доп. 75-ї наук.-техн. конф. – У кн.: Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 136. – 382 с.

2. Момот, А. В. Економічна ефективність високошвидкісних пасажирських залізничних перевезень в Україні [Текст]: дис... канд. економ. наук / А. В. Момот. – Дніпропетровськ, 2014. – 192 с.

3. Концепція Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки [Електронний ресурс]: розпорядження Кабінету Міністрів України від 31 грудня 2004 р. № 979-р. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/979-2004-p>.
4. Красноштан, О. М. Деякі аспекти маркетингової стратегії швидкісних залізничних перевезень [Текст] / О.М. Красноштан // Наук. вісник. – Херсон: Херсонський державний університет, 2013. – С. 72-74.
5. Високошвидкісні залізничні магістралі зарубіжної Європи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://moyaosvita.com.ua/geografija/visokoshvidkisni-zaloznichni-ma-gistrali-zarubizhno%D1%97-uevropi/>
6. Якіменко, В.В. Перспективи розвитку швидкісного руху у міжнародному сполученні для України. Досвід інших країн у створенні швидкісних пасажирських перевезень [Текст] / В.В. Якіменко, В.В. Петрушов // Scientific Journal «ScienceRise». – 2015. – №10/2(15). – С. 32-34.
7. Шульдінер, Ю. В. Пропозиції щодо функціонування залізничних прикордонних станцій на базі створення транспортно-логістичних кластерів [Текст] / Ю.В. Шульдінер, Н.В. Омельчук // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 140. – С. 31-37.
8. Ukrainian railway speed company. Available at: <http://intercity.uz.gov.ua>.
9. Watling, D. P. Cordon toll competition in a network of two cities: Formulation and sensitivity to traveller route and demand responses [Text]: I П Shepherd, A. Koch - Transportation Research Part B: Methodological Vol. 76, June 2015, pp. 93-116.
10. Mahmoudi M, Finding optimal solutions for vehicle routing problem with pickup and delivery services with time windows: A dynamic programming approach based on state-space-time network representations [Text]: S. Чжоу / Transportation Research Part B: Methodological Vol. 89, July 2016, pp. 19-42.

Рецензент д-р техн. наук, професор Д.В. Ломотько

---

Шульдінер Юлія Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (050)982-65-60.

E-mail: [julia.shuldiner@ukr.net](mailto:julia.shuldiner@ukr.net).

Кальян Володимир Михайлович, магістрант ІППК. Тел.(067) 578-00-50. E-mail: [56184@ukr.net](mailto:56184@ukr.net).

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

Kalyan Volodymyr Mykhailovich, Listener IPPK. Tel. (067) 578-00-50. E-mail: [56184@ukr.net](mailto:56184@ukr.net).

Стаття прийнята 17.06.2016 р.

УДК 624.19.05

## APPROACH TO STRUCTURING OF BUILDING COSTS FOR CONSTRUCTION AND OPERATION OF UTILITY TUNNELS

Dr.sc. sciences D. F. Goncharenko, phd. tehn. A. I. Aleinikova,  
deputy general director СЕ «Harkivvodokanal» V. N. Volkov

## ДО ПИТАННЯ ЩОДО ПРИНЦИПУ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ВИТРАТ НА БУДІВНИЦТВО ТА ЕКСПЛУАТАЦІЮ МІСЬКИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ ТУНЕЛІВ

Д-р техн. наук Д. Ф. Гончаренко, канд. техн. наук А. І. Алейникова (ХНУБА),  
заступник генерального директора КП «Харківводоканал» В. М. Волков

## К ВОПРОСУ О ПРИНЦИПЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЗАТРАТ НА СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЮ ГОРОДСКИХ КОММУНИКАЦИОННЫХ ТОННЕЛЕЙ

Д-р техн. наук Д. Ф. Гончаренко, канд. техн. наук А. И. Алейникова (ХНУСА),  
заместитель генерального директора КП «Харьковводоканал» В. Н. Волков

*Infrastructure development of cities and effective operation of the modern municipal facilities are always connected with the active development of underground space, i.e. construction of tunnels of various application and especially utility galleries. This article envisages the issues relating to the expenditures for construction and operation of utility galleries, as well as performance evaluation of variants applied to their construction and operation.*

**Keywords:** utility gallery, water pipeline, costs, losses, expenditures, risks.

*Розвиток інфраструктури міст, ефективне функціонування сучасного міського господарства безперервно пов'язані з інтенсивним освоєнням підземного простору, зокрема, зі спорудженням тунелів різного призначення і в першу чергу комунальних комунікаційних тунелів. У цій статті розглянуто питання про витрати на спорудження й експлуатацію міських комунікаційних тунелів, оцінки ефективності застосовуваних варіантів їх будівництва й експлуатації.*

**Ключові слова:** комунікаційний тунель, водогін, витрати, збитки, ризики.

*Развитие инфраструктуры городов, эффективное функционирование современного городского хозяйства непрерывно связаны с интенсивным освоением подземного пространства, в частности, с сооружением тоннелей различного назначения и в первую очередь коммунальных коммуникационных тоннелей. В данной статье рассмотрены вопросы о затратах на сооружение и эксплуатацию городских коммуникационных тоннелей, оценки эффективности применяемых вариантов их строительства и эксплуатации.*

**Ключевые слова:** коммуникационный тоннель, водовод, затраты, ущерб, издержки, риски.

**Problem setting.** Under current conditions, the ecological safety of construction and operation of utility galleries

greatly contributes to the sustainable development of megalopolises. The major element of municipal utility system is utility

galleries, which are pass-through underground tunnels meant for joint laying of the following utility systems of various applications: heating services, water distribution networks, telecommunication cables, etc. The necessity to take into consideration the special features of municipal settings, the high density of overground housing system, presence of essential structures over the surface, dense network of underground utilities, determines the practical applying of innovative methods for construction of such utilities. This set of facts attaches conditions for the search of cost effective construction methods and operation of utility galleries.

**Recent research and publications analysis.** Tasks and problems considering the improvement of service life of utility galleries and utility systems are examined to a great extent in works of G.K. Agadzhanov [1], D.F. Goncharenko [2,3], Zh.A.Frankevich [4], A.A. Sapukhin [5], V.M.Simanovich, [6], Ye.Ye.Yermolayev [6], Y.V.Shibaev [7] and many others.

**The research objective** consists in the consideration of the structure of building costs for construction and operation of utility galleries.

**Key research findings.** Today, numerous underground facilities of different application are fully or partially located under the main transport routes. Unsatisfactory condition of utility galleries and utility systems in most cities of Ukraine that is caused by the high technical wear and deficient operation control, results in numerous damages of their particular sections. There are numerous utility galleries and passes in Kharkov city. Of particular interest is the utility gallery with the approximate length of 2 km, in which two lines of pressure water pipeline with diameter of DN 1200 mm and DN 600 mm are laid in parallel. It must be admitted that its useful lifetime, which is more than 40 years, exceeds the design life. In this regard, the issues, relating to the cost-effective and safe operation of utility galleries and their distribution systems, planning of recovery operation strategy as well

as timely response to damages, are really actual ones [2].

The main feature of underground utility systems is a need for technical-economic and social-economic performance evaluation of variants applied for their construction and repair during operation [1].

The overall value of construction and operation of utility galleries must consider the following charges:

- design and survey work;
  - establishing and development of building site;
  - capital expenditure for laying of galleries, mines and chambers intended for assembling and disassembling of excavating equipment; water drainage; ventilation of mine openings; materials supply and issuance; people descending; pipelines laying etc.;
  - involved (indirect) costs incurred in the cut-and-cover laying of galleries and re-laying of existing underground utilities. Moreover, the involved costs, arisen during perambulating of the building site (route elongation), are also incurred when constructing the cut-and-cover galleries in an urban setting;
  - losses from possible accidents caused by the increased traffic volume on other streets;
  - losses of enterprises and government offices from the late delivery of passengers and cargoes;
  - losses from confiscation of land plots for the period of construction;
  - extra expenditures of municipal services for liquidation of streets dirtying and loading of rain water system;
  - expenditures connected with the repair of roadway paving after subsidence, appeared in 1-2 years after the trenches backfilling.
- Additionally, it is necessary to take into consideration the operation cost incidental to expenditures, which are connected with state control of utility galleries during operation, as well as their current and full repairs when in service. During construction and operation of utility galleries under uncertainty, the extra

expenditures (losses), which are united into specific group – risk losses [8] are possible to arise.

Risk losses (expenditures) may develop during construction and operation of utility systems. In the period of construction, the risk losses include:

–Possible influence of changes in geotechnical conditions which arise during construction, when the designed construction methods do not correspond to actual conditions. The practice of underground development shows that the abandoned collecting canals, construction waste as well as various utility systems, which are not specified in the construction documentation, may often crop up along the digging way.

–Occurrence of flooded soil and high level of underground water. In this case the projected technology of roadway construction does not produce the necessary effect resulting in expenditures for management of additional works such as chemical injection, ground freezing and dewatering, etc.

During operation of utility galleries, which maintenance-free service life is projected for more than 50 years, there is a probability of partial or full coming out of immediate support within the particular sections of the route. Such coming outs are caused by the external geologic, hydrogeologic and technical impacts, as well as in conformity of support parameters to these impacts. In this case, the possible expenditures for liquidation of damages within route sections will embrace the costs for repair of utility gallery, building of the temporary utility line diagram within the fault section and possible ecological damage caused by the breakage.

Thus, the structure of costs, intended to construction and operation of utility galleries, may be divided into four groups:

- 1) Direct (initial) expenses;
- 2) Indirect costs;
- 3) Operation expenses;
- 4) Risk losses.

Initial direct expenses include mainly the costs for design of utility systems. Moreover,

the initial direct expenses contain the expenditures for permission documentation and approvals, as well as capital expenditures for carrying-out of construction operations.

The group of indirect costs includes expenditures for establishing of working site, shift and re-laying of underground utility systems, losses of city transport caused by the change of transport scheme, repair of roadway paving after subsidence, expenses involved in confiscation of land plots etc. Operation expenses include costs for controlling the route during operation, as well as costs for current and full repairs [9].

From the standpoint of impact on the whole service life of underground structure, the construction risks are predominant during building. Such risks may be divided into the following types [8]:

- errors and mismatches of design choices to the actual building conditions;
- risks associated with failures to comply with quality requirements of construction operations;
- risks associated with failures to comply with requirements as to construction period;
- risks as to security of the qualitative construction materials;
- risks connected with the safe usage of equipment;
- technological risks caused by the in conformity of equipment to geologic and hydrogeologic conditions.

Risk losses are possible to arise not only in the period of utility galleries construction, but during the whole service life of underground facility [7]. Service life of underground facility means the time from design development to the moment, when utility galleries are fully out of service. It is interesting method of determining the vulnerable areas of communication tunnels based on the principle set out in the work [10].

Taking into consideration all operational cycles, the service life of underground facility, which is possible to be determined in accordance with the formula, will be [4]:



$$T_{sl} = t_{pr} + t_c + t_o + t_d, \quad (1)$$

where  $T_{sl}$  – service life of underground facility, years;

$t_{pr}$  – period of underground facility projecting, years;

$t_c$  – construction period, years;

$t_o$  – operational period of utility galleries, years.

$t_d$  – period of decommissioning and disassembling of utility galleries, years.

During operation of utility galleries, the risks are presented in the form of partial or complete breakdowns of system or its constituent elements. Their repair needs extra

$$S = -\sum_{i=1}^{k_i} (k_{ds} + k_c + k_i) + \sum_{i=1}^{T_i} (A + Pr - E_c - E_f) - P(C_l^d + C_l^i), \quad (2)$$

where  $k_{ds}$ ,  $k_c$ ,  $k_i$  – cost value of design and survey work, direct expenses for project construction, indirect costs, c.u.;

$A$  – depreciation amount by basic funds used during the operational phase of object service, c.u.;

$Pr$  – profit from transportation of introduced or used resources through galleries, c.u.;

$E_c$ ,  $E_f$  – expenditures for current and full repairs of utility galleries, c.u.;

$P$  – probability of system failures (risks) during its construction and operation, fr.unit;

$C_l^d$ ,  $C_l^i$  – extend of expected direct and indirect losses, c.u.;

It must be admitted that the cost value of utility gallery operation may exceed the amount of moneys received for its construction. In this case, the index [S] will possess the negative quantity.

In **conclusion**, it should be admitted that in contrast to the aboveground facilities, the construction of utility galleries is connected with the necessity to excavate and remove the considerable soil volumes, as well as build up the cut-and-cover structures, requiring serious financial investments. The performance of these works needs the constant control at all

expenditures, which lead to the direct production losses. The extent of ensuing losses depends on the necessary volume of extra expenditures raised for performance restoration of utility galleries. Based on experience of operation of utility galleries with the aim of combined laying of pressurized water supply networks, major failures and recommendations, necessary for activities on restoration of their operational safety, are highlighted (Table 1) [6].

Thus, the result of economic appraisal of activities relating to construction and operation of utility galleries [S] may be determined as follows:

stages of excavating and building processes, which are usually conducted under difficult engineering-geological and hydrogeologic conditions. Moreover, the control must be maintained at the narrow work front, as well as under conditions, when the space of utility gallery is blocked up with supports and various excavating and transport equipment. Therefore, in order to forecast the total investments for construction, it is necessary to take into consideration the unscheduled expenditures connected with possible risks.

In summary, it is important to mention that the main economical aspect of effective operation of utility galleries consists in the detailed study of structuring of costs, which are intended for their building and operation. The article envisages the questions relating to the costs structuring and performance evaluation of construction and operation of utility galleries. The special attention is given to estimation of possible galleries damages and ways of their solving. In future, the economical estimation of risk factors, which are connected with damage of utility galleries, as well as the economic assessment of construction and repair methods of utility galleries are of special interest.

Table 1

## List of major failures within utility galleries

Ser. No.	Physical damages within utility galleries	Possible consequent effects of arisen failures	Necessary activities on renewal of utility galleries operation
1	Severe corrosion of load carrying structures of immediate support (lining)	Reduction of load-carrying ability of immediate support, deformation and destruction of mine roadway	Complete overhaul of utility gallery including the removal of worked-out support, cutting of road trenches and backfill
2	Disturbed support of underground structure, breaking/shearing of bolted connections	Leakages, returns, deformations, subsidence, gabarites mismatch, reduction of working safety of mine roadways	Partial overhaul of deformed sections of immediate support
3	Removal of enclosing rocks adjacent to immediate supports of mine roadways	Deformation of immediate support, reduction of load-carrying ability of immediate support, separation of troughing block, gabarites mismatch	Partial overhaul of immediate support and cement grouting of soils adjacent to mine roadways
4	Disturbed water resistance of utility galleries with water entry on electrical facilities, heating main pipes etc.	Possible soil discharging, emergency situations	Cement grouting and stabilization of soil adjacent to mine roadway, waterproofing of immediate support, cement covering
5	Silting of open and closed drains systems	Structure submergence	Partial overhaul with cement grouting of supported space, local drainage
6	Maximum allowed sagging of ceiling beams and boards	Cracks of tension zones, disturbed waterproofing, leakages, reinforcement corrosion, destructions	Partial or complete overhaul of utility galleries
7	Maximum allowed ellipticity of support rings	Gabarites mismatch, reduction of load-carrying ability of immediate support	Partial or complete overhaul
8	Cracks in reinforced-concrete support blocks of round shapes (tension zones)	Leakages, reinforcement corrosion, reduction of load-carrying ability of immediate support	Partial overhaul of utility galleries
9	Metal ware deformation	Sagging, breaking of joint welds, leakages, returns, support deformation of underground structures, corrosive defects	Partial overhaul of utility galleries
10	Structure failure of utility gallery caused by the pipe breakages (breaching of pressurized water supply mains etc.)	Reduction of load-carrying ability of immediate support, deformation and destruction of mine roadway	Damage control of pipelines, partial or complete overhaul of utility gallery according to magnitude of accident
11	Occurrence of hidden leakages within water pipelines laid in utility galleries	Destruction of gallery lining, development of corrosion processes	Elimination of point damages within water pipelines, local drainage, operating repair of utility gallery

*References*

1. Агаджанов, Г. К. Экономика водопроводно-канализационных предприятий [Текст]: навч. посібник / Г.К. Агаджанов. – Харків: ХНАМГ, 2010. – 392 с.
2. Гончаренко, Д. Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление трубопроводов водоснабжения [Текст] / Д. Ф. Гончаренко, А. И. Алейникова, Х. Вевелер. – Харьков: Раритеты Украины, 2015. – 280 с.
3. Гончаренко, Д. Ф. Организационно-технологические решения ремонта и восстановления канализационных коллекторов Харькова [Текст] / Д. Ф. Гончаренко, Ю. В. Булгаков, О. В. Старкова // Вода и экология. Проблемы и решения. – СПб.: ЗАО «Водопроект-Гипрокоммунводоканал», 2014. – Вып. 1 (57). – С. 62-70.
4. Франкевич, Ж. А. Экономико-математическая модель оценки эффективности проектов строительства коллекторных тоннелей [Текст] / Ж.А. Франкевич // Сб. науч. тр. ЦНИЭИУголь. – М, 2008. – №21. – С. 70-74
5. Сапухин, А. А. Анализ эффективности применяемых технологий при выборе подходов к организации строительства и ремонта трубопроводов [Текст] / А.А. Сапухин, В.А. Курочкина, С.О. Новиков // Вестник МГСУ. – 2013. – Вып. 7. – С. 96 – 103.
6. Симанович, В. М. Особенности определения затрат в составе сводного сметного расчета стоимости строительства [Текст]: практ. пособие / В.М. Симанович, Е.Е. Ермолаев. – М.: Москва, 2010. – 280 с.
7. Шибаев, Е. В. Оценка экономических и технических рисков и взаимосвязь по эксплуатации горных выработок [Текст]: научные труды / Е. В. Шибаев, Ж. А. Франкевич. – М.: ОАО ЦНИЭИ уголь, 2011. – №26. – 6 с.
8. Пикфорд, Д. Управление рисками [Текст]: пер. с англ. / Д. Пикфорд. – М.: ООО «Вершина», 2004. – 352 с.
9. Друри, К. Введение в управленческий и производственный учет [Текст] / К. Друри. – М.: Аудит, 1998. – 774 с.
10. Старкова, О. В. Разработка автоматизированной информационной системы определения приоритетных объектов реновации трубопроводов водоснабжения [Текст] / О. В. Старкова, Л. А. Гнучих, Е. А. Шаповалова, Д. А. Бондаренко // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – К.: Техника, 2011. – Вып. 99. – С. 312–316.

---

Гончаренко Дмитро Федорович, д-р техн. наук, проректор з науково-педагогічної роботи Харківського національного університету будівництва та архітектури.

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

E-mail: gabriel222@rambler.ru.

Волков Владлен Миколайович, заступник генерального директора з експлуатації водопровідного господарства КП «Харківводоканал». Тел.: (057)712-46-73. E-mail: pto@citynet.kharkov.ua.

Goncharenko Dmitriy, Dr. Sc. science, vice president for research and educational work of Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057)700-02-40. E-mail gonch@kstuca.kharkov.ua.

Aleynikova Alevtina, PhD. Sc. Sciences, assistant department of building technology, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (066) 291-31-87. E-mail: gabriel222@rambler.ru.

Volkov Vladlen, deputy general director of the operation of water supply CE «Harkivvodokanal» Tel.: (057) 712-46-73. E-mail: pto@citynet.kharkov.ua.

Стаття прийнята 17.06.2016 р.

УДК 656.222.1

**ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЛІКВІДАЦІЇ ВОРОЖИХ МАРШРУТІВ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ У ГОРЛОВИНІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ**

Канд. техн. наук Г. О. Примаченко, магістрант Р. О. Трохименко

**ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛИКВИДАЦИИ ВРАЖДЕБНЫХ МАРШРУТОВ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ В ГОРЛОВИНЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ**

Канд. техн. наук А. А. Примаченко, магістрант Р. А. Трофименко

**THE CONSTRUCTION PROCESS OF MATHEMATICAL MODEL ELIMINATION OF HOSTILE ROUTES OF PASSENGER TRAINS IN THE NECK PORTION OF RAILWAY STATION**

Candidate of technical sciences G. Prymachenko, master student R. Trokhymenko

*Розглянуто вирішення актуальної проблеми ліквідації ворожих маршрутів у горловинах залізничних станцій України з метою зменшення тривалості непродуктивних простоеів на підходах до станцій і на станційних коліях. Для цього наведено послідовність розробки математичної моделі ліквідації ворожих маршрутів пасажирських поїздів у горловинах залізничних станцій. Визначено сутність, доцільність, необхідність впровадження розробленої моделі.*

**Ключові слова:** горловина залізничної станції, ворожий маршрут, динамічна модель, супервизорне навчання моделі.

*Рассмотрено решение актуальной проблемы ликвидации враждебных маршрутов в горловинах железнодорожных станций Украины с целью уменьшения продолжительности непроизводительных простоев на подходах к станциям и на станционных путях. Для этого приведена последовательность разработки математической модели ликвидации враждебных маршрутов пассажирских поездов в горловинах станций. Определена сущность, целесообразность, необходимость внедрения разработанной модели.*

**Ключевые слова:** горловина железнодорожной станции, враждебный маршрут, динамическая модель, супервизорное обучение модели.

*The actual problem of liquidation of enemy routes in the neck railway stations Ukraine was consider solving to reduce unproductive downtime duration on the approaches to stations and tracks at the station. For this sequence are developing mathematical models elimination of enemy routes of passenger trains in railway stations neck as universal dynamic mathematical model that was developed for different railway stations both passenger and freight. The essence, appropriateness, necessity of introduction of the model to the automated control system passenger traffic for the operational management of Ukrzaliznytsia. The resulting dynamic model aimed at the speedy promotion schedule with the highest priority, allowing to get maximum benefit from the use of infrastructure. This model is flexible and adaptable to the changing situation, the solution can significantly alleviate the problem of destruction of hostility routes and increase traffic safety, passenger service quality and efficiency of means of rail transport capacities of the crossings, railway stations.*

**Keywords:** neck of the railway station, the hostile route, dynamic model, supervisory training of model.

**Вступ.** Дослідження, наведене у даній статті, належить до галузі технічних наук напрямку транспортних технологій. Проблема виявлення ворожих маршрутів у горловинах залізничних станцій і досі є актуальною, незважаючи на її дослідження науковцями та постійне удосконалення Автоматизованої системи керування пасажирськими перевезеннями Укрзалізниці (АСК ПП УЗ). При виявленні ворожих маршрутів у горловинах залізничних станцій виникають затримки поїздів при їх прийманні та відправленні, що у свою чергу призводить до порушення розкладу руху поїздів та усіх технологічних операцій не лише на даній станції, а й на всьому маршруті руху. При прийманні та відправленні поїздів обов'язковою умовою забезпечення безпеки руху і працездатності схем обігу пасажирських поїздів є недопущення ворожості маршрутів їх приймання і відправлення в горловинах станцій. При складанні розкладу руху поїздів необхідно враховувати можливості горловин станцій і при виникненні ворожості виключати такі маршрути з урахуванням найменших сумарних тимчасових затримок приймання і відправлення поїздів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Багато вітчизняних та закордонних досліджень присвячено питанню удосконалення пропускної спроможності горловин залізничних станцій. Проводились дослідження щодо оптимізації пропускання поїздів на підходах до залізничних станцій на основі математичного апарату теорії розкладу в умовах паралельно-последовного з'єднання пристроїв обслуговування [1]. Реалізація даної моделі дає змогу визначити оптимальний розклад прямування поїздів з мінімальними затримками при кожному їх неузгодженому підведенні до залізничного вузла, але процес визначення оптимальних маршрутів приймання та відправлення поїздів для кожної залізничної станції не було розглянуто.

У роботі [2] вказується, що головні пасажирські станції України характеризуються значною інтенсивністю переміщень у горловинах, особливо тих, які обслуговують пасажирський рух у переважному напрямку. Зважаючи на те, що більшість таких станцій були побудовані та реконструйовані близько п'ятдесяти і більше років тому, їх конструкції вимагають суттєвого удосконалення. Але складність полягає ще в тому, що основна більшість з них розташована всередині великих міст і не дає можливості розроблення раціональних варіантів, тому попередньо необхідно провести дослідження впливу конструктивних і технологічних параметрів при використанні новітніх методик. Запропоновано методику розрахунку пропускної спроможності горловин пасажирських станцій, яка дає змогу вдосконалити їх конструкції залежно від розмірів пасажирського руху з урахуванням пересувань на паралельних маршрутах, але питання виникнення ворожих маршрутів і способи запобігання їм при реконструкції горловини не розглянуто.

Інвестиції в інфраструктурні об'єкти на залізницях України перш за все були спрямовані на обладнання вокзалів [3]. У 2013 році підрозділами будівельно-монтажних робіт і цивільних споруд залізниць здійснено реконструкцію 12 вокзалів та вокзальних комплексів, на 116 вокзалах було проведено ремонт. Внаслідок цих обставин недостатньо виділено коштів на об'єкти станційного господарства. Питання фінансування залишаються важливими для залізничної галузі, але у статті не було розглянуто, як це питання може вплинути на зменшення простоїв поїздів при їх прийманні та відправленні зі станцій.

У статті [4] подано схему маршруту проектування реконструкції дільниці залізничної лінії. Порівнюючи схему реконструкції існуючого маршруту з новою вбудованою схемою, розглядаються питання технологічних параметрів горло-

вин станції, але не в повній мірі досліджено маршрути приймання та відправлення поїздів із залізничних станцій.

У статті [5] вказується, що склад і розмір множин вибору маршрутів руху є одним з ключових для правильної оцінки і прогнозування за моделями їх вибору. У цьому дослідженні пропонується методика складання розкладу руху поїздів на основі методу моделювання для формування наборів вибору шляху в мультимодальній мережі транспорту. Але питання маршрутизації у горловинах залізничних станцій не розглядається.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою даного дослідження є створення методу оптимізації схеми приймання-відправлення пасажирських поїздів на полігоні залізниць.

Для досягнення поставленої мети потрібно було вирішити такі основні задачі:

- провести аналіз вітчизняного і закордонного досвіду організації руху пасажирських поїздів при прийманні та відправленні з залізничних станцій;

- запропонувати методику виключення ворожості маршрутів пасажирських поїздів у горловинах станцій, що виникає при коригуванні схем обігу поїздів.

**Основна частина дослідження.** Для створення методу оптимізації схеми приймання-відправлення пасажирських поїздів на полігоні залізниць було використано математичну модель станції, яка складається з таких основних компонентів: горловини станції, станційних колій та колій прилеглих перегонів. Перелічені елементи пов'язані між собою зв'язками, які впливають один на одного. Даний підхід дає змогу перейти від статички експертної системи до динаміки, що дозволяє при будь-якій випадковій ситуації, що моделюється, отримати фактичне рішення. Тобто модель функціонує у режимі реального часу.

Дана модель являє собою задачу динамічного програмування. Вона дає

можливість з певним ступенем деталізації змодельовати роботу станції при прийманні, відправленні, перестановці поїздів, закритті станційних колій у зв'язку з ремонтними роботами. При цьому розрахунок відбувається не тільки для пасажирських поїздів місцевого та прямого сполучення, а й для приміських і вантажних поїздів.

Модель є універсальною і може застосовуватися для тупикових, наскрізних і вузлових станцій.

Вхідною інформацією моделі є: час прибуття і відправлення поїздів зі станції; необхідні маневрові пересування; мінімальний час стоянки поїзда на станції (для висадки, посадки пасажирів та інших потреб); номер поїзда, за яким визначається його напрям руху (парний, непарний); категорія поїзда, за якою визначається пріоритет прибуття і відправлення зі станції; номер колії, на яку прибуває поїзд і з якої відправляється.

Вихідною інформацією моделі є: номер поїзда; фактичний час прибуття та відправлення поїзда; фактичний час стоянки поїзда на станції; час затримки по прибуттю та відправленню поїзда; номер станційної колії, на яку прибуває поїзд; станційний маршрут прибуття і відправлення поїзда.

Довготривала пам'ять (стан зв'язків між компонентами) представлена таким чином: кількість колій на станції та прилеглих до станції перегонів; перелік маршрутів прибуття і відправлення поїздів; кількість підходів до станції (до кожної горловини станції); зв'язки взаємовпливу між маршрутами, які проходять як всередині горловини, так і між горловинами.

Приклад зв'язків взаємовпливу між маршрутами зображено у вигляді таблиці залежності маршрутів для станції (табл. 1), одиницею показані ворожі один одному маршрути для станції, схема якої подана на рис. 1.

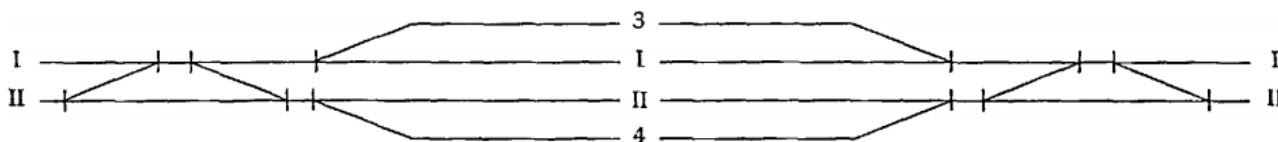


Рис. 1. Приклад схеми залізничної станції

Табл. 1 у моделі визначає схему станції і може враховувати не тільки приймання, відправлення і пропускання поїздів, а й маневрові пересування на станції.

Короткочасна пам'ять (стан самих компонентів) представлена таким чином: розклад прибуття і відправлення поїздів на станції; зайнятість колій (станційних і перегінних) прийманням, відправленням, проходження поїзда, у зв'язку з ремонтними роботами і з інших причин; зайнятість маршрутів приймання та відправлення поїздів; пріоритети поїзда після прибуття і відправлення; пріоритети маршрутів приймання та відправлення поїздів; поточний момент часу.

Поїзди порівнюються за сумарним пріоритетом, який складається із суми таких пріоритетів:

- пріоритет маршруту ( $P_m^i$ , де  $i$  – номер маршруту), маршрути прибуття і відправлення ранжуються окремо один від одного залежно від величини їх ворожості, чим більше маршрут викликає ворожість, тим менше його пріоритет;

- пріоритет поїзда ( $P_n^j$ , де  $j$  – номер поїзда), залежить від категорії поїзда;

- додатковий пріоритет поїзда за диспетчерською вказівкою ( $P_{дисп.}^j$ ), служить для прямого управління, визначає, який поїзд затримати, а який – відправити або прийняти, задається конкретному поїзду;

- величина пріоритету відправлення перед прибуттям ( $P_{відпр.}^{пріб.}$ ), показує, на скільки пріоритет прибуття вище пріоритету відправлення або навпаки;

- пріоритет черговості прибуття ( $P_{черг.}$ ), при ситуації, коли на станцію прибувають один за одним два поїзди і перший затримується на таку величину часу, що прибуває поїзд, що прямував за ним, необхідно, щоб перший поїзд мав пріоритет вище того, що прямує за ним, інакше результат рішення буде неправильним і можливий випадок, коли поїзд, що прямував другим, на перегоні обганяє поїзд, що прямував першим.

Сумарний пріоритет буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} P_{приб.}^{ij} &= P_m^i + P_n^j + P_{дисп.}^j + P_{черг.}; \\ P_{відпр.}^{ij} &= P_m^i + P_n^j + P_{дисп.}^j + P_{відпр.}^{пріб.}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $P_{приб.}^{ij}$  – сумарний пріоритет прибуття поїзда;

$P_{відпр.}^{ij}$  – сумарний пріоритет відправлення поїзда.

Величина пріоритетів встановлюється в процесі навчання системи. Налаштовуються пріоритети об'єктів як всередині групи, так і між групами. Порядок пріоритетів (в умовних одиницях виміру) такий:

$$P_m^i \cong P_n^j \cong 10; P_{відпр.}^{пріб.} \cong 1000; P_{черг.} \cong 100.$$

$P_{дисп.}^j$  регулюється залежно від ситуації, або порядок, як і у  $P_m^i \cong P_n^j \cong 10$  (при регулюванні всередині групи поїздів, що прибувають) або  $P_{відпр.}^{пріб.} \cong 1000$  (при регулюванні між групами поїздів).

Таблиця 1

Приклад залежності маршрутів для станції, розташованої на лінійній двоколійній ділянці з чотирма станційними коліями для парної горловини по прибуттю

	Горловина	Прибуття								Відправлення																
		Парна				Непарна				Парна				Непарна												
№	Горловина	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



При надходженні із зовнішнього середовища «обурення» (подача заявки на прибуття чи відправлення поїздів та ін.) відбувається розрахунок можливого виникнення ворожості маршрутів приймання та відправлення поїздів. При виникненні ворожості відбувається розрахунок варіантів їх ліквідації з мінімальними сумарними тимчасовими затримками з приймання і відправлення поїздів [6].

Маршрутом приймання і відправлення поїзда є станційна колія (в межах корисної довжини колії), перегінна колія (або перші кілька блок-дільниць, залежно від засобів блокування) і частина горловини, що з'єднує перегінну і станційну колії. При моделюванні виділено кілька етапів, перший з них – це етап аналізу вихідної інформації перед розрахунками.

На першому етапі для всіх поїздів, розклад прибуття чи відправлення яких збігається з розрахунковим інтервалом часу, перевіряється заявка поїзда на маршрут у даний момент часу (можливість зайняття поїздом маршруту приймання або відправлення). Відбувається відбір усіх можливих маршрутів приймання чи відправлення поїздів.

Для кожного маршруту формується список усіх поїздів, для яких подано заявки на відправлення (і (або) на прибуття) зі станції (незалежно від того, на який час подані заявки щодо поточного розглянутого інтервалу часу, тобто з урахуванням можливих тимчасових затримок, що виникли раніше, за винятком уже задоволених заявок).

Заявка поїзда на маршрут визначається виходячи з аналізу таких умов: аналізується таблиця ворожості маршрутів, яка визначає всі можливі маршрути прибуття (або відправлення) для даної станції; час, на який подано заявку поїзда на прибуття або відправлення, і поточний даний момент часу, якщо час заявки поїзда на прибуття або відправлення

дорівнює поточному моменту часу, то ця умова виконується; номер перегінної колії, з якої прибуває поїзд (або на яку відправляється), та номер колії, на яку веде кожен маршрут; якщо номер перегінної колії, на яку відправляється (або з якої прибуває) поїзд, збігається з номером перегінної колії, на яку відправляється (або з якої прибуває) поїзд, то дана умова виконується; для відправлення поїздів аналізується заявка за кожним поїздом на час відправлення, фактичний час прибуття поїзда на станцію і мінімальна стоянка поїзда на станції; якщо сума часу фактичного прибуття поїзда на станцію і тривалості мінімальної стоянки більше часу заявки для даного поїзда на відправлення, то час заявки поїзда на відправлення замінюється сумою фактичного часу прибуття поїзда і мінімальної тривалості стоянки, дана умова вводиться з тієї причини, що пасажирський поїзд не може перебувати на станції менше тривалості мінімальної стоянки або відправлятися зі станції раніше прибуття.

Якщо всі вищевикладені умови виконуються, то вважається, що в даний момент часу, що розглядається, поїзд претендує на даний маршрут прибуття (або відправлення) і в подальших розрахунках розглядається можливість задоволення його заявки. Значення даного показника приймається рівним одиниці. В іншому випадку (якщо дані умови не виконуються) значення показника приймається рівним нулю.

Далі для всіх поїздів і для всіх маршрутів розраховується оцінка прокладення маршруту.

При першій ітерації для кожного розглянутого маршруту прибуття (або відправлення) поїзда аналізується підтвердження його заявки на маршрут.

При підтвердженні заявки поїзда на маршрут відбуваються такі перевірки: перевіряється значення заявки поїзда на маршрут, якщо воно  $g_{приб.}^{ij}$  (або  $g_{відпр.}^{ij}$ ) дорівнює одиниці, то умова виконується,

якщо нулю – не виконується; аналізується шлях, з якого прибуває або на який відправляється з маршрутом даний поїзд, при відправленні поїзда аналізується станційна колія, на якій поїзд перебуває, і колія, з якої веде розглянутий маршрут; при відправленні поїзда також аналізується перегінна колія, на яку може вирушити поїзд з номером колії, на яку веде розглянутий маршрут відправлення, і зайнятість даної перегінної колії (при напівавтоматичному автоблокуванні) або перших блок-дільниць (при автоматичному автоблокуванні). Для поїзда, що прибуває, аналізується номер станційної колії, на яку веде розглянутий маршрут, і її вільність; якщо поїзд проходить станцію без зупинки (тривалість стоянки дорівнює нулю) і при розрахунку часу прибуття його на станцію сталася затримка по прибуттю щодо часу заявки поїзда на прибуття, то заявка поїзда на відправлення зсувається також на величину його затримки по прибуттю.

Якщо вищенаведені перевірки виконуються, то заявка поїзда на прибуття (або відправлення) вважається підтвердженою і величина відповідного показника приймається рівною одиниці. В іншому випадку – приймається рівною нулю.

Далі для всіх маршрутів і для всіх поїздів, які підтвердили свою заявку на прибуття (або відправлення), визначається з усіх  $P_{приб.}^{ij} \cdot g_{приб.}^{ij}$  (або  $P_{відпр.}^{ij} \cdot g_{відпр.}^{ij}$ ) максимальне значення. Заявка поїзда ( $j$ ), якому відповідає дане максимальне значення, вважається задоволеною. Тобто поїзд прибуває на станцію або відправляється з неї. Фіксується фактичний час відправлення (прибуття) поїзда на станцію.

Якщо поїзд прибув на станцію, то робиться позначка зайнятості відповідної станційної колії прибуття. Якщо поїзд вирушив зі станції, то робиться позначка про звільнення відповідної станційної колії і позначка про зайнятість відповідної перегінної колії або першої блок-дільниці

(дані позначки зберігаються виходячи з часу їх зайняття поїздом).

При відправленні поїзда зі станції аналізується його фактичний час прибуття на станцію, мінімальна стоянка і заявка на відправлення поїзда. Якщо сума фактичного часу прибуття на станцію і часу мінімальної стоянки більше заявки часу на відправлення поїзда, то заявкою часу на відправлення приймається сума часу прибуття і мінімальної стоянки.

Наступні ітерації (перевірка можливості паралельного приймання або (і) відправлення поїзда аналогічні першій за винятком додавання додаткових перевірок при підтвердженні заявки поїзда на маршрут: якщо заявка на відправлення (прибуття) даного поїзда була задоволена раніше (в попередніх ітераціях), то значення приймається рівним нулю; якщо розглянутий маршрут відправлення (або прибуття) був використаний у задоволених заявках поїздів на відправлення (або прибуття) раніше (в попередніх ітераціях), то значення приймається рівним нулю; аналізуються зайняті маршрути в задоволених заявках поїздів на прибуття (або відправлення) в попередніх ітераціях. Якщо розглянутий маршрут ворожий з будь-яким з раніше використаних в попередніх ітераціях, то значення приймається рівним нулю (визначається виходячи з таблиці ворожих маршрутів (табл. 2)).

Якщо дані умови виконуються, то заявка поїзда на маршрут вважається підтвердженою. Далі визначається максимальне значення  $P_{приб.}^{ij} \cdot g_{приб.}^{ij}$  (або  $P_{відпр.}^{ij} \cdot g_{відпр.}^{ij}$ ) за алгоритмом, як і в попередній ітерації. Заявка поїзда ( $j$ ), якому відповідає дане максимальне значення, вважається задоволеною.

Кількість ітерацій визначається схемою станції – кількість паралельних маршрутів (скільки поїздів станція може відправити або прийняти в один момент часу). У цьому завданні ця величина

визначається виходячи з таблиці ворожих маршрутів.

Максимальна кількість паралельних маршрутів визначається таким чином. Спочатку в таблиці ворожості маршрутів для кожного маршруту визначається сумарне число маршрутів, йому ворожих (табл. 2).

У першій ітерації з усіх маршрутів вибирається маршрут з найменшою кількістю ворожих йому маршрутів, якщо таких маршрутів кілька, то вибирається будь-який з них. У прикладі на рис. 2 це маршрут №5. Даний маршрут переноситься в другу ітерацію. Всі маршрути, ворожі

обраним маршрутам, у першій ітерації виключаються з розгляду (це маршрут №3).

У другій ітерації з решти маршрутів також вибирається маршрут з найменшою кількістю ворожих йому маршрутів, за винятком раніше обраного маршруту (маршрут №4). Даний маршрут переноситься в третю ітерацію разом з раніше обраним маршрутом. Всі маршрути, ворожі до заданого в другій ітерації, виключаються з розгляду (маршрут №1).

На рис. 2 наведено алгоритм знаходження максимальної кількості паралельних маршрутів прибуття і (або) відправлення зі станції.

Таблиця 2

Приклад визначення для кожного маршруту сумарного числа ворожих йому маршрутів

Номер маршруту	1	2	3	4	5	Сумарна кількість ворожих маршрутів
1	1	1		1		3
2	1	1	1			3
3		1	1		1	3
4	1			1		2
5			1		1	2

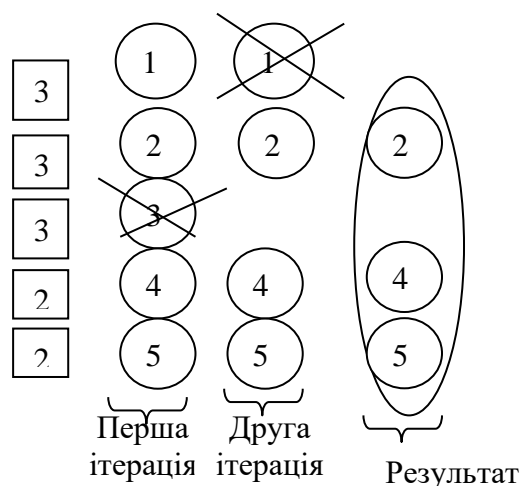


Рис. 2. Алгоритм знаходження максимальної кількості паралельних маршрутів

Розрахунок відбувається до тих пір, поки не залишаться тільки маршрути, не ворожі один одному. В даному випадку це

маршрути № 2, 4, 5. Таким чином, одночасно (паралельно) на станцію може прибути і (або) відправитися три поїзди.

Після всіх ітерацій для даного моменту часу аналізується задоволення всіх заявок на прибуття (відправлення) поїздів. Поїздам, чийі заявки не були задоволені, додається величина затримки часу відправлення (прибуття), що дорівнює даним інтервалам часу (виходячи з точності вихідної інформації). Тобто при незадоволенні заявки поїзда на прибуття або відправлення заявка зсувається на одиницю часу в наступний розглянутий період часу.

Якщо поїзд проходить станцію без зупинки (тривалість стоянки дорівнює нулю), то відбувається перевірка як прибуття на станцію, так і відправлення. Якщо одна з умов не задовольняється, то додається затримка на прибуття поїзда. Також можливе додавання зняття поїздів з поїзної моделі і доповнення в модель додаткових поїздів. Зняття поїзда можливе шляхом додавання до станції уявного відгалуження. Тобто поїзд відправлятиметься зі станційної колії на перегін з нескінченною місткістю (необхідно, наприклад, при перестановці поїзда в депо). Можливе додавання нових поїздів таким же чином. Поїзд буде прибувати на станцію з фіктивного перегону [7].

Можливий облік обороту пасажирських поїздів. Після прибуття поїзда на станцію і перебування на станції протягом часу обороту поїзд відправляється на перегін, з якого прибув, і під конкретну нитку графіка (час заявки поїзда на відправлення.)

Навчання моделі є супервизорним [8]. При такому підході моделі задається проблема, і вона шукає рішення за відомим станом «вхід-вихід». Диспетчер вказує, яким має бути правильне рішення. Тобто при виникненні ворожості оператор вказує, який поїзд необхідно прийняти (або відправити), а який поїзд необхідно затримати.

Навчання полягає в коригуванні ваги поїздів (всередині категорій поїздів та між категоріями) і маршрутів таким чином, що в наступний момент часу вихідний

розрахунковий результат мережі буде ближче до необхідної відповіді.

Поїзди діляться на дві групи: такі, що прибувають, і такі, що відправляються зі станції. Одна група має пріоритет у порівнянні з іншою. Тому коригування всіх інших ваг має міняти відносний пріоритет між поїздами тільки всередині цих двох груп, за винятком команди диспетчера. Команда диспетчера при «слабкому» впливі на систему може змінювати пріоритети всередині однієї групи (тобто тільки між двома поїздами, що прибувають, або між двома поїздами, що відправляються). При «сильному» впливі поїзд під впливом команди диспетчера може переходити з групи з меншим пріоритетом у групу з більшим пріоритетом. Так само можливий перехід поїзда і з групи з більшим пріоритетом у групу з меншим пріоритетом.

Процес навчання відбувається безперервно (накопичується база даних для можливості логічного висновку), оскільки зовнішні умови, що визначають вхідну і вихідну інформацію, постійно змінюються.

Дана модель є гнучкою і адаптивною до змін ситуації, рішення дозволяє істотно полегшити проблеми ліквідації ворожості маршрутів і підвищити безпеку руху, якість обслуговування пасажирів та ефективність використання технічних засобів залізничного транспорту, з урахуванням можливостей колійного розвитку залізничних станцій. Дана модель може бути використана для автоматизованого керування рухом поїздів на ділянці.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Отримана динамічна модель ліквідує ворожість маршрутів поїздів у горловині станцій і може бути застосована як для пасажирських поїздів, так і для вантажних, крім того, можливе використання даної моделі в оперативному управлінні рухом поїздів. Отримана динамічна модель спрямована на якнайшвидше просування поїздів з

найбільшим пріоритетом, що дає змогу отримати максимальний ефект від використання інфраструктури. Ліквідація

ворожості маршрутів має бути спрямована на мінімальні сумарні тимчасові затримки поїздів по прибуттю і відправленню.

### *Список використаних джерел*

1. Лаврухін, О. В. Побудова моделі оптимізації пропуску поїздів на підходах до сортувальної станції [Текст] / О. В. Лаврухін, П. В. Долгополов, Ю. В. Доценко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харків, 2013. – Т. 4. – №3(64). – С. 45-52.
2. Крячко, К. В. Визначення впливу конструктивних параметрів пасажирських станцій на їх пропускну спроможність [Текст] / К. В. Крячко, О. Є. Саленко, В. А. Єршов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 145. – С. 40-49.
3. Кулешов, В. В. Проблеми оцінки інвестицій у визначення експлуатаційних параметрів горловин станцій [Текст] / В. В. Кулешов, О. Р. Дощечкін, Ю. М. Бурмагіна // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 143. – С. 9-16.
4. Shi, Jun Study of route schemes for reconstruction of Guizhou-Guangxi Railway from Jinchengjiang to Duyun [Text] / Jun Shi, Bo Huang // Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE). – USA, 2011. – P. 3504-3507.
5. Rasmussen, T. K. Timetable-based simulation method for choice set generation in large-scale public transport networks [Text] / T. K. Rasmussen, M. K. Anderson, O. A. Nielsen, C. G. Prato // European Journal of Transport and Infrastructure Research. EJTIR is sponsored by TU Delft Transport Institute. – USA, 2016. – Volume 16. – Issue 3. – P. 467-489.
6. Akgun, V. On finding dissimilar paths [Text] / V. Akgun, E. Erkut, R. Batta // European Journal of Operational Research. – USA, 2000. – №121. – P. 232-246.
7. Anderson, M. K. Multimodal route choice models of public transport passengers in the Greater Copenhagen Area [Text] / M. K. Anderson, O. A. Nielsen, C. G. Prato // DTU Transport working paper submitted for publication in the EURO Journal on Transportation and Logistics. – USA, 2014. – Т. 13. – P. 23-46.
8. Anderson, M. K. Matching observed public route choice data to a GIS network [Text] / M. K. Anderson, T. K. Rasmussen // Selected proceedings of the Annual Transport Conference in Aalborg. – Aalborg University, 2010. – P. 234-239.

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

---

Примаченко Ганна Олександрівна, кандидат технічних наук, асистент кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-19-55.

E-mail: AnnaPrimachenko@i.ua.

Трохименко Роман Олександрович, магістрант кафедри транспортних систем та логістики, Інститут перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів Українського державного університету залізничного транспорту (ІППК УкрДУЗТ). Тел. 057-730-19-55.

Primachenko Ganna Oleksandrivna, Ph.D., assistant, The Department of Transport Systems and Logistics, Ukrainian State University of Railway Transport. Ph.: 057-730-19-55. E-mail: AnnaPrimachenko@i.ua.

Trokhymenko Roman, Undergraduate of transport systems and logistics, Institute of retraining and advanced training of Ukrainian State University of Railway Transport. Ph. 057-730-19-55.

Стаття прийнята 21.06.2016 р.

УДК 005:656.072

**УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ПАСАЖИРСЬКОГО КОМПЛЕКСУ ПРИ ШВИДКІСНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ В УМОВАХ РОЗВИТКУ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ**

Канд. техн. наук В. В. Кулешов, слухач Д. М. Чеботарьов

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПАССАЖИРСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ**

Канд. техн. наук В. В. Кулешов, Д. Н. Чеботарев

**IMPROVING AUTOMATED SYSTEMS THE PASSENGER COMPLEX WITH HIGH-SPEED TRANSPORT IN THE CONDITIONS OF INFORMATIZATION DEVELOPMENT**

Candidate of Technical Sciences V. Kuleshov, D. Chebotarev

*Розглянуто перевезення ДП «Українська залізнична швидкісна компанія». Виконано аналіз маршрутної швидкості проходження Південною залізницею пасажирських швидкісних поїздів, корисної довжини колій парків пасажирської станції Харків-Пас. Розглянуто комплекс автоматизованих робочих місць персоналу пасажирського господарства різних рівнів керування при пасажирських швидкісних перевезеннях. Показано умови оперативного планування роботи пасажирської станції. Наведено схему отримання інформації та планування роботи пасажирського комплексу.*

*Запропоновано комплекс моделей тривалості відправлення на напрям, обертання пасажирського швидкісного поїзда, потрібної кількості составів пасажирського швидкісного поїзда власності УЗШК або іншої операторської пасажирської компанії. Синтез нейроконтролера роботи пасажирської станції при швидкісних перевезеннях в умовах змінення обсягів перевезень можна виконати на базі тришарової прямонаправленої мережі. Така технологія забезпечує скорочення тривалості перебування вагонів на станції, тобто має ресурсозберігаючу направленість.*

**Ключові слова:** пасажирський вагон, генетичний алгоритм, модель технології пасажирських швидкісних перевезень, штучні нейронні мережі.

*Рассмотрены перевозки ГП «Украинская железнодорожная скоростная компания». Выполнен анализ маршрутной скорости проследования по Южной железной дороге пассажирских скоростных поездов, полезной длины путей парков пассажирской станции Харьков-Пас. Рассмотрен комплекс автоматизированных рабочих мест персонала пассажирского хозяйства разных уровней управления при пассажирских скоростных перевозках. Показаны условия оперативного планирования работы пассажирской станции. Приведена схема получения информации и планирования работы пассажирского комплекса.*

*Предложен комплекс моделей продолжительности отправления на направление, обращения пассажирского скоростного поезда, необходимого количества составов пассажирского скоростного поезда собственности УЖСК или другой операторской пассажирской компании. Синтез нейроконтролера работы пассажирской станции при скоростных перевозках в условиях изменения объемов перевозок возможно выполнить на базе трехслойной прямонаправленной сети. Такая технология обеспечивает сокращение*

*продолжительности нахождения вагонов на станции, т. е. имеет ресурсосберегающую направленность.*

**Ключевые слова:** *пассажирский вагон, генетический алгоритм, модель технологии пассажирских скоростных перевозок, искусственные нейронные сети.*

*Discussed transportation of SE «Ukrainian speed railway company». The analysis of the route speed of traversing the southern railway passenger high-speed trains, the effective lengths of the paths of parks passenger station Kharkiv-Pas. The complex of automated working places of the personnel of passenger households of different levels of management in high-speed passenger transport. The conditions of operational planning of passenger station. The scheme of information and planning of work of a passenger complex.*

*The proposed set of models of duration of administration on the direction, circulation high-speed passenger trains, the required number of passenger trains high-speed trains of ownership USRK operator or other passenger of the company. Synthesis of neurocontroller passenger work station with high speed traffic with changes in traffic may be performed on the basis of the three-layer premenapause network. This technology provides reduction of duration of a finding of cars at the station, i.e. the resource-saving direction.*

**Keywords:** *passenger wagon, genetic algorithm, model technology high-speed passenger transport, artificial neural networks.*

**Вступ.** Дотепер програма впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України перебуває в стадії поділу пасажирського та вантажного руху. У рамках програми було укладено 5,2 тис. км безстикової колії; проведено реконструкцію інфраструктури напрямків Київ – Харків (532 км), Київ – Дніпро (484 км), Київ – Хутір-Михайлівський (356 км); уведено в експлуатацію 370 безстикових стрілочних переводів з безпервною поверхнею кочення; укладено 3,3 тис. км колій на залізобетонних шпалах із пружними скріпленнями; збільшено швидкість руху пасажирських поїздів до 140 км/год на більш ніж 1,2 тис. км головних колій; досягнуто сумарного техніко-економічного ефекту від впровадження нових технічних рішень, а також ресурсозберігаючих технологій, що перевищує 3 млрд грн. Із загальної експлуатаційної мережі залізниць України (22,05 тис. км) 67,5 % становлять одноколіїні ділянки, 32,5 % – дво- і триколіїні. Електрифіковано 42,3 % протяжності залізниць, 60,7 % – обладнано пристроями автоматичного регулювання руху поїздів, 62 % – мають безстикову

колію, системами електричної централізації обладнано 72,9 % усіх стрілок [1].

Відомо, що залізниці Західної Європи завдяки підвищенню швидкості руху поїздів мають перевагу перед автомобільним транспортом на відстані 250-500 км і конкурують з авіаційним у діапазоні 500-1000 км. Однак залізничний транспорт України не повною мірою відповідає вимогам щодо тривалості поїздок у пасажирському сполученні. Максимальна швидкість руху пасажирських поїздів – 120 км/год (крім напрямків: Київ – Харків та Київ – Дніпропетровськ з максимальною швидкістю руху 140 км/год). Маршрутна швидкість руху пасажирських поїздів на основних напрямках становить 55-65 км/год.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У нормативних документах [1-2] при організації перевезень докладно не враховано застосування методів моделювання роботи пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях в умовах розвитку інформатизації. У попередніх дослідженнях [3 - 12, 14-16] було розглянуто сучасні підходи до удосконалення технології перевезень

парком вагонів операторських компаній, моделювання пасажирських поїздопотоків високошвидкісних залізниць.

Але потребують розв'язання питання удосконалення технології роботи пасажирського комплексу в умовах розвитку інформатизації при застосуванні методів моделювання технології пасажирських швидкісних перевезень, яка ґрунтується на основі використання технічних засобів пасажирських комплексів з оптимізацією їх основних параметрів.

**Визначення мети і задачі дослідження.** Мета та задачі дослідження – удосконалення автоматизованих систем пасажирського комплексу при пасажирських швидкісних перевезеннях в умовах розвитку інформатизації.

**Основна частина дослідження.** На сьогоднішній день парк рухомого складу Державного підприємства «Українська залізнична швидкісна компанія» (УЗШК) складається з десяти електропоїздів подвійного живлення категорії «Інтерсіті+» виробництва «Hyundai Rotem» і з двох електропоїздів подвійного живлення категорії «Інтерсіті» виробництва компанії «Skoda».

Швидкісні електропоїзди «Hyundai» – двосистемні поїзди, що працюють на двох видах живлення: на змінному і на постійному струмі. Конфігурація салону, розташування місць, комфорт поїздки в поїздах «Hyundai» відповідає світовій практиці й останнім тенденціям у галузі ергономіки та технічного дизайну.

Загальна кількість місць для сидіння в поїзді – 579. Місця першого класу – 168 сидінь, розміщені за схемою 2 + 2 один за одним у трьох вагонах по 56 місць кожний. Місця другого класу – 411 сидінь за схемою 3 + 2 – розміщені в шести вагонах. Два місця для осіб з обмеженими фізичними можливостями розміщені у головному вагоні. У поїзд включено вагон з буфетом і 51 місцем другого класу.

Ширина колії в країнах СНД – 1,52 м, у більшості країн Європи – 1,435 м. Пасажирські вагони в країнах Європи мають ширину – 2,9 м, в Україні й країнах СНД – 3,5 м, що дало можливість без шкоди комфортності для пасажирів розмістити ще одне пасажирське крісло.

Технічні бази з обслуговування рухомого складу УЗШК примикають до станцій Дарниця та Харків-Пас.

У графіку руху на 2013-2014 рр. було заплановано дев'ять маршрутів поїздів УЗШК: із Києва в Харків, Донецьк, Дніпропетровськ, Запоріжжя, Львів та із Дніпропетровська в Сімферополь.

У 2013-2014 рр. з причин політичного характеру відмінено швидкісні поїзди категорії «Інтерсіті» по маршрутах: Харків – Донецьк; Донецьк – Дніпропетровськ; Харків, Дніпропетровськ, Донецьк – Сімферополь.

Графіком руху на 2015-2016 рр. передбачено 10 швидкісних (до 160 км/год) поїздів категорії «Інтерсіті+» сполученням Києва із містами: Харків, Дніпропетровськ, Запоріжжя, Львів, Одеса, Кривий Ріг, Трускавець, Красноармійськ, Костянтинівка (курсував у Донецьк до 2014 року), Лисичанськ (курсував у Луганськ до 2014 року). Також курсують 17 швидкісних поїздів категорій «Інтерсіті» і «Регіональний експрес» по маршрутах із Києва до міст: Тернопіль, Рівне, Кам'янець-Подільський, Могилів-Подільський, Хмельницький, Шостка, Харків (через Суми), Полтава, Кременчук та інших.

Аналіз прямування коліями Регіональної філії «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» швидкісних електропоїздів відправленням з пасажирської станції Харків-Пас. і передаванням на регіональні філії «Південно-Західна» і «Донецька залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» 19.05.2016 р. наведено в таблиці.



Таблиця  
 Аналіз прямування коліями Регіональної філії «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» швидкісних електропоїздів  
 відправленням з пасажирської станції Харків-Пас. 19.05.2016 р.

Номер поїзда, маршрут слідування, состав	Станція відправлення або передавання	Час відправ- лення або передавання, год	Станція передавання або прибуття	Час передавання або прибуття, год	Тривалість прямування, год	Відстань, км	Маршрутна швидкість, км/год
№725 Харків-Київ HRCS2-06	Харків-Пас.	7,38	Гребінка	10,85	3,47	352	101,4
№723 Харків-Київ HRCS2-02	Харків-Пас.	13,27	Гребінка	16,63	3,36	352	104,8
№722 Київ-Харків HRCS2-02	Гребінка	8,05	Харків-Пас.	11,38	3,33	352	105,7
№721 Харків-Київ HRCS2-03	Харків-Пас.	18,65	Гребінка	22,05	3,40	352	103,5
№724 Київ-Харків HRCS2-03	Гребінка	14,92	Харків-Пас.	18,18	3,26	352	108,0
№726 Київ-Харків HRCS2-01	Гребінка	19,30	Харків-Пас.	22,67	3,37	352	104,5
№712 Київ- Костянтинівка HRCS2-05	Гребінка	7,65	Лозова (Пост 4 км)	11,38	3,73	379	101,6
№711 Костянтинівка- Київ HRCS2-05	Лозова (Пост 4 км)	17,92	Гребінка	21,70	3,78	379	100,3

Пасажирський комплекс станції Харків-Пас. складається із семи парків: Приймально-відправного (17 колій корисною довжиною від 214 до 713 м; одна відстійна, корисною довжиною 30 м; одна витяжна, корисною довжиною 94 м), Західного (вісім колій корисною довжиною від 70 до 206 м), Південного (вісім колій корисною довжиною від 116 до 293 м),

Північного (20 колій корисною довжиною від 58 до 544 м), Поштово-багажного (п'ять колій корисною довжиною від 136 до 217 м), Белгородського (дві колії корисною довжиною 289 м), парку «Н» (20 колій корисною довжиною від 342 до 1831 м) та Вантажного району (10 колій). Аналіз корисної довжини колій парків станції Харків-Пас. наведений на рис. 1.

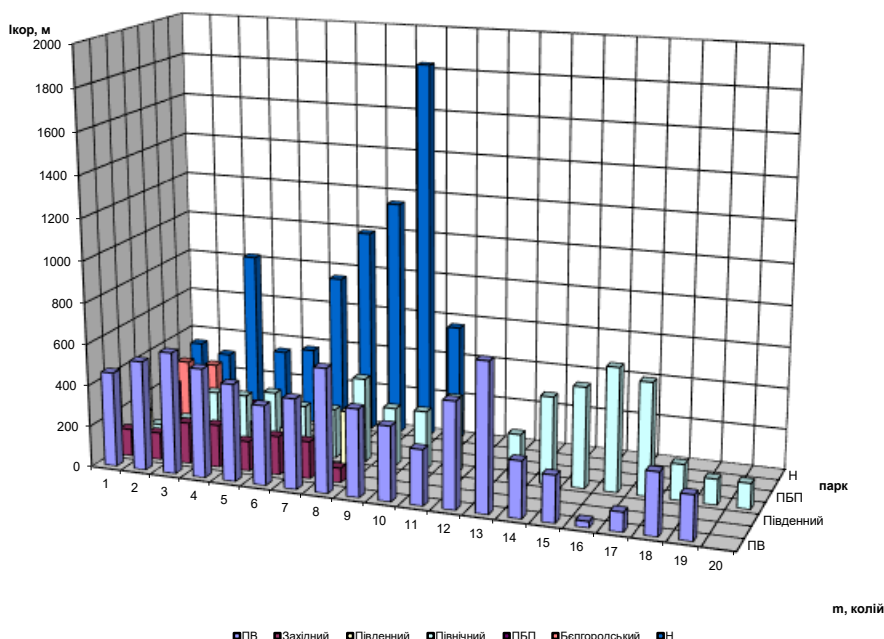


Рис. 1. Аналіз корисної довжини колій парків пасажирської станції Харків-Пас.

Для проведення технологічного і технічного обслуговування швидкісні пасажирські поїзди «Hyundai», «Skoda» за графіком руху вивізних поїздів передаються зі станції Харків-Пас. на Харківську вагонну дільницю поїзним порядком.

У рамках звичайного комплексу автоматизованих робочих місць (АРМ) пасажирського господарства ведеться розклад руху пасажирських та приміських поїздів. Однак проведення логічного контролю повідомлень про рух поїздів виконується через АРМ ДСП Харків-Пас.,

ДНЦ дільниць, працівників служби Д та пасажирського господарства. Вимоги до документування відповідають загальним вимогам до документування АСК ВП УЗ-Є. АРМ для ведення розкладу руху пасажирських поїздів призначено для підтримки розкладу руху в актуальному стані, для проведення логічного контролю повідомлень про рух пасажирських та приміських поїздів. Для коригування розкладу руху передбачено чотири режими (рис. 1): введення нового поїзда, редагування поїзда, вилучення, сервіс (перегляд даних про поїзд) [3].

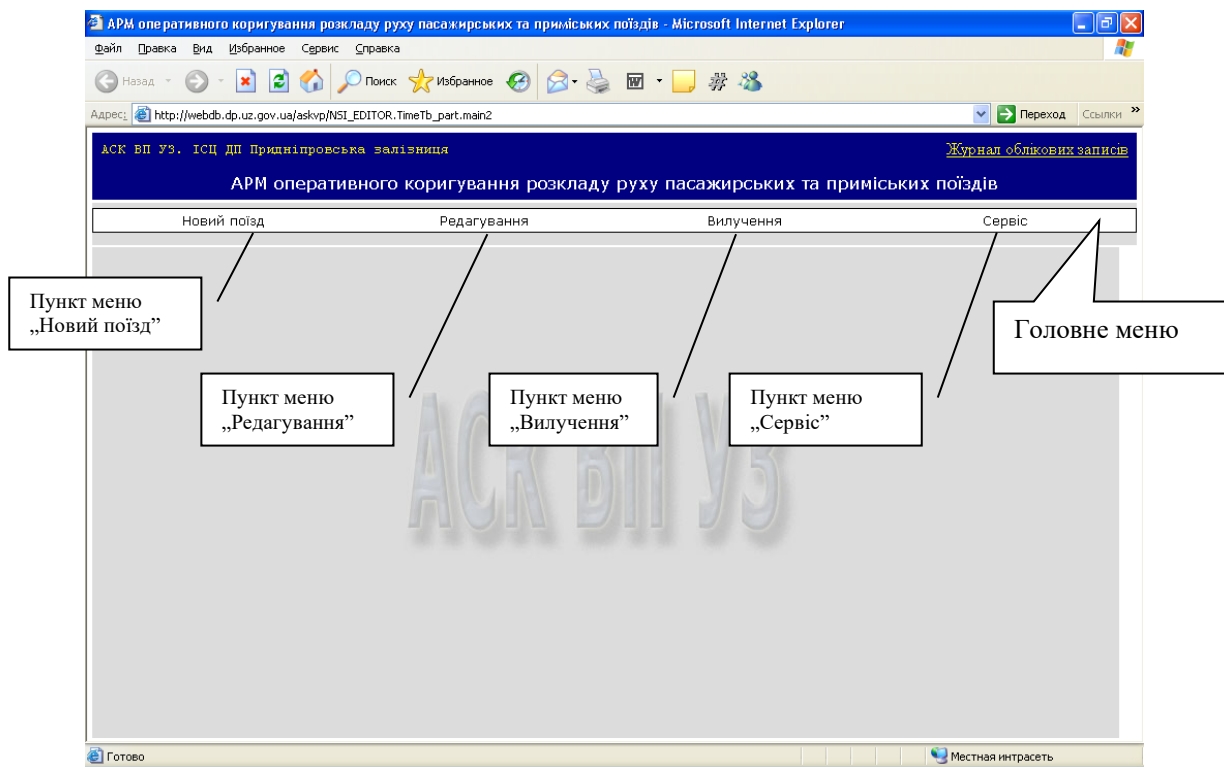


Рис. 1. Головне вікно АРМ ведення розкладу руху пасажирських та приміських поїздів

АСК пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях потребує удосконалення АРМ персоналу пасажирських та пасажирських технічних станцій з метою підвищення ефективності оперативної роботи з пасажирськими швидкісними поїздами; організації інформаційної підтримки та безперебійного забезпечення оперативними даними про розклад руху пасажирських швидкісних поїздів та матеріального забезпечення пасажирського господарства залізниць, УЗШК та інших операторських компаній; забезпечення оперативного коригування нормативно-довідкової інформації стосовно пасажирських швидкісних поїздів для проведення логічних контролів повідомлень про рух поїздів.

За допомогою АСК пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях для ведення розкладу руху пасажирських швидкісних поїздів можна вирішувати такі задачі:

- оперативне відображення розкладу руху пасажирських швидкісних поїздів по всьому напрямку, починаючи зі станції формування, та інформації про його курсування з урахуванням графіка руху;
- автоматизація коригування інформації про напрямки руху, часу прибуття або відправлення пасажирських швидкісних поїздів;
- автоматизація коригування ознак парності та різниць дат пасажирських швидкісних поїздів;
- автоматизація додавання (видалення) розкладу руху для пасажирських швидкісних поїздів;
- відображення інформації про роботу користувачів АРМ за допомогою перегляду «Журналу облікових записів»;
- відображення розкладу руху пасажирських швидкісних поїздів у різних довідках;
- створення єдиної системи інформаційної підтримки для коректного проведення логічних контролів повідомлень про рух

пасажирських швидкісних поїздів, що забезпечить надання оперативної інформації на АРМ персоналу, пов'язаного із введенням повідомлень про рух пасажирських швидкісних поїздів.

Особливістю АСК пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях є оперативність, введення в АСК ВП УЗ-Є інформації про розклад руху, напрямки прямування та курсування пасажирських швидкісних поїздів здійснюється в реальному масштабі часу.

В результаті розробки АСК пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях має бути створено програмний комплекс, що має взаємодіяти із загальносистемними і функціональними комплексами АСК ВП УЗ-Є. Надійність функціонування компонента, його безпека, ергономіка та технічна естетика, експлуатаційні характеристики, захист інформації та її збереження мають відповідати загальним вимогам АСК ВП УЗ-Є.

Створення АСК пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях передбачає такі основні етапи:

- розробка загальної технології та реалізації програмних засобів створення АРМ для ведення розкладу руху пасажирських швидкісних поїздів;

- розробка задачі, включаючи опис постановки задачі, керівництво користувача, програмне забезпечення, програму та методику випробувань;

- комплексне налагодження функцій АРМ на дослідному полігоні АСК ВП УЗ-Є.

Вхідною інформацією АСК пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях є повний розклад руху пасажирських швидкісних поїздів:

- графік курсування пасажирських швидкісних поїздів за датами;

- оперативна таблиця змін розкладу руху пасажирських швидкісних поїздів, надана ГІОЦ;

- масив пасажирських швидкісних поїздів залізниць.

Вихідною інформацією АСК пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях є повний відкоригований розклад руху пасажирських та приміських поїздів:

- графік курсування пасажирських поїздів за датами;

- оперативна таблиця змін розкладу руху пасажирських і приміських поїздів, надана ГІОЦ;

- масив пасажирських поїздів залізниць.

Інформаційну технологію АСК пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях можна побудувати на функціональній основі з метою чіткого і своєчасного та якісного обслуговування пасажирів. При цьому виділяються основні функції з обслуговування пасажирів: квитково-касова; довідково-інформаційна; сервісна; побутова, а також господарська діяльність для підтримки в належному стані пасажирської технічної станції, будівель та устаткування вокзалу.

Довідково-інформаційні послуги є найважливішими із складових частин організації обслуговування пасажирів, тому що дають змогу пасажирові одержати повну інформацію про перевезення: розклад руху пасажирських поїздів, періодичність їх курсування, маршрути прямування, умови проїзду, порядок придбання квитка, послуги пасажирського сервісу.

Довідкова інформація на вокзалах класифікується за змістом таким чином: про відправлення поїзда; про прибуття поїзда; про проїзд у приміському сполученні; питання про вартість проїзду і доплату; про час перебування поїзда в дорозі; довідка про маршрут прямування пасажирських поїздів; відомості про наявність місць у поїздах; про запізнення поїздів та ін.

Для підвищення якості обслуговування пасажирів важливе значення має етика: сукупність принципів та норм поведінки персоналу вокзалу.

Коли пасажир входить у вокзал або виходить на залізничну платформу, то він має почувати себе комфортно. Допомагають у всьому цьому табло та уніфіковані за світовими стандартами покажчики.

На вокзалі спілкування з пасажиром починається не тільки тоді, коли він звертається до працівників вокзалу через постійну та змінну інформацію: покажчики, візуальна та інформація по радіо дають пасажирам відповіді, які виникають у пасажирів тільки в думці, дуже важливо, щоб необхідна інформація була видима, зрозуміла, своєчасна, яскрава або промовлена голосно і чітко та надана своєчасно.

Комфортні умови на вокзалі – це можливість пасажиру не звертатись до адміністраторів.

В умовах створення комплексу автоматизованих робочих місць персоналу різних рівнів керування пасажирського комплексу розширюються можливості ділового спілкування про призначення, відміну, зміну составності, рух швидкісних, пасажирських та приміських поїздів.

На базі АРМ спеціаліста пасажирської служби залізниці передається наказ про призначення, відміну, зміну состава, періодичність прямування пасажирських та приміських поїздів. Ця інформація постійно фіксується в системі «Експрес» і за допомогою комп'ютерної інформаційної мережі передається на АРМ станції і довідкового бюро вокзалу, доводиться до причетних виконавців.

Щодобово виконується перевірка наявності пасажирських поїздів, ці дані АРМ спеціаліста пасажирської служби передає на відповідні АРМ диспетчерського персоналу. При відсутності АРМ передача даних передбачається по телефону.

Найбільш сучасною є інформація про виконання руху швидкісних, пасажирських поїздів на напрямках. У діючій інформаційній автоматизованій системі

оперативного управління перевезеннями передбачена підготовка та передача до ІОЦ залізниці повідомлення 206 з призначених станцій передачі даних про пасажирські поїзди.

З ІОЦ залізниці ці дані потрапляють на АРМ диспетчерського центру керування, а звідти на АРМ станції і довідкового бюро вокзалу. Таким чином зменшується тривалість надходження інформації до працівників про фактичний рух швидкісних, пасажирських поїздів порівняно з графіком руху. Інформація про поїзд має відображати код пункту передачі, номер поїзда, призначення поїзда, дату, час прямування за графіком та фактично.

При запізненні швидкісного пасажирського поїзда станційний диспетчер з черговим по станції приймають рішення про необхідність зміни колії прибуття, про що сповіщають з АРМ станційного диспетчера на АРМ довідкового бюро. На базі даної інформації сповіщаються причетні виконавці і пасажирів [4].

Оперативне планування роботи пасажирського комплексу здійснюється на добу, зміну і 4-6 годинними періодами упродовж зміни. Підставою для змінного і поточного планування є інформація про підхід поїздів, вагонів, локомотивів і розрахунок їх наявності, що допускається, на станції до початку планованого періоду. Схема отримання інформації та планування роботи пасажирського комплексу, на прикладі пасажирської станції Харків-Пас., наведена на рис. 3.

Умови оперативного планування роботи пасажирського комплексу:

- оперативне планування поїзної і маневрової роботи (на добу і зміну);
- ефективне використання технічних засобів, дотримання заходів щодо забезпечення безпеки руху, маневрової роботи і охорони праці працівників зміни;
- обробка системних документів в інформаційній технології АСК ІІІ УЗ-Є;

- формування поїздів відповідно до встановленого плану формування поїздів і встановлених норм;
- контроль обліку і звітності роботи станції за основними показниками;
- впровадження нової техніки і технології, направлених на ефективне використання технічних засобів;
- оперативний контроль за використанням і вдосконаленням технічних засобів;
- оперативне керівництво обробкою поїздів і составів у парках станції;
- оперативне керівництво маневровою роботою, з прибирання і подавання составів

швидкісних пасажирських поїздів і вагонів до ПТС;

- виконання змінного плану з приймання, відправлення, пропускання і технічної обробки поїздів;
- виконання технологічних норм з обробки поїздів і вагонів, максимальне поєднання технологічних операцій розформування, формування і технічної обробки составів у парках станції;
- організація роботи станційного технологічного центру обробки інформації і перевізних документів.

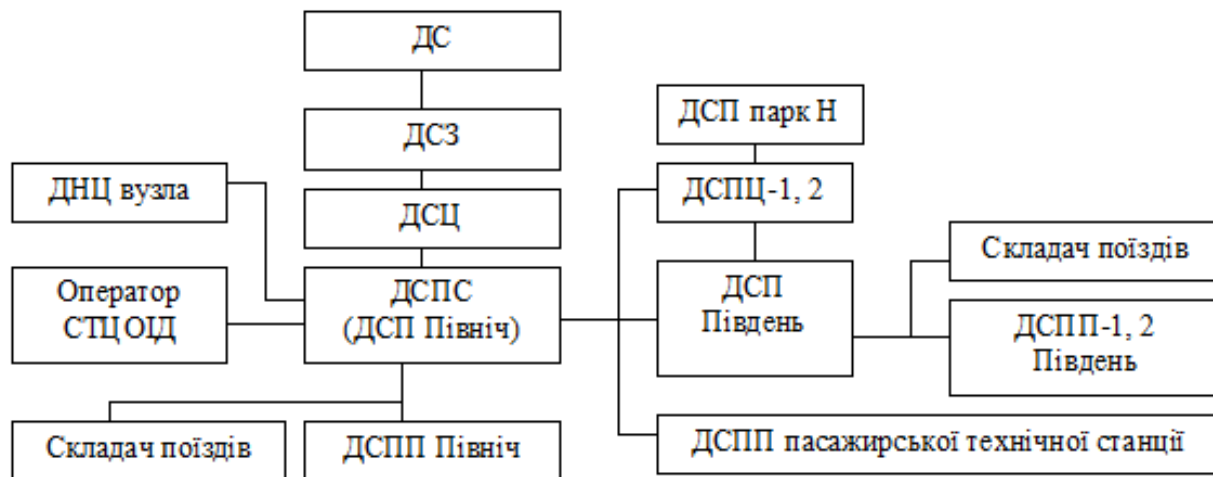


Рис. 3. Схема отримання інформації та планування роботи пасажирського комплексу

Модель тривалості відправлення на напрямок пасажирського швидкісного поїзда власності УЗШК або іншої операторської пасажирської компанії

визначають «зворотним» розрахунком часу, виходячи з підсумку часу руху на перегонах та часу розгону-уповільнення на проміжних станціях за формулою:

$$F(T_{nc_i}) = f \left[ \frac{L_i}{\mu_1 \cdot v_{x_i}} + (K_{nc} \cdot \mu_2 + 1)(t_{cm}^{nc} + t_p^{nc} + t_y^{nc}) \right], \quad (1)$$

де  $L_i$  – довжина напрямку  $i$  обертання пасажирського швидкісного поїзда, км;  
 $K_{nc}$  – кількість станцій зі стоянками пасажирських швидкісних поїздів;

$t_{cm}^{nc}, t_p^{nc}, t_y^{nc}$  – тривалість стоянок, розгону, уповільнення пасажирських швидкісних поїздів;

$\mu_1$  – коефіцієнт, що враховує підвищення швидкості пасажирських швидкісних поїздів до звичайних пасажирських поїздів;

$\mu_2$  – коефіцієнт, що враховує скорочення кількості стоянок пасажирських швидкісних поїздів.

$$F(T_{об_i}) = f \left[ \frac{L_i}{v_{марш_i}^{неп}} + \frac{L_i}{v_{марш_i}^{пар}} + t_{припис} + t_{об} \right], \quad (2)$$

де  $v_{марш_i}^{неп}$ ,  $v_{марш_i}^{пар}$  – маршрутна швидкість, відповідно: в непарному і парному напрямках, км/год;

$t_{припис}$  – тривалість простою пасажирського швидкісного поїзда на станції приписки, год;

$t_{об}$  – тривалість простою пасажирського швидкісного поїзда на станції обертання, год.

Модель потрібної кількості составів пасажирського швидкісного поїзда власності УЗШК або іншої операторської пасажирської компанії визначаємо за формулою:

$$F(N_i) = f \left( \frac{T_{об_i}}{24} \right), \quad (3)$$

де  $T_{об}$  – обертання пасажирського швидкісного поїзда, год.

$N_i$  – потрібна кількість составів пасажирського швидкісного поїзда.

В автоматизованих системах керування пасажирського комплексу штучні нейронні мережі (ШНМ) можуть застосовуватися у вигляді: нейроконтролерів; нейроемуляторів, що імітують динамічне поведіння об'єкта керування.

Модель обертання пасажирського швидкісного поїзда власності УЗШК або іншої операторської пасажирської компанії визначаємо за формулою:

Синтез нейроконтролера роботи пасажирського комплексу при швидкісних пасажирських перевезеннях, на прикладі станції Харків-Пас. в умовах розвитку інформатизації можна виконати на базі тришарової прямонаправленої мережі [11]. Як об'єкт керування можна вибрати інерційну коливальну ланку другого порядку з передатною функцією виду

$$W = \frac{k}{T^2 s^2 + 2T\zeta s + 1}. \quad (4)$$

Мета керування – придушення коливань обсягів швидкісних пасажирських перевезень при роботі пасажирського комплексу при східчастому вхідному впливі (значення постійних коефіцієнтів  $k=1$ ;  $T=0,5$ ;  $\zeta=0,1$  підбрані так, щоб коливальні властивості в об'єкта були виражені досить чітко).

Структура нейроконтролера: три ретранслюючі вузли у вхідному шарі, чотири схованих вузли із сигмоїдальними активаційними функціями та один вихідний. На вхідні нейрони подається різниця між вхідним впливом  $u_r$  і виходом об'єкта  $x_1$ , її інтеграл і похідна, а на виході мережі формується керуючий вплив  $u$  (рис. 4).

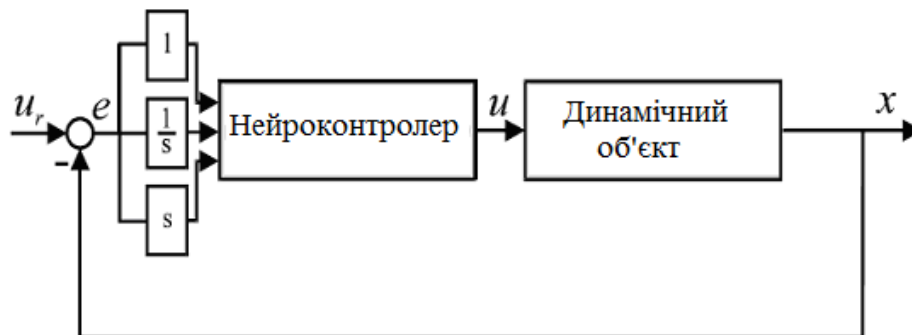


Рис. 4. Робота з нейроконтролером, що апроксимує коефіцієнти пропорційно-інтегродиференційного (ПІД)-регулятора

Для тренування мережі використовують генетичні алгоритми (ГА). Алгоритм зворотного поширення помилки вимагає інформації про помилку на ефекторному шарі ШМ. Для одержання такої інформації в схемі навчання необхідно передбачити звернений нейроемулятор об'єкта, роль якого зводиться до перетворення помилки на виході об'єкта у вихідний сигнал на виході

нейроконтролера, що істотно ускладнює процедуру тренування.

Генетичний же алгоритм набудує параметри нейроконтролера не помилково в керуванні  $u$ , а помилково на виході об'єкта, порівнюючи його з виходом еталонної моделі. Остання втілює в собі подання про бажане поведіння об'єкта, тобто відіграє приблизно ту саму роль, що і бібліотека тренувальних шаблонів у процедурі тренування (рис. 5).

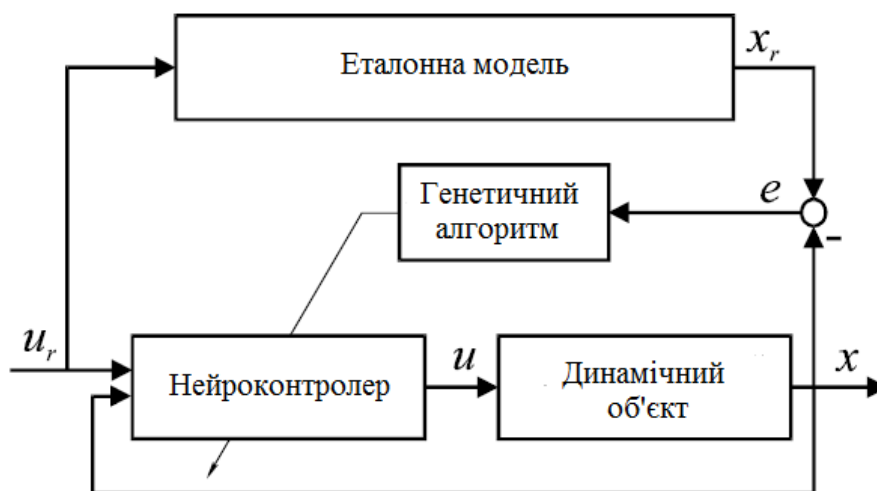


Рис. 5. Застосування ГА для настроювання параметрів нейроконтролера

Після декодування хромосом у вектори змінних оцінювалась здатність кожного варіанта мережі слідувати

еталонній моделі. Перевірка здійснюється шляхом послідовної подачі на керуючий вхід нейроконтролера одиничного



позитивного, нульового та одиничного негативного вхідного впливу і обчислення середньоквадратичної помилки вихідної координати об'єкта. Попередньо передатна функція об'єкта керування перетворюється в систему звичайних диференціальних рівнянь у формі Коші:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2; \\ \dot{x}_2 = \frac{-2T\zeta x_2 - x_1 + kU}{\sqrt{T}}. \end{cases} \quad (5)$$

Функціональні цілі при цьому будуть, порівняно з типовою технологією, поширені і торкатися, порівняно з іншими роботами, енергетичних витрат на не передбачуваних маневрових пересуваннях.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Виникає можливість проаналізувати кількість, черговість застосування і зміст вищенаведених складових, узагальнити західний досвід у вигляді уніфікованого алгоритму, загалом зупинитися на задоволенні практичних потреб залізничного транспорту.

Інформаційну технологію АСК пасажирського комплексу при швидкісних перевезеннях можна побудувати на функціональній основі з метою чіткого і своєчасного та якісного обслуговування пасажирів. При цьому виділяються основні функції з обслуговування пасажирів: квитково-касова; довідково-інформаційна; сервісна; побутова, а також господарська діяльність для підтримки в належному стані пасажирської технічної станції, будівель та устаткування вокзалу.

Робота пасажирської станції та пасажирської технічної станції потребує розробки Єдиного технологічного процесу роботи пасажирського комплексу.

Проблемні питання, що виникають при взаємодії пасажирської станції, пасажирської технічної станції, УЗШК та інших операторських компаній, потребують посади маневрового диспетчера-розпорядника або ДСПП пасажирської технічної станції.

Синтез нейроконтролера роботи пасажирського комплексу при пасажирських швидкісних перевезеннях в умовах розвитку інформатизації можна виконати на базі тришарової прямонаправленої мережі.

### Список використаних джерел

1. Концепція Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки [Електронний ресурс]: схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 31 грудня 2004 р. № 979-р. – Режим доступу: [www/URL: http://ukraine.uapravo.net/data/base23/ukr23446.htm](http://ukraine.uapravo.net/data/base23/ukr23446.htm). – Загол. з екрана.
2. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки [Електронний ресурс]: в ред. постанови Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2011 р. № 1106. – Режим доступу: [www/URL: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1106-2011-p](http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1106-2011-p). – Загол. з екрана.
3. Данько, М. І. Управління експлуатаційною роботою і якістю перевезень на залізничному транспорті [Текст]: навч. посібник / М.І. Данько, Т.В. Бутько, О.В. Березань [та ін.]. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 174 с.
4. 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.

5. Калашнікова, Т. Ю. Удосконалення інформаційно-керуючої системи залізниць в умовах інтегрованості [Текст] / Т. Ю. Калашнікова, Є. М. Кушкін, Є. Д. Куценко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 146 – С. 61-65.
6. Кулешов, В. В. Удосконалення інформаційної технології роботи з вагонами різних форм власності з метою оптимізації пропускної спроможності залізничних транспортних систем [Текст] / В.В. Кулешов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 124. – С. 83-90.
7. Кулешов, В. В. Формування Єдиної технології процесу перевезень операторів рухомого складу на інфраструктурі залізниць [Текст] / В.В. Кулешов // Вагонний парк. – 2014. – № 7(88). – С. 4-7.
8. Лючков, Д. С. Аналіз впровадження скоростного залізничного руху в Україні [Текст] / Д. С. Лючков, Ю. Л. Бердник // Вагонний парк. – 2010. – № 12. – С. 28-30.
9. Самсонкін, В. М. Основи реорганізації пасажирського комплексу залізничного транспорту [Текст] / В. М. Самсонкін, О. М. Гудков // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2009. – № 25. – С. 78-81.
10. Сухорукова, Т. Г. Перспективи розвитку пасажирського комплексу Південної залізниці з урахуванням досвіду роботи залізничних компаній світу [Текст] / Т. Г. Сухорукова, Л. В. Гуляєва // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2010. – № 32. – С. 45-49.
11. Розсоха, О. В. Моделювання пасажирських поїздопотоків високошвидкісних залізничних магістралей [Текст] / О. В. Розсоха, В. М. Солонець // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 5-13.
12. Ходаківський, О. М. Дослідження функціонування пасажирської станції на основі теорії систем [Текст] / О. М. Ходаківський, О. М. Огар, Т. Ю. Калашнікова, Ю. В. Хоменко // Зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – Вип. 8. – С. 69-73.
13. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности [Текст] / Г. К. Вороновский, К. В. Махотило, С. Н. Петрашев, С. А. Сергеев. — Харьков: ОСНОВА, 1997. – 112 с.
14. Newman, M. The structure and function of complex networks. SIAM Review, 2003. – 45. – 167-256
15. Yung-Cheng Lai, Dow-Chung Fan, Kwei-Long Huang Optimizing rolling stock assignment and maintenance plan for passenger railway operations // Computers & Industrial Engineering. Volume 85, July 2015. - 284-295.
16. Jørgen T. Haahr, Joris C. Wagenaar, Lucas P. Veelenturf, Leo G. Kroon A comparison of two exact methods for passenger railway rolling stock (re)scheduling// Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Volume 91, July 2016. – 15-32.

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

---

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

Чеботарьов Денис Миколайович, слухач Навчально-наукового інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

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

Chebotarev Denys Mykolaevich, listener Training and Research Institute of retraining and advanced training of Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42.

Стаття прийнята 21.06.2016 р.

УДК 629.4.027

## МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМИ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ВАГОННОГО ДЕПО В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Канд. техн. наук І. Д. Борзилов, магістрант А. Є. Антоненць

## МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ВАГОННОГО ДЕПО В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Канд. техн. наук И. Д. Борзилов, магистрант А. Е. Антоненц

## MODELS AND OPTIMIZATION ALGORITHMS OF THE WAGON DEPOT MANAGEMENT IN MODERN CONDITIONS

Cand. of techn. sciences I. D. Borzilov, A. E. Antonets

*Запропоновані моделі та алгоритми оптимізації управління в сучасних умовах господарювання вантажного вагонного депо з використанням інформаційних технологій. Наведені приклади реалізації запропонованих моделей управління технічним обслуговуванням вагонів на пункті технічного обслуговування сортувальної станції та станціях, де є підрозділи з технічного обслуговування вантажних вагонів, підпорядкованих експлуатаційному депо. Як перспектива та подальший розвиток оптимізації системи управління подана структурна схема моніторинг-технології цієї системи.*

**Ключові слова:** алгоритми, вагонне депо, ефективність, інформація, моделі, технологія, обслуговування, управління.

*Предложены модели и алгоритмы оптимизации управления в современных условиях хозяйствования грузового вагонного депо с использованием информационных технологий. Приведены примеры реализации предложенных моделей управления техническим обслуживанием вагонов на пункте технического обслуживания вагонов сортировочной станции и станциях, где есть подразделения по техническому обслуживанию грузовых вагонов, подчиненных эксплуатационному депо. Как перспектива и дальнейшее развитие оптимизации системы управления представлена структурная схема мониторинг-технологии этой системы.*

**Ключевые слова:** алгоритмы, вагонное депо, эффективность, информация, модели, технология, обслуживание, управление.

*Models and optimization algorithms of managing the cargo carriage depot using information technology are offered in the article. Examples of implementation of the proposed maintenance management models of cars at the point of maintenance yard wagons and stations where offered. As perspective optimization and further development of the control system, is a block diagram of the monitoring system technology.*

**Keywords:** algorithms, car depot, efficiency, information, models, technology, maintenance, management.

**Вступ.** В процесі реформування ПАТ «Укрзалізниця» гострою проблемою стає удосконалення ремонтної та експлуата-

ційної бази вагонних депо. Розподіл депо за типом робіт, які в них проводяться, ставить за мету підвищення ефективності роботи

департаменту вагонного господарства та залізничного транспорту в цілому. Найважливішим напрямком підвищення ефективності роботи вагонних депо була і залишається система їх управління. Існуюча система управління вагонних депо, стан виробничо-технічної бази і технологічний рівень структурних підрозділів підприємств за багатьма параметрами не відповідають зростаючим потребам галузі та європейським стандартам якості, перешкоджають підвищенню ефективності роботи.

Значного підвищення ефективності роботи вагонного депо можна досягти шляхом наукового підходу та впровадження інформаційних моделей та алгоритмів управління виробничою діяльністю підприємств.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За останній період часу виконано достатньо досліджень, присвячених підвищенню ефективності роботи вагонного депо [1-2]. В той же час досліджень, що спрямовані на розробку моделей та алгоритмів управління вагонних депо шляхом впровадження інформаційних технологій, надто мало. В останніх дослідженнях і публікаціях щодо підвищення ефективності роботи вагонних депо [3-4] також не в повній мірі ураховуються аспекти наукового обґрунтування доцільності і переваги використання інформаційних технологій в процесі управління підприємствами. Для вирішення поставленої проблеми доцільно використання й закордонного досвіду щодо підвищення ефективності управління в суміжних підприємствах залізничного транспорту [5-7].

**Постановка завдання.** Основним завданням даної статті є розробка моделей та алгоритмів оптимізації управління вантажного вагонного депо з використанням інформаційних технологій щодо підвищення ефективності роботи вагонного депо у всіх сферах його

виробничої діяльності, в тому числі й у системі управління.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В процесі створення моделей та алгоритмів оптимізації управління вантажного вагонного депо необхідно урахування взаємозв'язків, що існують між процесами виконання (рішень) і управління. Зміст цих взаємозв'язків визначається виробничими відносинами. В умовах виробничих відносин є не тільки повний збіг інтересів керівників і виконавців. Наявність на підприємствах інформаційної системи є формою прояву зазначених взаємозв'язків. Постійне вдосконалювання інформаційної системи є одним з найважливіших завдань процесу управління. Керівництво вагонного депо повинне в цьому обов'язку враховувати такі аспекти проблеми створення, використання й удосконалювання інформаційної системи: однозначність понять і уявлень; ясність відносно виду інформації (відомості, неврахування яких не спричиняє вживання дисциплінарних заходів, рекомендації, вказівки, директиви); якісна передача інформації шляхом використання технічних засобів (телефон, радіо, письмові або усні вказівки); виявлення найбільш істотного; виконання розпоряджень; забезпечення вірогідності.

Модель інформаційного ланцюга системи управління вагонним депо являє собою багатоконтурну ієрархічну структуру.

У найпростішому випадку інформаційний ланцюг складається з одного джерела інформації (рис. 1), одного споживача інформації (або інформаційного навантаження) і з'єднаних з ним провідників інформації (інформаційних каналів).

Стан управління вагонного депо в будь-який момент часу характеризується деякою невизначеністю (або, по-іншому кажучи, ентропією).



Рис. 1. Найпростіший інформаційний ланцюг

Як міра даної субстанції (ентропії) виступає кількість інформації, яку необхідно оцінити, щоб визначити згадану вище невизначеність.

$$H_0 = -\lg P_0. \quad (1)$$

Тут  $P_0$  – імовірність знаходження вагонного депо у вихідному стані, тобто до керуючого впливу, що виходить від джерела інформації (рис. 1). Величина  $H_0$ , що визначається за виразом (1), називається інформаційним потенціалом вихідного стану розглянутої системи, у цьому випадку вагонного депо.

Метою будь-якого управління є зміна в той або інший бік згаданої вище ймовірності  $P_0$  до деякого нового значення  $P_y$ , якому відповідає нове значення потенціалу

$$H_y = -\log_2 P_y, \quad (2)$$

де  $P_y$  – імовірність події, яка полягає в тому, що внаслідок керуючого впливу вагонне депо перейшло в новий, потрібний стан для особи, яка приймає рішення.

Ефективність управління, яке здійснюється джерелом інформації (рис. 1), зручно оцінювати за допомогою так званої інформаційної напруги

$$\Delta H = H_0 - H_y = \log_2 \frac{P_y}{P_0}. \quad (3)$$

Так, наприклад, оператор пункту технічного обслуговування (ПТО) вагонів на станції, що управляє технічним обслуговуванням вагонів, є джерелом керуючої інформації. Його напруга дорівнює логарифму відношення ймовірностей безаварійного проходження поїзда по гарантійній дільниці при наявності  $P_y$  й відсутності керуючих впливів  $P_0$ .

Аналогічно, керівництво вагонним депо є джерелом керуючої інформації для підприємства, маючи інформаційну напругу, що визначається ймовірностями виконання підприємством плану ремонту при наявності й відсутності всього керівництва депо.

Як видно з виразу (3), інформаційна напруга джерела  $\Delta H$  може бути як позитивною, так і негативною. Якщо ж  $P_y = P_0$ , то значення в керуванні ніякого немає.

Якщо основу логарифма у виразі (3) прийняти як число 2, то як розмірність інформаційної напруги можна використати біти, за допомогою яких прийнято вимірювати також кількість інформації.

Видана джерелом інформація надходить до виконавчих органів, які є інформаційним навантаженням джерела, а потім повертається в джерело у формі інформації – зворотного зв'язку.

За певних умов (відсутність звичок і пам'яті) єдиною характеристикою виконавчого органу є його інформаційний опір  $\tau_H$ , тобто час реакції на отриману

інформацію (час виконання). Час, необхідний для прийняття самого рішення, є внутрішнім інформаційним опором джерела керуючої інформації, тобто зворотним щодо його пропускну здатності.

У цьому випадку за аналогією з теорією електричних кіл має місце так званий інформаційний закон Ома

$$I = \frac{\Delta H}{r_n}, \quad (4)$$

де  $r_n = r - r_{вн}$  – інформаційний опір навантаження;

$r$  і  $r_{вн}$  – інформаційні опори відповідно до всього ланцюга й джерела;

$I$  – інформаційний струм ланцюга навантаження.

При однократному ухваленні рішення джерелом керуючого навантаження крізь систему (ланцюгом) проходить інформація, яка чисельно дорівнює напрузі джерела

$$J = I \cdot r_n = \Delta H. \quad (5)$$

При тривалій роботі системи управління протягом часу  $T$  по ланцюгу протікає інформація

$$J = \int_0^T I dt = \int_0^T \frac{\Delta H}{r_n} dt. \quad (6)$$

Наприклад, після прибуття поїзда на сортувальну станцію й відчеплення магістрального локомотива оператор ПТО вагонів умикає розташоване в парку прибуття табло "Огородити склад на такій-то колії сигнальними знаками", що горить протягом часу  $T$ . Бригаді оглядачів вагонів для виконання команди потрібен час  $r_n$ . Таким чином, можна вважати, що на ПТО вагонів діє 100-відсоткова технологічна дисципліна, тобто  $P_y = 1$ .

В чому ефективність даної організації огороження поїздів на ПТО вагонів? З

виразів (6) і (3) одержуємо формулу для підрахунку кількості ймовірності, яку треба знайти

$$J = -\frac{T}{r_n} \log_2 P_0, \quad (7)$$

де  $P_0$  – імовірність того, що коли раптово вийшло з ладу табло, оглядачі мимовільно (з почуття самозбереження) поставлять сигнальне огороження складу.

Покладемо:  $P_0 = 0,8$ ;  $T=3$  хв;  $r_n=2$  хв, тоді  $J=9,5$  біт. Якщо ж на ПТО вагонів існують проблеми з технологічною дисципліною, тобто  $P_y \neq 1$ , то має місце вираз

$$J = -\frac{T}{r_n} \log_2 \frac{P_y}{P_0}. \quad (8)$$

Нехай імовірність порушення дисципліни дорівнює 0,1, тобто  $P_y = 0,9$ . Тоді при тих же вихідних даних  $J=0,25$  біта. Звідси видно, на скільки понизилася ефективність управління.

Ефективність джерела керуючої інформації (суб'єкта управління) залежить від того, наскільки швидко він створює рішення (видає керуючу інформацію) при зміні стану навантаження (або стану виробництва – об'єкту управління). Запізнювання із створенням у джерелі керуючої інформації знецінює видану ним керуючу інформацію. Дане запізнювання виконує функції внутрішнього інформаційного опору джерела.

Як приклад розглянемо управління технічним обслуговуванням вагонів на ділянці, за що відповідає начальник експлуатаційного вагонного депо. Під його підпорядкуванням перебуває декілька ПТО вагонів різного типу, і на кожному ситуація із запасом матеріалів і запасних частин, робочою силою, технологічним обладнанням, потоком вагонів, що відмовили, і т.п. постійно змінюється.

У цих умовах досить часто джерело (тобто начальник депо) запізнюється із створенням відповідної керуючої інформації (рішень). Коефіцієнт корисної дії (ККД) цих запізнених рішень буде низьким. Інакше кажучи, інформаційна напруга такого джерела керуючої інформації упаде практично до нуля і взагалі буде марною. І це навіть у тому випадку, якщо зазначене рішення є правильним і ефективним, однак без урахування запізнення воно буде холостим. У цьому випадку джерело інформації мало б досить високу напругу.

Цю напругу джерела, яку воно має на холостому ходу, без інформаційного навантаження (тобто без обліку внутрішнього опору), прийнято називати інформаційно-рухомою логікою (ІРЛ) джерела.

При наявності інформаційного навантаження інформаційний струм  $I$  створює падіння напруги на внутрішньому опорі  $r_{вн}$ , що знижує ІРЛ до робочої напруги на величину  $I \cdot r_{вн}$ . Тому має місце співвідношення

$$\Delta H = h - I \cdot r_{вн}, \quad (9)$$

де  $h$  – ІРЛ джерела, яке дорівнює

$$\Delta H_{ІРЛ} = \log_2 \frac{P_h}{P_0}; \quad \Delta H = \log_2 \frac{P_y}{P_0}.$$

Останній вираз можна записати як

$$P_y = P_h \exp(-I \cdot r_{вн} \ln 2). \quad (10)$$

Звідси видно, що для великих інформаційних струмів джерела керуючої інформації з помітним внутрішнім опором (запізнюванням)  $r_{вн}$  можуть забезпечити лише порівняно низьку ймовірність  $P_y$  бажаної події.

Аналіз останніх двох виразів дозволяє ефективніше організувати роботу з підбору й розміщення кадрів у системі управління вагонним депо. Стосовно до працівників ІРЛ характеризує його потенційні творчі можливості при практично необмеженому

часі, який відведено для прийняття рішень. Внутрішній інформаційний опір працівника характеризує швидкість розуміння, що не залежить від потенційних можливостей індивіда. Інформаційна ж напруга відповідно до виразу (9) обумовлена сукупним впливом факторів. Зазначені два співвідношення з математичною точністю підтверджують давно відомий факт, який полягає в тому, що нерідко досить обдаровані, але з уповільненою реакцією люди виявляються безпомічними при оперативному управлінні, які швидко змінюються відповідно стану об'єкту, забезпечуючи відповідно до виразу (10) лише невелику ймовірність досягнення мети управління. У той же час для багатьох не є секретом, що швидкість міркування й талант людини не є взаємно зумовлюючими властивостями особистості. Це підтверджується останніми двома формулами. При реалізації такої функції управління, як планування, приділяється достатній час. Використовуючи терміни запропонованої моделі, у цьому випадку інформаційні струми малі, а втрати напруги  $I \cdot r_{вн}$  навіть при значних  $r_{вн}$  є несуттєвими.

Тоді відповідно до виразу (9) необхідно визначити

$$\Delta H = h \text{ й } P_y = P_h. \quad (11)$$

Ці висновки варто брати до уваги при вирішенні кадрових питань, розподіляючи керівників за ступенями управління вагонного депо.

Будь-які джерела інформації (наприклад, працівники) мають кінцевий інформаційний опір  $r_{вн}$ . Для розробки додаткових рекомендацій, спрямованих на підвищення ефективності управління вагонного депо, наприклад, за рахунок зменшення опору  $r_{вн}$ , існують досить корисні інформаційні ланцюги з різними комбінаціями джерел і навантажень. Так, застосовують відповідно послідовне або паралельне з'єднання джерел керуючої інформації.

В процесі реформування залізничної галузі відбуватиметься переоцінка форм організації виробництва й реорганізація управління. Керівництвом ПАТ «Укрзалізниця» розроблена програма реформування вагонного господарства. Успішна її реалізація залежить від параметрів процесу засвоєння й осмислення положень цього документа. Ці параметри уявляється можливим проаналізувати за допомогою інформаційних ланцюгів, що володіють опором, пам'яттю й ригідністю.

Засвоєння й осмислення основних положень програми реформування вагонного господарства відбувається в процесі їх використання практично. Для цього використаємо інформаційний ланцюг, поданий на рис. 2.

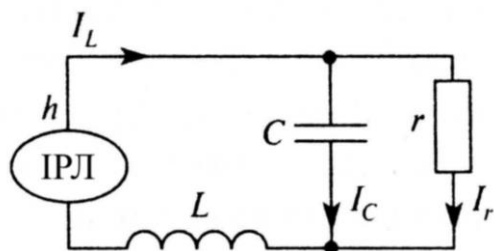


Рис. 2. Ригідний ланцюг з паралельною пам'яттю

У цьому випадку розглядається робота джерела керуючої інформації (керівництво ПАТ «Укрзалізниця») на ригідне навантаження (виконавці) з паралельною пам'яттю. Останнє використовується в ланцюгу для того, щоб моделювати процес згладжування нерівномірного надходження інформації від джерела й працює паралельно з виконавчими органами (працівниками вагонного господарства).

Рівняння, що характеризують даний інформаційний ланцюг, мають вигляд

$$I_L = I_C + I_r, \tag{12}$$

$$h = L \frac{dI_L}{dt} + I_r \cdot r, \tag{13}$$

$$I_r \cdot r = \frac{1}{C} \int I_C dt. \tag{14}$$

Прийmemo позначення  $T = \sqrt{C \cdot L}$ ,  $\delta = \frac{1}{2C} \sqrt{\frac{L}{C}}$ . Тоді рішення вищенаведених рівнянь можна подати у такій формі:

якщо  $\delta > 1$

$$I_r = \frac{h}{r} \left[ 1 - \frac{\delta + \sqrt{\delta^2 - 1}}{2\sqrt{\delta^2 - 1}} \cdot \exp\left(\frac{(-\delta - \sqrt{\delta^2 - 1}) \cdot t}{T}\right) \right] + \frac{h}{r} \left[ \frac{\delta - \sqrt{\delta^2 - 1}}{2\sqrt{\delta^2 - 1}} \cdot \exp\left(\frac{(-\delta + \sqrt{\delta^2 - 1}) \cdot t}{T}\right) \right], \tag{15}$$

якщо  $\delta < 1$ ,

$$I_r = \frac{h}{r} \left[ 1 + \frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 - 1}} \cdot \sin\left(\frac{t\sqrt{1 - \delta^2}}{T}\right) - \cos\left(\frac{t\sqrt{1 - \delta^2}}{T}\right) \exp\left(\frac{\delta \cdot t}{T}\right) \right], \tag{16}$$



якщо  $\delta = 1$ ,

$$I_r = \frac{h}{r} \left[ 1 + \left( \frac{t}{T} - 1 \right) \exp \left( -\frac{t}{T} \right) \right]. \quad (17)$$

Із цих рішень витікає, що при малих навантаженнях, хорошій кваліфікації й пам'яті, а також великій ригідності (великий консерватизм), що відповідає умові  $L > 4r^2C$ , система управління реформуванням вагонного господарства досягає своєї планової продуктивності праці  $I_r = I_L = (h/r)$  відповідно до виразу (15) у результаті планового й поступового нарощування темпів праці в міру освоєння нових правил організації роботи. Для відносно великих навантажень і пам'яті, але при обмеженій ригідності ( $L < 4r^2C$ ) з формули (16) виходить, що систему якийсь час буде «морозити», перш ніж вона досягне планової продуктивності праці. При  $\delta = 1$  має місце найшвидше протікання процесу реформування вагонного господарства.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Практична реалізація запропонованих моделей та алгоритми оптимізації управління вагонних депо з використанням інформаційних технологій в процесі технічного утримання вагонів (технічне обслуговування та планові ремонти) повинні передбачати перехід до інформаційно-керуючої системи (ІКС).

Система повинна включати: автоматизовану систему управління (АСУ); автоматизовані робочі місця (АРМ); реєстратори інформації виконавців і пов'язані з ними пристрої; комплекс засобів

технічного діагностування; засоби механізації й автоматизації робіт.

Одним з результатів впровадження ІКС повинен бути перехід до безпаперової технології, тобто передача й одержання з ЕОМ (через АРМ й іншу техніку) всієї інформації.

Досвід впровадження таких систем в різних галузях промисловості країни свідчить про необхідність впровадження розвиненої системи інформаційного забезпечення. Основу її складають технології інтегрованої логістичної підтримки (ІЛП). Дана система функціонує в інтегрованому інформаційному середовищі, що об'єднує інформаційні ресурси всіх учасників перевізного процесу. Власна система передачі даних Укрзалізниці, наявність різноманітних пристроїв отримання первинної інформації про технічний стан окремих одиниць залізничної техніки є основою для впровадження зазначених технологій.

Для реалізації технологій ІЛП мають бути розроблені комплекси заходів, у тому числі – застосування систем комплексного моніторингу (КМ) технічного стану вагонів. Однією із основних проблем впровадження КМ є організаційний бік, що заключається в обґрунтуванні структури і алгоритму функціонування системи. Алгоритм впровадження КМ наведений на рис. 3.

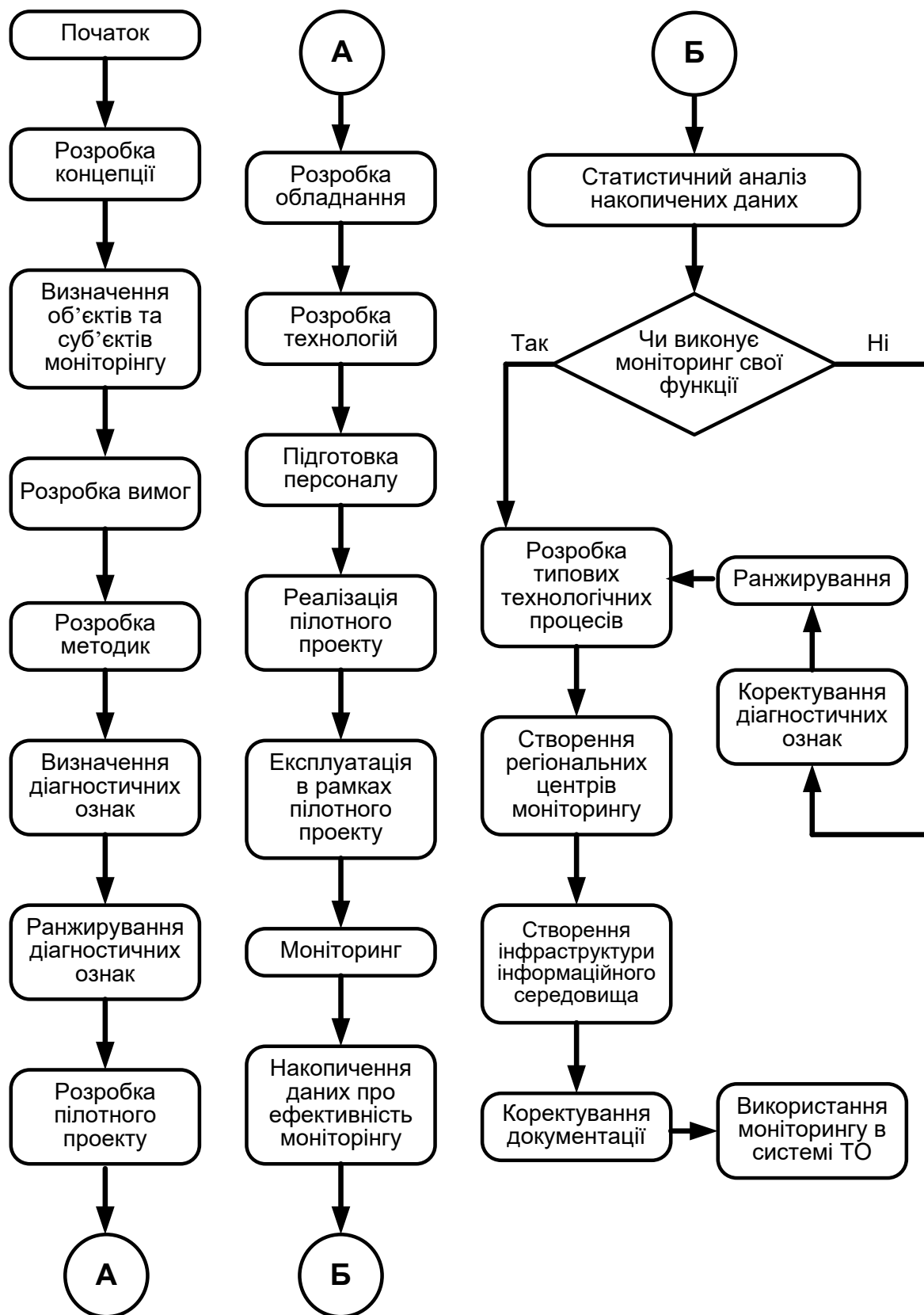


Рис. 3. Алгоритм впровадження комплексного моніторингу

*Список використаних джерел*

1. Борзилов, І. Д. Наукові підходи до корегування існуючої системи технічного утримання вагонів за умов їх старіння [Текст] / І. Д. Борзилов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 123. – С. 39-45.
2. Борзилов, І. Д. Моделювання інноваційного технологічного процесу ремонту вантажних вагонів та їх складових частин [Текст] / І. Д. Борзилов, С. А. Грабелко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 128. – С. 201-205 .
3. Борзилов, І. Д. Підвищення ефективності роботи вагонного депо шляхом впровадження інноваційних технологій [Текст] / І. Д. Борзилов, О. О. Рожков, О. С. Моїсенко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 158. – Т. 2. – С. 35-41.
4. Вагонное хозяйство [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. транспорта / под ред. П.А. Устича. – М.: Маршрут, 2003. – 560 с.
5. Maurizio Bielli, Alessandro Bielli, Riccardo Rossi / Trend in Modelsard Algorithms for Flect // Managemet Review Article / Procedia-Social and Behavioral Sciences, Volum 20, 2011, Pages 4-18.
6. Athanasios Ballis, Loukas Dimitriou. Issues on railway wagon asset management using advanced information systems / Transportation Research Part C: Emerging Technologion, Volum 18, Issue 5, October 2010, Pages 807-820.
7. Giovanni Luca, Giacco, Donato Carillo, Andrea DAriano, Dario Pacciarelli? Andel G. Marin / Short-term Rail Rolling Stock Rostering and Maitenance Scheduling / Transportation Research Procedia, Volum 3, Pages 651-659.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

---

Борзилов Іван Дмитрович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: +38 (057) 730-10-35.

Антонець Андрій Євстафійович, слухач НН ІППК УкрДУЗТ. Тел.: 066-771-01-81.

Borzilov I.D., candidate. sc. associate professor, department cars Ukrainian State University of Railway Transport. Тел.: +38 (057) 730-10-35.

Antonets A.E. listener NN IPPK UkrDYZT. Тел.: 066-771-01-81.

Стаття прийнята 21.06.2016 р.

УДК 539.3:4/629.4.027.2

## РОЗРАХУНКОВІ МЕТОДИ ОЦІНКИ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ ЛИТОЇ БОКОВОЇ РАМИ ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

Д-р техн. наук О. В. Фомін (ДЕТУТ), старш. наук. співроб. О. М. Багров (ДП УНДІВ)

## РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ЛИТОЙ БОКОВОЙ РАМЫ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Д-р техн. наук О. В. Фомин (ГЭТУТ), старш. науч. сотруд. А. Н. Багров (ГП УНИИВ)

## CALCULATION METHODS FOR FATIGUE STRENGTH EVALUATION OF THE CAST SIDE FRAME OF THE FREIGHT CAR BOGIE

Doctor of technical sciences A. Fomin, senior researcher O. Bahrov

*Бокова рама візка є особливо важливою та найбільш проблемною деталлю ходової частини вантажного вагона. При цьому бокова рама є неідресореною частиною візка, що призводить до більш жорсткого сприйняття навантажень цією деталлю. Тому на етапі проектування слід приділяти особливу увагу характеристикам, що пов'язані з опором утомі деталі.*

*У статті розглянуто основні методи визначення показників опору втомі, що можуть бути застосовані під час теоретичної та експериментальної оцінки.*

**Ключові слова:** бокова рама, візок, втомна міцність, коефіцієнт запасу опору втомі.

*Боковая рама тележки особенно важная и наиболее проблемная деталь ходовой части грузового вагона. При этом боковая рама является недресоренной частью тележки, что приводит к более жесткому восприятию нагрузок этой деталью. Поэтому на этапе проектирования следует уделять особое внимание характеристикам, связанным с сопротивлением усталости детали.*

*В статье рассмотрены основные методы определения показателей сопротивления усталости, которые могут быть применены при теоретической и экспериментальной оценке.*

**Ключевые слова:** боковая рама, тележка, усталостная прочность, коэффициент запаса сопротивления усталости.

*A side frame of the bogie is the most important and problem part of a freight car chassis. Besides a side frame is an unsprung part of the bogie what results in harder resistance of loads by this part. That's why during design period special attention should be paid to characteristics connected with fatigue resistance of the part.*

*In the article were considered basic methods for determination of fatigue resistance values, which can be used during theoretical and experimental evaluation.*

*When implementation of changes into the design takes place, evaluation of the design integrity under static and dynamic loads is a necessary condition for its further use.*

*At the design start theoretical evaluation of the fatigue resistance of a cast side frame takes places. For this purpose, with the help of software, maximum equivalent stresses caused by the vertical static total weight load are being determined. Fatigue safety factor is determined according to obtained stresses and compared to its normative value.*

*The next stage of the fatigue resistance evaluation is manufacture and testing of the part natural sample. Tests are performed according to procedures in force. Experimental data of complete tests of side frames go through probability statistical processing determination of the fatigue resistance characteristics with the confidence estimation of probable divergence. Assessment of the complete tests results is performed by comparison of design safety factors with their accepted values.*

**Key words:** side frame, bogie, fatigue strength, fatigue safety factor.

**Вступ.** На даний момент основною ходовою частиною вантажного вагона є візок 18-100. Візок даної конструкції, завдяки своїй простоті, тривалий час експлуатується на просторі залізниць колії 1520 мм. За всі ці роки деталі візка зазнали різних модифікацій конструкції. Як показує досвід експлуатації і численні дослідження, однією з основних причин виходу з ладу цих моделей є недостатня міцність бокової рами [1, 2]. Тому на етапі проектування нових конструкцій візків особлива увага приділяється вивченню небезпечних зон, які характеризуються виникненням підвищених напружень при експлуатації.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Над розробленням і вдосконаленням методів розрахунку бокових рам трьохелементних візків вантажних вагонів працювали багато вітчизняних та зарубіжних учених [1-5].

Великий внесок у розвиток цієї галузі зробили вчені: М.Ф. Веріго, О.Б. Камаєв, С.В. Вершинський, В.С. Плоткін, Л.А. Шадур та ін. Нині залишаються нерозв'язаними завдання зі створення методів проектування литих деталей візків вантажних вагонів, які б давали змогу на етапах пророблення технічного завдання визначати варіанти конструкцій з покращеними показниками надійності.

**Мета статті.** Висвітлення особливостей запропонованої узагальненої процедури розрахункового методу визначення оцінки втомної міцності литої бокової рами візка вантажного вагона, що допоможе вчасно на етапі проектування при необхідності внести зміни в конструкцію з метою збільшення надійності.

**Основна частина.** При запропонованні змін до конструкції відповідно до вимог [4] необхідною умовою для подальшого впровадження в експлуатацію є оцінка міцності конструкції під дією статичних і динамічних навантажень [5, 7, 8]. Однак для розробника проведення повного циклу випробувань, необхідних для оцінки міцності, є дорогим, особливо в разі появи необхідності внесення додаткових змін до конструкції. Таким чином, на початковій стадії проектування доцільно вдатися до теоретичної оцінки міцності за допомогою сучасного програмного забезпечення. Одним з таких програмних продуктів є Ansys Workbench [9], за допомогою якого можна отримати велику кількість характеристик міцності деталі, а також при необхідності відкоригувати конструкцію, що дає змогу знизити вартість на етапі проектування.

На початковому етапі проектування виконується теоретична оцінка втомної міцності литої бокової рами. З цією метою, використовуючи програмне забезпечення, визначають максимальні еквівалентні напруження від дії вертикального статичного навантаження бруто. Схема встановлення граничних умов і прикладення навантаження повинна відповідати схемі при проведенні випробувань натурних зразків (рис. 1).

Під час експлуатації бокових рам візка вантажного вагона найбільш небезпечними є тріщини, що виникають у зоні внутрішнього кута буксового прорізу [10], тому цей переріз є одним з наднебезпечних. Після розрахунку напружень Мізеса (рис. 2) визначають максимальні напруження в небезпечних перерізах.

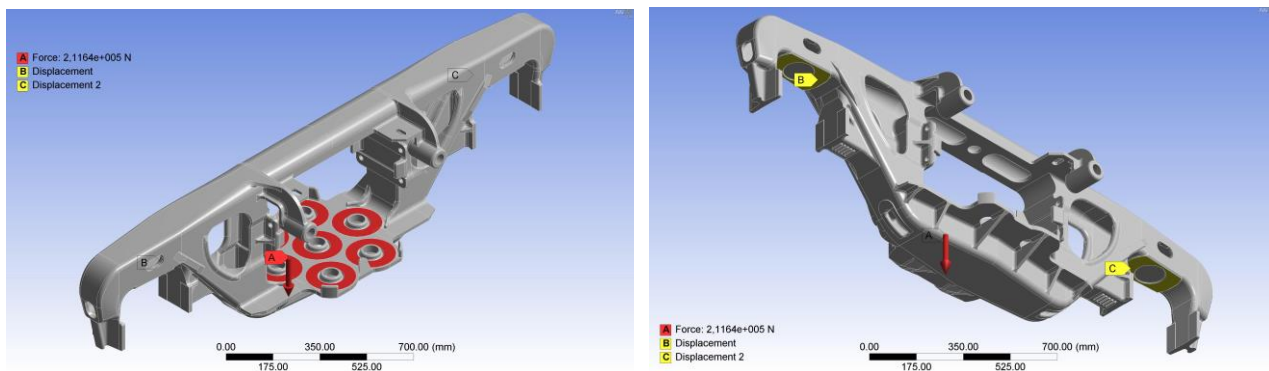


Рис. 1. Схема прикладення навантаження та встановлення граничних умов

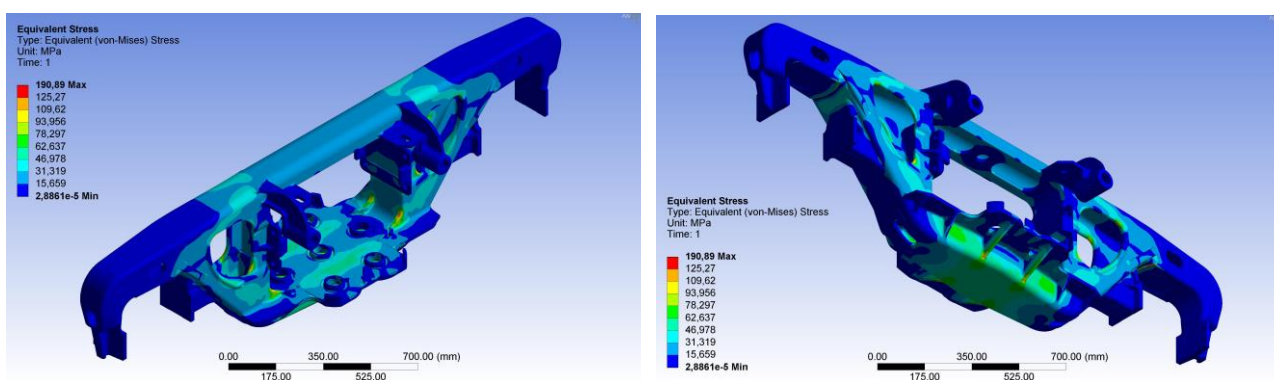


Рис. 2. Напружений стан бокової рами візка 18-100

Оцінка втомної міцності проводиться згідно з [11] за коефіцієнтом запасу за формулою

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,\varepsilon}} \geq [n], \quad (1)$$

де  $\sigma_{a,N}$  – межа витривалості (за амплітудою) натурної деталі при симетричному циклі і сталому режимі навантаження при базовому числі циклів  $N_0$ . Для конструкцій із сталей приймається  $N_0 = 10^7$ ;

$\sigma_{a,\varepsilon}$  – розрахункова величина амплітуди динамічного напруження умовного симетричного циклу, приведена до базового числа циклів  $N_0$ , еквівалентна за шкідливою дією реальному режиму

експлуатаційних випадкових напружень за проектний термін служби деталі;

$[n]$  – допустимий коефіцієнт запасу опору втоми.

Розрахункове значення  $\sigma_{a,N}$  визначається за формулою

$$\sigma_{a,N} = \bar{\sigma}_{a,N} \cdot (1 - z_p \cdot v_{\sigma_{a,N}}), \quad (2)$$

де  $\bar{\sigma}_{a,N}$  – середнє (медіанне) значення межі витривалості контрольної зони деталі;

$z_p$  – квантиль розподілу  $\sigma_{a,N}$ , для основних несучих деталей вагонів рекомендується приймати ймовірність розподілу  $P = 0,95$  та  $z_p = 1,645$ ;

$v_{\sigma_{a,N}}$  – коефіцієнт варіації межі витривалості деталі, для сталевих виливків згідно з [10]  $v_{\sigma_{a,N}} = 0,1$ .

Значення  $\bar{\sigma}_{a,N}$  визначається за формулою

$$\bar{\sigma}_{a,N} = \frac{\bar{\sigma}_{-l}}{(\bar{k}_{\sigma})_k}, \quad (3)$$

де  $\bar{\sigma}_{-l}$  – середнє (медіанне) значення межі витривалості гладкого стандартного зразка з матеріалу деталі при симетричному циклі вигину на базі  $N_0$ , для сталевого литва  $\bar{\sigma}_{-l} \approx 0,45\sigma_s$ ;

$(\bar{k}_{\sigma})_k$  – середнє значення загального коефіцієнта зниження межі витривалості даної натурної деталі по відношенню до межі витривалості гладкого стандартного зразка.

Оцінка на втомну міцність бокової рами проводиться для перерізів з максимальним рівнем еквівалентних напружень від впливу вертикального статичного навантаження бруто.

При впливі на деталь циклічного навантаження крива втоми має вигляд:

$$N_i \cdot \sigma_i^m = const, \quad (4)$$

де  $N_i$  – кількість циклів навантаження;

$\sigma_i$  – напруження матеріалу в даній точці.

У разі впливу навантаження з різними напруженнями сумарна втома буде дорівнювати сумі додатків кількості циклів при кожному напруженні на дане напруження.

Таким чином, при виникненні у вузлі різних циклічних навантажень можна замінити їх навантаженням з постійною амплітудою:

$$N_l \cdot \sigma_l^m = \sum N_i \cdot \sigma_i^m. \quad (5)$$

Таке перетворення буде справедливе для напружень, менших від межі текучості.

Значення напружень у вузлі під час руху потяга визначаємо за статичними

напруженнями від ваги кузова з вантажем і надресорними балками і за коефіцієнтом динаміки відповідно до [11, 12]

$$\sigma_i = \sigma_{cm} \cdot K_{di} \quad (6)$$

– при  $V < 15$  м/с ( $\approx 55$  км/год)

$$\overline{K_{di}} = a \cdot \frac{V_i}{15}, \quad (7)$$

– при  $V > 15$  м/с

$$\overline{K_{di}} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot v \cdot \frac{V_i - 15}{f}, \quad (8)$$

де  $a$  – коефіцієнт для елементів рами,  $a=0,15$ ;

$v$  – коефіцієнт, що враховує вплив кількості осей у візку,  $b=1$ ;

$V_i$  – швидкість руху в  $i$ -му інтервалі;

$f$  – розрахунковий статичний прогин ресорного підвищування  $f=0,05$  м.

Отримуємо

$$N_l \cdot \sigma_l^m = \sigma_{cm}^m \cdot \sum N_i \cdot \overline{K_{di}}^m. \quad (9)$$

Кількість циклів при кожному з напружень визначаємо за [8]

$$N_i = N_p \cdot p_i, \quad (10)$$

де  $N_p$  – загальне число циклів;

$p_i$  – імовірність перебування вагона в заданому діапазоні швидкостей,

$$N_0 \cdot \sigma_{a,\varepsilon}^4 = N_p \cdot \sigma_{cm}^4 \cdot \sum \overline{K_{di}}^4 \cdot p_i, \quad (11)$$

звідки

$$\sigma_{a,\varepsilon} = \sigma_{cm} \cdot \sqrt[4]{\frac{N_p}{N_0} \sum \overline{K_{di}}^4 \cdot p_i}. \quad (12)$$

Сумарна кількість циклів вертикальних динамічних сил за розрахунковий термін служби визначається згідно з [8] за формулою

$$N_p = 365 \cdot f_3 \cdot \frac{L_c}{V_m} \cdot T_k, \quad (13)$$

де  $f_3$  – ефективна частота процесу вимірювання вертикальних динамічних напружень;

$L_c$  – середньодобовий пробіг навантаженого вагона;

$V_m$  – середня технічна швидкість руху вагона;

$T_k$  – проектний (календарний) термін служби деталі.

Ефективна частота  $f_3$  визначається згідно з [10] за формулою

$$f_3 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{2}{\lambda \cdot m_k}}, \quad (14)$$

де  $m_k$  – маса навантаженого кузова;

$\lambda$  – гнучкість ресорного комплексу під вагою брутто.

Для визначення величини еквівалентної наведеної амплітуди динамічних напружень  $\sigma_{a,ei}$  використовувалися дані середніх швидкостей в інтервалах  $V_i$  і частота експлуатації в  $i$ -му інтервалі швидкостей  $p_i$  (табл. 1), що наведені в [10].

Таблиця 1

Визначення коефіцієнта вертикальної динаміки в  $i$ -му інтервалі швидкостей

Інтервал швидкостей	$V_i$ , м/с	$p_i$	$K_{di}$	$(K_{di})^4 \cdot p_i$
0-12,5	6,25	0,03	0,063	0,000000473
12,5-15,0	13,75	0,07	0,138	0,000025387
15,0-17,5	16,25	0,09	0,158	0,000056088
17,5-20,0	18,75	0,12	0,174	0,000109996
20,0-22,5	21,25	0,16	0,190	0,000208514
22,5-25,0	23,75	0,19	0,206	0,000342155
25,0-27,5	26,25	0,16	0,222	0,000388626
27,5-30,0	28,75	0,10	0,238	0,000320854
30,0-32,5	31,25	0,06	0,254	0,000249739
32,5-35,0	33,75	0,02	0,271	0,000107872
<b><math>\Sigma</math></b>		1,00		<b>0,001809703</b>

Підставивши значення в формулу (12), отримаємо значення розрахункової величини амплітуди динамічного напруження умовного симетричного циклу, після чого розраховують коефіцієнт запасу опору втомі. Визначають мінімальне значення між отриманими коефіцієнтами за перерізами та порівнюють з нормативним значенням. Згідно з вимогами [13] коефіцієнт запасу опору втомі, отриманий

за розрахунковими даними для деталей візків, повинен бути не менше ніж 2,1.

Наступним етапом оцінки втомної міцності є виготовлення та випробування натурних зразків деталі. Випробування проводять згідно з чинними методиками [6].

Дослідні дані повних випробувань бокових рам піддають імовірно-статистичній обробці для визначення



характеристик опору втомі з довірчою оцінкою ймовірного розсіювання.

При статистичній обробці даних випробувань деталей, які не отримали руйнування втомною тріщиною при досягненні базового числа циклів навантаження  $N_{\bar{\sigma}} = 10^7$ , до розрахунку береться  $N_i = 1,1 \cdot N_{\bar{\sigma}}$ .

При цьому приймають степеневу апроксимацію рівняння кривої втоми  $P_a^m \cdot N_i = const$ , передбачають логарифмічний нормальний розподіл меж витривалості і використовують методику лінійного регресивного аналізу [13, 14].

Основні статистичні характеристики показників витривалості обчислюють з точністю до шести знаків після коми:

– вибіркові середні значення логарифмів розмірів величин амплітуд змінних навантажень  $P_{ai}$  і кількості циклів  $N_i$  до зруйнування:

$$\overline{\lg P_a} = \frac{\sum_{i=1}^n \lg P_{ai}}{n}, \quad (15)$$

$$\overline{\lg N} = \frac{\sum_{i=1}^n \lg N_i}{n}, \quad (16)$$

де  $n$  – кількість випробовуваних деталей;

– вибіркові середньоквадратичні відхилення значень логарифмів амплітуд навантажень  $S_{\lg P_a}$  і кількості циклів  $S_{\lg N}$ :

$$S_{\lg P_a} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lg P_{ai} - \overline{\lg P_a})^2}{n-1}}, \quad (17)$$

$$S_{\lg N} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lg N_i - \overline{\lg N})^2}{n-1}}; \quad (18)$$

– коефіцієнт лінійної кореляції експериментальних даних:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (\lg P_{ai} - \overline{\lg P_a}) \cdot (\lg N_i - \overline{\lg N})}{(n-1) \cdot S_{\lg P_a} \cdot S_{\lg N}}; \quad (19)$$

– показник степеня  $m$  рівняння кривої втоми:

$$m = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{S_{\lg N}}{S_{\lg P_a}}. \quad (20)$$

За отриманими статистичними характеристиками записують рівняння лінії регресії меж обмеженої витривалості деталі в координатах  $(\lg P_a, \lg N)$ , що відображає середньо-ймовірне положення кривої втоми для випробовуваних деталей:

$$\lg P_{an} = \overline{\lg P_a} - \frac{1}{m} \cdot (\lg N_{\bar{\sigma}} - \overline{\lg N}). \quad (21)$$

За рівняннями лінії регресії обчислюють середнє (відповідно до ймовірності  $\alpha = 0,5$ ) значення меж витривалості в амплітудах при базовій кількості циклів навантажування  $N_{\bar{\sigma}} = 10^7$  за формулою

$$(\lg P_a)_{0,5} = \overline{\lg P_a} + \frac{1}{m} \cdot (7 - \overline{\lg N}). \quad (22)$$

Логарифм мінімально можливого значення меж витривалості в амплітудах при односторонній довірчій імовірності  $\alpha$  визначають за формулою

$$(\lg P_a)_{\alpha}^{\min} = (\lg P_a)_{0,5} - Z_{\alpha} (S_{\lg P_a}^* + S_0 + S_s), \quad (23)$$

де  $Z_{\alpha}$  – квантиль нормального розподілу, при рекомендованій імовірності оцінки  $\alpha$ . При прийнятій імовірності  $\alpha = 0,95$ ,  $Z_{\alpha} = 1,645$ ;

$S_{lgPa}^*$  – міра індивідуального розсіювання частинних значень меж обмеженої витривалості, розраховують за формулою

$$S_{lgPa}^* = S_{lgPa} \sqrt{1 - \rho^2}; \quad (24)$$

$S_0$  – основна помилка середнього виборчого значення меж витривалості, визначають за формулою:

$$S_0 = \frac{S_{lgPa}^*}{\sqrt{n}}; \quad (25)$$

$S_S$  – основна помилка міри індивідуального розсіювання меж витривалості, визначають за формулою

$$S_s = \frac{S_{lgPa}^*}{\sqrt{2(n-1)}}. \quad (26)$$

Достовірність визначення меж витривалості додатково визначають за коефіцієнтом кореляції  $\rho$  при рівні значущості 0,05 у залежності від числа степенів свободи ( $n - 2$ ), де  $n$  – кількість випробовуваних деталей.

Результати випробувань вважають цілком достовірними, якщо отримане значення коефіцієнта кореляції більше за критичне значення  $[\rho]$ , яке наведено в табл. 2.

Якщо отримане значення коефіцієнта кореляції менше за критичне ( $\rho < [\rho]$ ), слід додатково випробовувати дві-три деталі.

Таблиця 2

Критичні значення коефіцієнта кореляції в залежності від кількості випробовуваних деталей

Число степенів свободи ( $n-2$ )	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Критичне значення коефіцієнта кореляції, $[\rho]$	0,811	0,754	0,707	0,667	0,632	0,602	0,576	0,553	0,532

Коефіцієнт запасу опору втомі  $n$  визначають за формулою

$$n = \frac{(P_a)_{0,95}^{\min} + \Delta}{P_{CT} \cdot K_{de} \cdot K_B} \geq [n], \quad (27)$$

де  $(P_a)_{0,95}^{\min}$  – межа витривалості за амплітудою при ймовірності неруйнування 0,95, кН (тс);

$P_{CT}$  – розрахункове статичне навантаження бруто на деталь, кН (тс), значення якого приймається за табл. 3;

$K_{de}$  – приведений еквівалентний коефіцієнт вертикальної динаміки для візків, приймається за табл. 4. Для інших типів візків уточнюють за результатами ходових динамічних випробувань;

$K_B$  – коефіцієнт використання вантажопідйомності вагона, приймають рівним 0,9 (стосовно напіввагона);

$[n]$  – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі,  $[n] \geq 1,8$ ;

$\Delta$  – розмір коригувальної добавки до  $(P_a)_{0,95}^{\min}$ , яка враховує різницю між середнім (постійним) навантаженням циклу при випробуваннях  $P_m$  і розрахунковим статичним навантаженням бруто на деталь  $P_{CT}$ , визначають за формулою

$$\Delta = \psi(P_m - P_{CT} \cdot K_B), \quad (28)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт чутливості до асиметрії циклу натурної деталі, прийнятий для бокових рам зі сталі марок 20ГЛ, 20ГФЛ і 20ГФТЛ при термообробці нормалізацією рівним 0,05.

Таблиця 3

Розрахункове вертикальне статичне навантаження бруто на деталь

Деталь	Величина навантаження $P_{ст}$ кН (тс) при проектному осьовому навантаженні кН (тс)			
	230 (23,5)	235 (24,0)	245 (25,0)	265 (27,0)
Рама бокова	216 (22,0)	221 (22,5)	230 (23,5)	248 (25,3)

Таблиця 4

Приведений еквівалентний коефіцієнт вертикальної динаміки для візків моделей 18-100

Деталь	Величина $K_{де}$ при розрахунковій швидкості, км/год				
	120	100	90	80	70
Рама бокова	0,50	0,47	0,45	0,43	0,40

Оцінку результатів повних випробувань проводять шляхом порівняння розрахункових коефіцієнтів запасу з їх допустимими значеннями. Результати повних випробувань вважаються позитивними, якщо отриманий коефіцієнт запасу виявився не меншим за допустиме значення [1].

**Висновки.** Для забезпечення безпеки перевезень на залізничному транспорті при

проектуванні деталей нових конструкцій необхідно виконувати оцінку втомної міцності деталей. Знизити витрати при проектуванні можливо на початковому етапі, використовуючи сучасне програмне забезпечення та виконуючи теоретичний розрахунок коефіцієнта запасу опору втоми, що також дає можливість, при необхідності, вносити зміни в конструкцію з метою збільшення її надійності.

#### Список використаних джерел

1. Донченко, А. В. Аналіз руйнування литих бокових рам рухомого складу [Текст] / А. В. Донченко, С. В. Бондарев, О. М. Багров // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технологія: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції. Сер. Техніка, технологія. – К.: ДЕДУТ, 2013. – 222 с.
2. Фомін, О. В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів [Текст]: монографія / О. В. Фомін. – К.: ДЕДУТ, 2014. – 299 с.
3. Фомін, О. В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів [Текст] / О. В. Фомін // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського: наук. журнал. – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 6(83). – С. 87-91.
4. Aharoni A., Reinhartz-Berger I. A Domain Engineering-based Approach for Situational Method Engineering. Proceedings of the 27th International Conference on Conceptual Modeling (ER'2008), Lecture Notes in Computer Science, 2008. – 5231. – pp. 455-468.
5. Konyukhov, A.D. Properties of welds of sheets, made of 1565ch (1565) alloy, applied to the bodies of freight cars / A.D. Konyukhov, A.M. Drits, A.K. Shurtakov // Tsvetnye Metally. – 2014. – № 3. – P. 71-76.

6. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43.

7. Фомін, О. В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції [Текст] / О. В. Фомін // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76

8. ДСТУ 7570:2014 «Візки вантажних вагонів. Деталі литі. Загальні умови».

9. Инженерный анализ в Ansys Workbench [Текст]: учеб. пособ. / В.А. Буряка, В.Г. Фокин, Е.А. Солодусова, [и др.]. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.

10. Самошкин, С. Л. Исследование несущих элементов тележек модели 18-100 грузовых вагонов [Текст] / С.Л. Самошкин, А.А. Хоменко, А.А. Виноградов // Тяжелое машиностроение. – 2007. – № 9. – С. 23-25.

11. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) и изменения и дополнения [Текст]. – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

12. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model (Удосконалення обв'язування верхнього стін бокових напіввагонів моделі 12-9745) [Текст] / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.

13. Степнов, М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний [Текст]: справочник / М.Н. Степнов. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.

14. Фомін, О. В. Визначення перспективних напрямків проектування несучих систем у вантажному вагонобудуванні [Електронний ресурс] / О.В. Фомін // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків. – № 3/7(57), 2012. – С. 32-35. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte\\_2012\\_3\(7\)\\_\\_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)__9.pdf).

---

Фомін Олександр Вікторович, доктор технічних наук, доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ. Тел. (095)142-90-74. E-mail: [fomin1985@list.ru](mailto:fomin1985@list.ru).

Багров Олександр Миколайович, старший науковий співробітник лабораторії наукових та експериментальних досліджень на втому конструкцій залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», м. Кременчук. Тел. (095)381-35-29. E-mail: [alexbagrov7@yandex.ua](mailto:alexbagrov7@yandex.ua).

Fomin O., doctor of Engineering Sciences, associate professor of department the "Carand Carriages' Economy" of the State University of transport economy and technologies, Kyiv. (095)142-90-74. E-mail: [fomin1985@list.ru](mailto:fomin1985@list.ru).

Bahrov Olexandr Mykolayovych, the senior research associate of scientific and research laboratory for structural fatigue of the railway technics of the State Enterprise "Ukrainian Scientific and Research Institute of Railcar-building", Kremenchug. (095)381-35-29. E-mail: [alexbagrov7@yandex.ua](mailto:alexbagrov7@yandex.ua).

Стаття прийнята 22.06.2016 р.

УДК 621.314

**ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ДВУХСТОРОННЕЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ**

Канд. техн. наук Е. Я. Ивакина

**ДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ З ДВОСТОРОННЬОЮ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ**

Канд. техн. наук К. Я. Івакіна

**DYNAMIC PROPERTIES AUTOMATIC CONTROL SYSTEM WITH TWO-WAY PULSE WIDTH MODULATION**

Phd. tehn. K. Ivakina

*В работе выполнены исследования динамических свойств системы автоматического регулирования импульсного преобразователя постоянного напряжения с двухсторонней широтно-импульсной модуляцией. Показано отличие динамических процессов, протекающих в системе регулирования с двухсторонней широтно-импульсной модуляцией, от аналогичных процессов с односторонней широтно-импульсной модуляцией.*

**Ключевые слова:** импульсный преобразователь постоянного напряжения, замкнутая структура, двухсторонняя широтно-импульсная модуляция, импульсная модель, процесс конечной длительности, фактор пульсаций, условия устойчивости.

*В роботі виконані дослідження динамічних властивостей системи автоматичного регулювання імпульсного перетворювача постійної напруги з двосторонньою широтно-імпульсною модуляцією. Показано відмінність динамічних процесів, що протікають в системі регулювання з двосторонньою широтно-імпульсною модуляцією, від аналогічних процесів з односторонньою широтно-імпульсною модуляцією.*

**Ключові слова:** імпульсний перетворювач постійної напруги, замкнута структура, двостороння широтно-імпульсна модуляція, імпульсна модель, процес кінцевої тривалості, фактор пульсацій, умови стійкості.

*The paper is devoted to theoretical and experimental studies of dynamic processes of a closed structure comprising a transmitter with two-way pulse width modulation with a further comparison with similar processes at the single-sided modulation.*

*The work carried out studies of the dynamic properties of the system of automatic control of pulsed DC voltage converter with two-way PWM. Displaying Unlike dynamic processes taking place in the regulatory system with two-way pulse width modulated by similar processes with single-sided PWM.*

**Keywords:** pulsed DC converter, a closed structure, a two-way pulse width modulation, pulse pattern, the process of finite duration, ripple factor, the stability conditions.

**Вступление.** Создание высокоэффективных систем автоматического регулирования, содержащих полупровод-

никовые преобразователи электрической энергии, связано с динамическими свойствами преобразователя.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Динамические характеристики преобразователя постоянного напряжения с односторонней широтно-импульсной модуляцией в режиме непрерывного и прерывистого токов нагрузки достаточно полно изложены в ряде работ, среди которых следует отметить [1-4].

В работе [1] приведена импульсная модель преобразователя постоянного тока с односторонней модуляцией. Исследованы динамические процессы с учетом дискретности преобразователя и режимов его работы.

В [2, 3, 10] получены импульсные модели преобразователя постоянного тока с односторонней широтно-импульсной модуляцией с учетом модулирующего воздействия на входное напряжение. С применением данных моделей исследованы замкнутые системы автоматического регулирования выходной координаты преобразователя.

В [4] приведены результаты исследований динамических характеристик системы регулирования, содержащей выпрямитель с односторонней широтно-импульсной модуляцией.

Анализ результатов исследований, приведенных в перечисленных работах, указывает на то, что применение односторонней широтно-импульсной модуляции сужает зону устойчивости замкнутой системы.

В [5,6] приведена импульсная модель преобразователя с двухсторонней широтно-импульсной модуляцией. Данный вид модуляции позволяет расширить диапазон регулирования выходного напряжения преобразователя, что особенно важно с повышением её частоты.

**Определение цели и задачи исследований.** Цель работы – теоретические и экспериментальные исследования динамических процессов замкнутой структуры, содержащей преобразователь с двухсторонней широтно-импульсной

модуляцией, с дальнейшим сравнением с аналогичными процессами при односторонней модуляции.

Обобщенная схема системы автоматического регулирования изображена на рис. 1. Силовая схема преобразователя состоит из коммутатора  $V$  и возвратного диода  $VD$ . Управление коммутатором осуществляется системой управления  $СУ$ , в которой осуществляется двухсторонняя широтно-импульсная модуляция. Регулирование выходного напряжения  $U_H$  выполняется регулятором напряжения  $РН$ . Звено  $K_1$  в цепи обратной связи служит для согласования величины  $U_H$  и  $U_3$ .

**Основная часть исследований.** Преобразователь постоянного напряжения с двухсторонней широтно-импульсной модуляцией при малых отклонениях управляющего воздействия  $\Delta U_y(t)$  представляет собой амплитудно-импульсный модулятор второго рода. Модель преобразователя содержит два импульсных элемента [5] с периодом квантования, равным периоду широтно-импульсной модуляции (см. рис. 2). Один из импульсных элементов имеет запаздывания квантования входного импульса широтно-импульсной модуляции. Приведенные непрерывные части содержат информацию о статическом  $K_0$  и динамических  $F_1$  и  $F_2$  коэффициентах передачи.

Особенностью импульсной модели является наличие двух факторов пульсаций, вызываемые наличием двух точек встречи опорного сигнала  $U_{on}(t)$  и сигнала управления  $U_y(t)$  (см. рис. 3).

Первая точка встречи определяет время  $t_1$ , а вторая –  $t_2$ . Факторы пульсаций в точках встречи определяются выражением [6,7]

$$F_i^{-1} = 1 - \frac{dU_y(t_i)}{dU_{on}(t_i)}, \quad (1)$$

где  $\frac{dU_y(t_i)}{dt}$  и  $\frac{dU_{on}(t_i)}{dt}$  - левосторонние значения производной сигналов управления

$U_y(t)$  и опорного  $U_{on}(t)$  относительно точек встречи  $t_1$  и  $t_2$ .

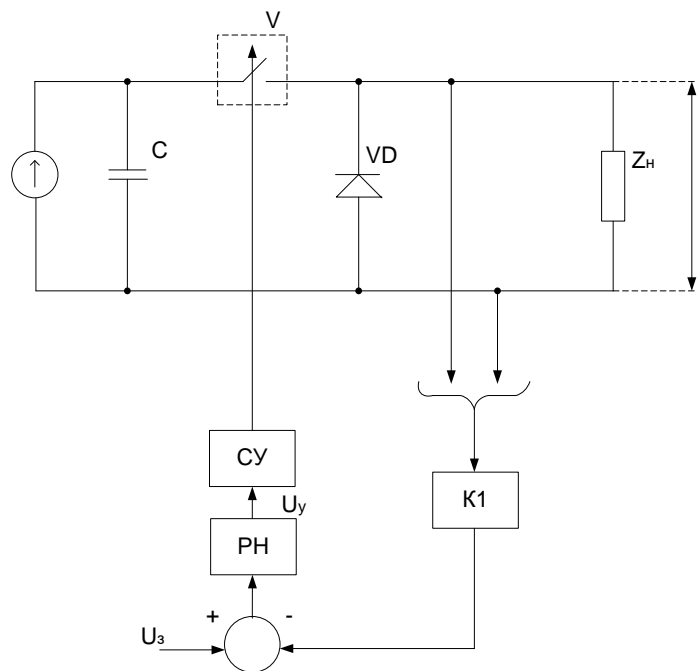


Рис. 1. Обобщенная схема системы автоматического регулирования

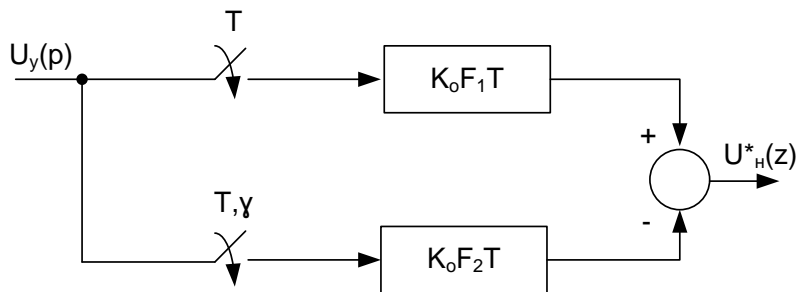


Рис. 2. Импульсная модель

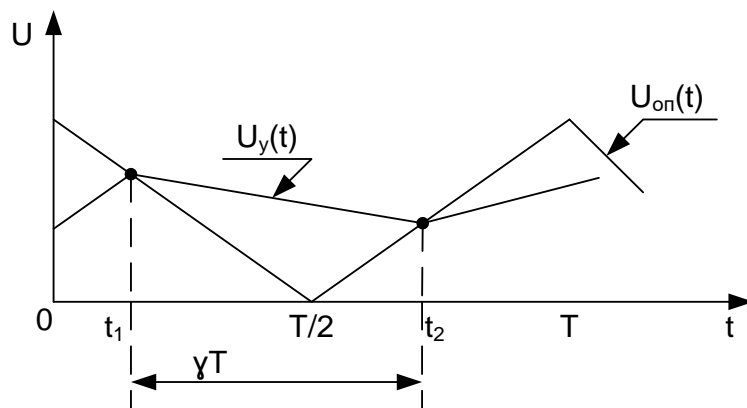


Рис. 3. Эпюры напряжений ШИМ

В силу того, что факторы пульсаций  $F_1$  и  $F_2$  связаны между собой, следует ожидать изменения их влияния на динамические процессы замкнутой системы относительно аналогичных процессов при односторонней широтно-импульсной модуляции. Для исследования данной предпосылки рассмотрим замкнутую систему автоматического регулирования выходного напряжения

выпрямителя с ШИМ с интегрированным регулятором

$$G(\varphi) = \frac{1}{T_i p}, \quad (2)$$

позволяющим реализовать предельное быстродействие.

Структурная схема рассматриваемой системы изображена на рис. 4.

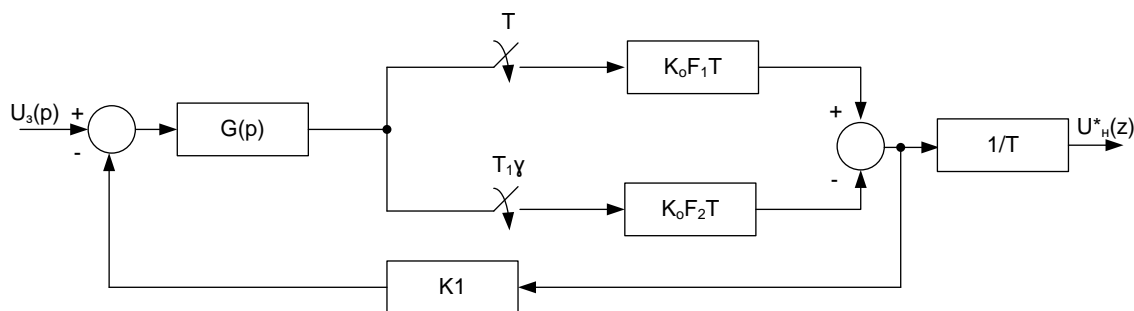


Рис. 4. Система автоматического регулирования напряжения

С учетом [8] связь между входным и выходным сигналом замкнутой системы

$$U_H^*(z, \xi) = \frac{[U_3 G^*(z, \xi) \cdot F_1 - z^{-1} \cdot U_3 G^*(z, 1 + \delta - \gamma) F_2] K_0}{1 + [-G^*(z, \xi) \cdot F_1 + z^{-1} \cdot G^*(z, 1 + \delta - \gamma) F_2] K_0 T K_1}, \quad (3)$$

где  $0 \leq \delta \leq \gamma$ .

Характеристическое уравнение при  $\delta = \gamma$  имеет вид

$$1 - [G^*(z, \gamma) \cdot F_1 - z^{-1} G^*(z, 1) \cdot F_2] K_1 K_0 T = 0. \quad (4)$$

В соответствии с [9]

$$G^*(z, \xi) = z_\xi \left\{ \frac{1}{T_i p} \right\} = \frac{1}{T_1} \cdot \frac{z}{z-1}. \quad (5)$$

С учетом (5) характеристическое уравнение (4), записанное в канонической форме, принимает вид

$$z(1 - \frac{T}{T_1} \cdot F_1 \cdot K_1 K_0) + \frac{T}{T_1} \cdot K_1 K_0 F_2 - 1 = 0. \quad (6)$$



Совместив полюса характеристического уравнения (6) с началом z-плоскости, получим условия процесса конечной длительности

$$\begin{aligned} \frac{T_1}{T} &= F_1 \cdot K_0 \cdot K_1; \\ \frac{T_1}{T} &= F_2 \cdot K_0 \cdot K_1. \end{aligned} \quad (7)$$

Из (7) следует, что строгая реализация условий процесса конечной длительности достигается для величины регулируемого параметра преобразователя  $\gamma$ , при которой  $F_1 = F_2$ .

Согласно с [7], получим выражение для факторов пульсаций

$$F_1^{-1} = 1 + K_1 K_0 \cdot \gamma \frac{T}{2T_1}; \quad (8)$$

Подставив в выражение для выходного сигнала замкнутой системы (2) z- преобразование (5) и (11), а также выполнив преобразования с учетом (7), (8) и (10), получим

$$U_H^*(z) \Big|_{\xi=0} = \frac{1}{K_1(z-1)}, \quad (12)$$

где  $K_1 = \frac{1}{K_0}$ .

Разложение (12) в степенной ряд Лорана описывает переходной процесс в системе

$$U_H(nT) = K_0(z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} + \dots + z^{-n}). \quad (13)$$

$$F_2^{-1} = 1 + K_1 K_0 \cdot \gamma \frac{T}{2T_1} (1 - \gamma). \quad (9)$$

Совместное решение уравнений (8) и (9) дает значение величины регулируемого параметра  $\gamma = 0,5$  преобразователя, соответствующее реализации в системе автоматического регулирования процесса конечной длительности.

Из (6) с учетом  $\gamma = 0,5$  получим выражение значения для постоянной времени регулятора

$$T_1 = \frac{3}{4} K_0 K_1 \cdot T. \quad (10)$$

Для оценки динамических свойств системы регулирования с двухсторонней широтно-импульсной модуляцией рассмотрим ее реакцию на входное ступенчатое воздействие  $U_3(t) = 1(t)$ .

Z-преобразование полинома числителя выражения (2) имеет вид

$$U_3 G^*(z, \xi) = z_\xi \left\{ \frac{1}{T_1 p^2} \right\} = \left[ \frac{z \xi T}{z-1} + \frac{z \cdot T}{(z-1)^2} \right] \cdot \frac{1}{T_1}. \quad (11)$$

Из (13) следует, что переходной процесс заканчивается за один тактовый интервал импульсного элемента, что соответствует порядку передаточной функции приведенной непрерывной части.

Условие устойчивости системы имеет вид

$$\frac{T_1}{T} > \frac{K_0 \cdot K_1 (F_1 + F_2)}{2}. \quad (14)$$

На рис. 5 приведена граница устойчивости, полученная в результате решения трансцендентного уравнения (14) с учетом выражений для факторов пульсаций (8) и (9).

Из рис. 5 следует значительно более слабая зависимость границы устойчивости

системи с двухсторонней широтно-импульсной модуляцией от регулируемого параметра  $\gamma$  по сравнению с односторонней.

На рис. 6 приведена имитационная модель системы автоматического регулирования выходного напряжения импульсного преобразователя постоянного напряжения. Частота широтно-импульсной модуляции принята равной 1000 Гц, при

которой период дискретности  $T = 1 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ . Согласно с формулой (10) при  $K_0 \cdot K_1 = 1$ , постоянная времени регулятора  $T = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ .

На рис. 7 приведена осциллограмма выходного сигнала регулятора напряжения, подтверждающая реализацию в системе регулирования процессы конечной длительности.

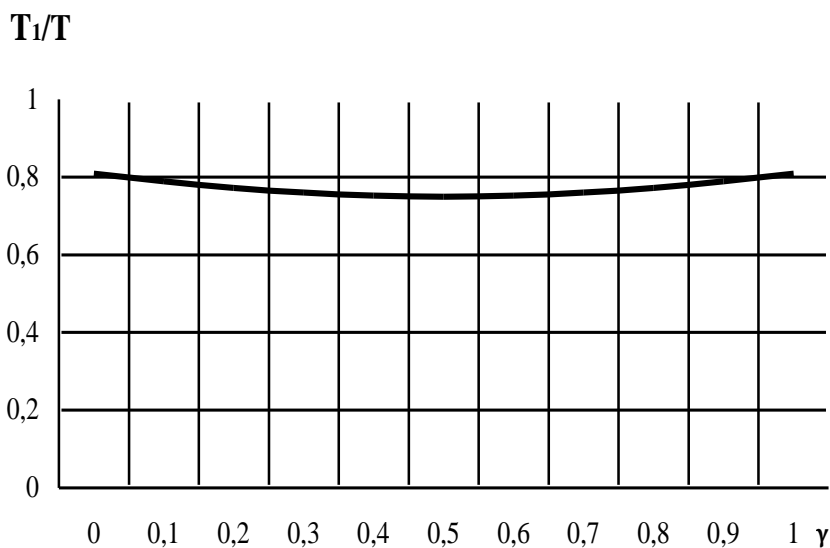


Рис. 5. Граница устойчивости

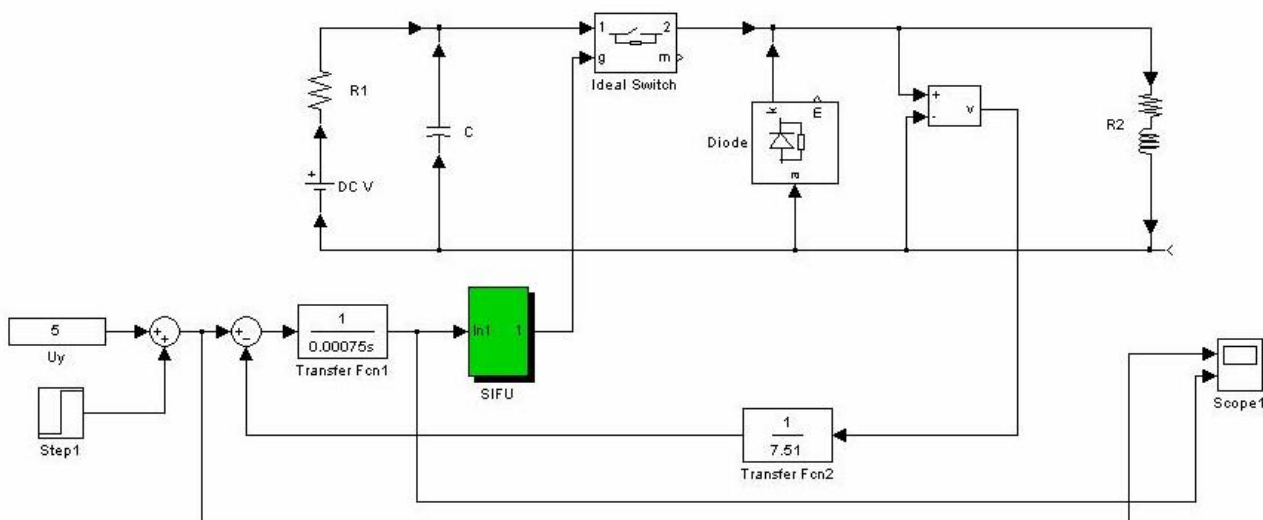


Рис. 6. Имитационная модель САПР выходного напряжения импульсного преобразователя

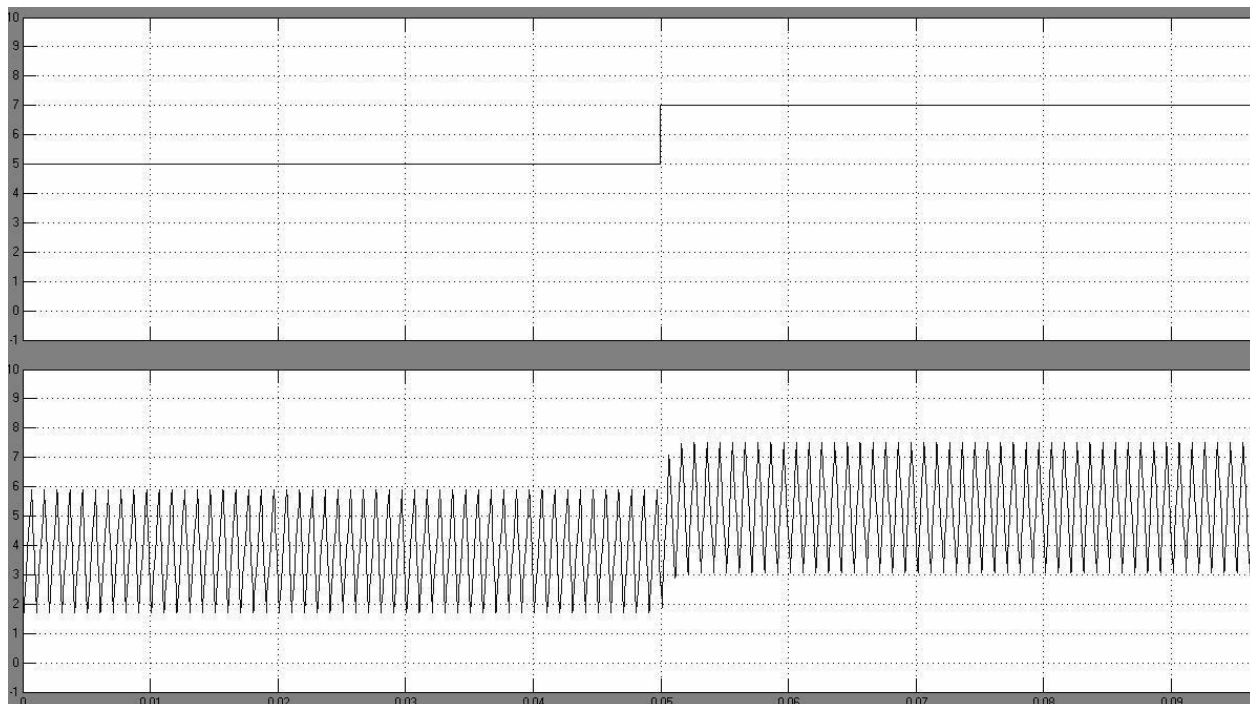


Рис. 7. Осциллограмма выходного сигнала регулятора

**Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении.** Результаты исследований позволяют сделать вывод, что предложенная в [5] импульсная модель

преобразователя постоянного напряжения с двухсторонней широтно-импульсной модуляцией позволяет с достаточной точностью описывать динамические процессы замкнутой системы.

#### *Список использованных источников*

1. Чикотило, И. И. Исследование устойчивости и переходных режимов тиристорных широтно-импульсных преобразователей в быстродействующих замкнутых системах [Текст]: дис... канд. техн. наук 05.09.12 / И.И. Чикотило. – Харьков, 1979. – 239 с.
2. Щербак, Я. В. Теоретические основы и методы регулирования субгармоник полупроводниковых преобразователей электроэнергии [Текст]: дис... д-ра техн. наук 05.09.12 / Я.В. Щербак. – Харьков, 2001. – 408 с.
3. Щербак, Я. В. Широтно-импульсный преобразователь с широтно-импульсной модуляцией второго рода в условиях несимметрии [Текст] / Я. В. Щербак // Технічна електродинаміка. – К., 1999. – №1. – С. 31-35.
4. Ивакина, Е. Я. Анализ динамических процессов системы автоматического регулирования напряжения преобразователя с ШИМ [Текст] / Е. Я.Ивакина // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 142. – С. 151-156.
5. Щербак, Я. В. Импульсная модель выпрямителя с двухсторонней широтно-импульсной модуляцией в режиме непрерывного тока [Текст] / Я.В. Щербак, Е.Я. Ивакина, В.В. Панченко // Вісник нац. техн. університету „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2015. – Вип. 12(1121).

6. Bjaresten N. A. The Statik Converter as a High-Speed Power Amplifier / N. A Bjaresten // Direct Current. - 1963. - Vol.6. - P.154-165.

7. Щербак, Я. В. Фактор пульсаций системы автоматического регулирования с двухсторонней широтно-импульсной модуляцией [Текст] / Я. В. Щербак, Е. Я. Ивакина, В. В. Панченко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 153. – С. 113-120.

8. Бесекецкий, В. А. Теория систем автоматического регулирования [Текст] / В.А. Бесекецкий, Е. П. Попов. – М.: Наука, 1975. – 767 с.

9. Джури, Э. Импульсные системы автоматического регулирования [Текст] / Э. Джури. – М.: Физматгиздат, 1963. – 455 с.

10. Davoudi, A. Computer-Aided Dynamic Characterization of Fourth-Order PWM DC–DC Converters / A. Davoudi, J. Jatskevich, P. L. Chapman // IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs. 2008. - vol. 55, Is.10. - p. 1021-1025.

Рецензент д-р техн. наук, профессор В. Г. Ягуп

---

Ивакина Катерина Яковна, кандидат технических наук, кафедра электричного транспорта Харьковского национального университета городского хозяйства им. О.М. Бекетова. Тел.(097)96-66-372.  
E-mail: ivakina\_katya@mail.ru.

Ivakina Katerina, PhD. Sc., Department electric of transport O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel. (097)96-66-372. E-mail: ivakina\_katya@mail.ru.

Стаття прийнята 22.06.2016 р.

**УДК 656.2.022.846**

**ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ПАСАЖИРОПОТІК ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ МАГІСТРАЛЕЙ**

**Канд. техн. наук О. В. Розсоха, магістранти К. О. Рафальський, В. С. Ткачов**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПАССАЖИРОПОТОК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ**

**Канд. техн. наук А. В. Розсоха, магистранты К. О. Рафальский, В. С. Ткачев**

**DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF SOCIAL AND ECONOMIC FACTORS ON THE DESIGN OF PASSENGER TRAFFIC HIGH-SPEED RAIL**

**Doctor of Science (Ph.D.) O. Rozsokha, Magistrands K. Rafalskyi, V. Tkachov**

*У статті подано математичну модель пасажиропотоку та визначено рівняння множинної лінійної регресії з урахуванням розглянутих соціально-економічних факторів для напрямків, що досліджуються. Розроблена модель дає змогу визначити вплив соціально-економічних факторів на пасажиропотік при проектуванні високошвидкісних залізничних магістралей. За допомогою даної моделі можна визначити довірчі інтервали та область прогнозу, а також отримати прогнозні значення пасажиропотоку.*

**Ключові слова:** пасажирські перевезення, план формування пасажирських поїздів, оптимізація, пасажиропотік.

*В статті представлена математическая модель пасажиропотока и определены уравнения множественной линейной регрессии с учетом рассматриваемых социально-экономических факторов для исследуемых направлений. Разработанная модель позволяет определить влияние социально-экономических факторов на пасажиропоток при проектировании высокоскоростных железнодорожных магистралей. С помощью данной модели можно определить доверительные интервалы и область прогноза, а также получить прогнозные значения пасажиропотока.*

**Ключевые слова:** пассажирские перевозки, план формирования пассажирских поездов, оптимизация, пассажиропоток.

*The goal of this research is to increase the efficiency of operation of passenger transportation by railway transport of Ukraine with the use of high-speed highways. One of the many areas of these activities is to improve existing mathematical models for the determination of the amount of passenger traffic in terms of functioning of these highways.*

*The real analysis of the socio-economic development of regions of Ukraine with the demand in the use of high-speed highways, and the expected value of passenger traffic on their main directions are the main tasks in the field of research on the introduction of these highways in the country.*

*The amount of passenger traffic of all modes of transport in a particular direction it is always possible to calculate, knowing the schedule, capacity, occupancy rate, etc. it is Obvious that the introduction of a new competitive mode of transport in modern conditions of development of market relations it is not enough and need more in-depth analysis of the development of regions that have a certain demand for the use of high-speed highways. Special attention should be paid to the forecast of passenger traffic taking into account the influence on it of the most significant socio-economic factors that characterize a particular polygon.*

*The article stated that the passenger traffic on high-speed highways of a region depends on the size of agglomerations, the gross national product and population hotels. Given these socio-economic factors, this article presents a mathematical model to determine traffic flow. This problem is reduced to the compilation of the multiple regression model by writing the appropriate equation. Also presented is a procedure for solving this model.*

*This mathematical apparatus allows to determine the value of passenger numbers with high confidence intervals. The correct value of passenger traffic on high-speed motorways will be used to define objectively a fleet of passenger trains to make the schedule of their movement, which will lead to optimum use of resources of the Railways.*

**Key words:** passenger transport, plan for the formation of passenger trains, optimization, passenger traffic.

**Вступ.** Високошвидкісні залізничні магістралі (ВШМ) у розвинених країнах світу виробили думку суспільства на їх користь у зв'язку зі значною економічною та соціальною ефективністю, їх невеликим негативним впливом на навколишнє середовище, в порівнянні з іншими видами транспорту, та безпекою руху поїздів.

Сучасні тенденції на ринку транспортних послуг з перевезення пасажирів полягають у зменшенні ролі залізничного та підвищенні значення автомобільного і повітряного транспорту. Тому важливо здійснювати заходи на рівні держави в питаннях підвищення привабливості залізничних перевезень

пасажирів шляхом впровадження та удосконалення ВШМ [1-4].

Досвід експлуатації високошвидкісного залізничного транспорту ряду залізниць країн зарубіжжя свідчить про те, що величина економічно ефективного пасажиропотоку, що припадає на ВШМ, не має бути менше 5-6 млн люд. на рік [5, 6].

Аналіз реального прогнозу соціально-економічного розвитку регіонів, що мають попит у користуванні ВШМ, та очікувана величина пасажиропотоку на їх основних напрямках є основними задачами у сфері досліджень з упровадження цих магістралей в Україні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний внесок у розвиток теорії ефективної організації пасажирських перевезень зробили Н.І. Бещева, Т.В. Бутько, П.С. Грунтов, Ф.П. Кочнев, В.Я. Негрей, М.В. Правдін, М.Я. Стефанов, М.П. Іхненко, Ю.О. Пазойський та ін. [7, 8].

Існуючі методи визначення величини пасажиропотоку та розмірів руху пасажирських поїздів, що розроблені вищеназваними авторами, були в основному спрямовані на поїзди звичайних магістралей залізниць. Оптимізаційним розрахункам щодо визначення величин поїздо- та пасажиропотоків ВШМ значної уваги не приділялось.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою даних досліджень є підвищення ефективності функціонування пасажирських перевезень залізничним транспортом України при застосуванні ВШМ. Одним із багатьох напрямків цих заходів є удосконалення діючих математичних моделей з визначення величини пасажиропотоку в умовах функціонування ВШМ. У зв'язку з цим необхідно розглянути математичну модель визначення пасажиропотоку з урахуванням соціально-економічних факторів регіону для напрямків, що досліджуються.

**Основна частина дослідження.** Величину пасажиропотоку будь-якого виду транспорту на конкретному напрямку

завжди можна розрахувати, знаючи графік руху, місткість, відсоток заповнюваності та ін. Очевидно, що для впровадження нового конкурентоспроможного виду транспорту в сучасних умовах розвитку ринкових відносин цього не достатньо і необхідний більш глибокий аналіз розвитку регіонів, які мають певний попит на користування ВШМ. Особливу увагу слід приділяти прогнозу пасажиропотоку з урахуванням впливу на нього найбільш значимих соціально-економічних факторів, які характеризують певний полігон [9].

Існують дві групи методів прогнозування: інтуїтивні, які побудовані на судженнях та оцінках експертів, та формалізовані, які засновані на математичних моделях [10]. Слід зазначити, що саме формалізовані методи дають змогу змодельовувати процес зміни пасажиропотоку, визначивши математичну залежність між об'єктом, що досліджують, та ознаками, що його характеризують. Відомо, що всі формалізовані методи підрозділяють на моделі предметної області та моделі часових рядів. Моделі предметної області добре відомі в термодинаміці, механіці та медицині. Математичні моделі, що використовуються в цьому методі, засновані на існуючих законах предметної області та відомих диференційних рівняннях.

У свою чергу, моделі часових рядів описують залежність між об'єктами, які досліджують, і на основі отриманої залежності обчислюють прогнозні показники. Оскільки дослідження перспективного пасажиропотоку вимагає вивчення характеру зміни деякої множини факторів, одним з найбільш очевидних методів прогнозування буде регресійний аналіз.

На підставі зібраних статистичних даних існує можливість визначити зв'язок між величиною пасажиропотоку та соціально-економічними факторами на полігоні, де можливе впровадження ВШМ. У цьому випадку задача зводиться до визначення множинної регресійної моделі, яка визначається рівнянням

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_n \cdot X_n + \varepsilon, \quad (1)$$

де  $Y$  – залежна змінна (відгук), яка характеризує об’єкт, що досліджують (пасажиропотік);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  – параметри лінійної регресії;

$X_0, X_1, X_2, \dots, X_n$  – незалежні змінні (фактори, що пояснюють змінення  $Y$ );

$\varepsilon$  – вектор випадкових помилок спостережень.

Для знаходження оцінок параметрів за результатами спостережень використовується метод найменших квадратів.

Оскільки аналіз множинної регресії на основі системи рівнянь – трудомісткий

процес, то для розрахунків використовується апарат матричної алгебри.

Розглянемо методику визначення впливу соціально-економічних факторів на величину пасажиропотоку. Спочатку обираються напрямки руху залізничних ВШМ.

При складанні множинної регресійної моделі для кожного напрямку як фактори впливу приймаються такі показники: дані про чисельність агломерацій ( $X_1$ ), населеність готелів ( $X_2$ ) та величина валового регіонального продукту, який характеризує економічний розвиток і ділову активність регіонів ( $X_3$ ). Графічну ілюстрацію наведено на рисунку.



Рис. Фактори, що впливають на пасажиропотік при проектуванні високошвидкісних магістралей

З метою встановлення залежності між показниками, що наведено вище, та величиною пасажиропотоку визначається їх кореляційна залежність. Для цього можна використовувати середовище MS Excel.

Для визначення ступеня кореляції між парою показників пропонується використувати коефіцієнт кореляції [10, 11]:

$$r_{xy} = \frac{\sum (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (2)$$

де  $X_i, Y_i$  – значення показників, що розглядаються, при певних умовах;

$\bar{X}, \bar{Y}$  – середні значення показників.

Якщо коефіцієнт кореляції буде мати значення більше 0.6, то це буде вказувати на значну кореляційну залежність між показниками, що розглядаються, та величиною пасажиропотоку.

Згідно з рівнянням (1) та набором статистичних даних за напрямками можна спрогнозувати величину пасажиропотоку  $Y$  методом оцінки множинної регресії [11, 12].

Загальний алгоритм регресійного аналізу для окремого напрямку буде мати вигляд:

1) складається матриця факторів, що досліджуються, – матриця  $X$  та матриця даних пасажиропотоку – матриця  $Y$ ;

2) перевіряється визначник матриці  $|X^T \cdot X|$ . Для того щоб рівняння регресії мало розв’язок, визначник матриці не повинен бути рівним нулю, тобто матриця має бути не виродженою;

3) визначаються матричним способом невідомі коефіцієнти рівняння за формулою

$$B = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y, \quad (3)$$

де  $B$  – вектор-стовпчик коефіцієнтів рівняння регресії;

$X^T$  – транспонована матриця  $X$ ;

$X$  – матриця розмірності  $n$  рядків та  $(k+1)$  – стовпчиків відомих факторів впливу  $X_1, X_2$  та  $X_3$ ;

$Y$  – вектор-стовпчик спостережень розмірності  $n$ ;

$n$  – число спостережень дослідження;

$k$  – кількість факторів впливу (в нашому випадку дорівнює 3);

4) записується отримане рівняння регресії;

5) перевіряється значимість рівняння регресії за критерієм дисперсійного аналізу ( $F$  – критерій), а також значимість окремих коефіцієнтів регресії (за критерієм Стьюдента).

Згідно з [9] у класичній лінійній регресійній моделі передбачається, що випадкові складові не корелюють одна за одною. Але існує метод оцінки коефіцієнтів рівняння регресії зваженим методом найменших квадратів.

Розглянемо окремий випадок.

Нехай матриця  $\Omega$  є діагональною з елементами відомих дисперсій  $\sigma_i^2$ .

$$\Omega = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_n^2 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Приймаємо, що випадкові похибки не корелюють між собою та мають різні, але відомі дисперсії. Якщо припустити, що відносна похибка вимірювання  $Y_i$  постійна і дорівнює  $\sigma_0$ , то середньоквадратичне відхилення  $\sigma_i$  буде пропорційно математичному очікуванню  $\tilde{y}_i = My_i/x$  цієї

величини, тобто  $\sigma_i = \sigma_0 \cdot y_i$ .

Далі надається процедура розв’язання даної задачі:

1) класичним методом найменших квадратів знаходиться значення оцінок



рівняння регресії  $\hat{Y}_i$  та визначається відносна похибка апроксимації за формулою:

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{\hat{Y}_i} = \sigma_0; \quad (5)$$

2) передбачаючи, що оцінка середньоквадратичного відхилення  $Y_i$  дорівнює  $s_i = \sigma_0 \cdot \hat{Y}_i$ , матриця (4) буде мати вигляд:

$$\Omega^{\frac{1}{2}} = \sigma_0 \cdot \begin{pmatrix} \hat{Y}_1 & 0 & 0 \\ 0 & \hat{Y}_2 & 0 \\ 0 & 0 & \hat{Y}_n \end{pmatrix}. \quad (6)$$

З урахуванням матриць (4, 6) формула (3) буде мати вигляд:

$$B = (X^T \cdot \Omega^{-1} \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot \Omega^{-1} \cdot Y. \quad (7)$$

Отримана математична модель перевіряється на адекватність і значимість коефіцієнтів рівняння регресії. При цьому визначаємо оцінку коваріаційної матриці  $S$  вектор-стовпчика за формулою:

$$S = s^2 (X^T \cdot \Omega^{-1} \cdot X)^{-1}. \quad (8)$$

Важливо зазначити, що на розподіл величини пасажиропотоку впливає багато факторів: соціальні, економічні та

політичні. Характер впливу цих факторів важко передбачуваний. Очевидно, що статистичні показники пасажиропотоку являють собою складний процес випадкового характеру. Тому необхідно правильно визначити довірчі інтервали прогнозу пасажиропотоку.

Область високої кореляції в автокореляційній функції дає змогу аналізувати інформацію про те, як значення процесу в деякий момент часу впливає на значення процесу у певний момент у майбутньому. Це, у свою чергу, необхідно для визначення границь прогнозу регресії. Для аналізу статистичних показників у нашому випадку межа прогнозу складає п'ять років.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** На величину пасажиропотоку по напрямках ВШМ впливають соціально-економічні фактори. До таких факторів належать: чисельність населення, населеність готелів та валовий регіональний продукт. Існує відповідний математичний апарат для розв'язання задачі визначення рівня пасажиропотоку. Для цього наведено рівняння множинної лінійної регресії з урахуванням вищезазначених факторів. Даний математичний апарат дає змогу визначити величину пасажиропотоку з високими довірчими інтервалами. Правильне значення пасажиропотоку на ВШМ дасть можливість об'єктивно визначити парк пасажирських составів, скласти графік їх руху, що приведе до оптимального використання ресурсів залізниць.

### Список використаних джерел

1. Розсоха, О. В. Моделювання пасажирських поїздпотоків високошвидкісних залізничних магістралей [Текст] / О. В. Розсоха, В. М. Солонець // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 5–13.
2. Розсоха, О. В. Аналіз функціонування систем управління безпекою руху поїздів на залізницях країн Євросоюзу [Текст] / О. В. Розсоха, Ю. В. Смачило // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 151. – С. 4–11.

3. Розсоха, А. В. 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.
4. Jose A. Gomes-Ibanez, Gines de Rus. Competition in the Railway Industry. An International Comparative Analysis [Text] / Jose A. Gomes-Ibanez, Gines de Rus. – Massachusetts. : Edward Elgar Publishing Limited, 2006. – 201 p.
5. Adib Kanafani, Rui Wang, Ashleigh Griffin. The Economics of Speed – Assessing the performance of High Speed Rail in Intermodal Transportation / Adib Kanafani, Rui Wang, Ashleigh Griffin // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 8th International Conference on Traffic and Transportation Studies (ICTTS 2012). – Elsevier Ltd, 2012. – Volume 43. – P. 692-708. – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812010245>.
6. Zhi-Chun Li, William H.K. Lam, S.C. Wong, A. Sumalee. Design of a rail transit line for profit maximization in a linear transportation corridor / Zhi-Chun Li, William H.K. Lam, S.C. Wong, A. Sumalee // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Select Papers from the 19th International Symposium on Transportation and Traffic Theory. – Elsevier Ltd, 2012. – Volume 48. – P. 50-70. – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554511000627>.
7. Пазойский, Ю. О. Организация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте (в примерах и задачах) [Текст] / Ю. О. Пазойский, Л.С. Рябуха, В. Г. Шубко; под ред. В. Г. Шубко. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
8. Грунтов, П. С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок [Текст]: учебн. для вузов / под. ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994. – 544 с.
9. Алпысова, В. А. Моделирование и прогнозирование пассажиропотока высокоскоростной магистрали на примере поездов «Сапсан» направления Санкт-Петербург-Москва [Текст] / В. А. Алпысова, Н. С. Бушуев, Д. О. Миненко // Транспорт Урала. – 2014. – Вып. 2(41). – С. 50–53.
10. Вуколов, Э. А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов Statistica и Excel [Текст] : учеб. пособие / Э. А. Вуколов. – 2-е изд. – М.: Высш. школа, 2014. – 464 с.
11. Дубров, А. М. Многомерные статистические методы [Текст] / А. М. Дуров, В. С. Мхитарян, Л. И. Трошин. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 352 с.
12. Ефимова, М. Р. Практикум по общей теории статистики [Текст]: учеб. пособие / М. Р. Ефимова, О. И. Ганченко, Е. В. Петрова. – 3-е изд. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 368 с.

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

---

Розсоха Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: s4749@ukr.net.  
Рафальський Костянтин Олегович, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: Rafalskyi92@mail.ua.  
Ткачов Владислав Сергійович, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. djzas@mail.ru.

Rozsokha Olexandr, Associate Professor, Doctor of Science (Ph.D.), Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: s4749@ukr.net.  
Rafalskyi Kostiantyn, magistrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. Rafalskyi92@mail.ua.  
Tkachov Vladyslav, magistrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. djzas@mail.ru.

Стаття прийнята 22.06.2016 р.

УДК 656.212.5

**МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ КРАЩОГО ВАРІАНТА КОНСТРУКЦІЇ ПРИБОРУ ДЛЯ СОРТУВАННЯ ВАГОНІВ**

Магістранти С. І. Левандовський, О. М. Яцура, І. О. Мудрий

**МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛУЧШЕГО ВАРИАНТА КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СОРТИРОВКИ ВАГОНОВ**

Магистранты С. И. Левандовский, О. М. Яцура, И. О. Мудрый

**THE METHODOLOGY FOR DETERMINING THE BEST EMBODIMENT OF THE APPARATUS FOR SORTING CARS**

Magistrands S. Levandovskyi, O. Yatsura, I. Mudryi

*У статті розглянуто методологію комплексної оцінки конструкції сортувальних гірок із використанням адитивної функції, яка враховує приведені витрати на спорудження й експлуатацію сортувального пристрою та показники надійності його використання. Зазначений метод дає змогу визначити ефективний варіант переоснащення гальмових позицій діючих сортувальних гірок у межах здійснення комплексу завдань Укрзалізниці щодо забезпечення надійності сортувального процесу.*

**Ключові слова:** сортувальна гірка, надійність, ресурсозбереження, комплексна оцінка.

*В статье рассмотрена методология комплексной оценки конструкции сортировочных горок с использованием аддитивной функции, которая учитывает приведенные затраты на сооружение и эксплуатацию сортировочного устройства, а также показатели надежности его использования. Указанный метод позволяет определять эффективный вариант переоснащения тормозных позиций существующих сортировочных горок в рамках осуществления комплекса заданий Укрзалізниці по обеспечению надежности сортировочного процесса.*

**Ключевые слова:** сортировочная горка, надежность, ресурсосбережение, комплексная оценка.

*In the article the methodology of a comprehensive assessment of the design of hump yards using an additive function that takes into account reduced costs for the construction and operation of the sorting device, and the reliability of its use. This method allows to determine effective retrofitting tormoznykh positions of existing hump yards in the implementation of complex tasks Railways to ensure the reliability of the sorting process.*

*Currently, Ukraine's economy is going through a crisis period: the rate of production decline, the volume of traffic in transport system (particularly rail transport) decreased two and more times. In this regard, the specialists of railway transport arose the problem of maintaining good and stable performance with absolute safety.*

*In this regard, current studies are aimed at conserving resources on sorting slides, while ensuring the reliability of their functioning. A separate impact on the efficiency and quality of functioning of the sorting devices makes them the design.*

*Existing methods of evaluation designs hump necks that exist, do not fully characterize the design solution or existing neckline.*

*The goal of this research is to increase the efficiency of the functioning of the sorting devices by improving the designs of hump yards. To select the most effective design requires a method of complex evaluation of the structures of hump yards given the reduced costs for the construction of the sorting device and the reliability of its use.*

*The method eliminates the main drawback of existing methods is the choice of the neck mainly at the level of processing capacity hump. Also, this method allows: to comprehensively determine the effective construction of hump taking into account the cost and reliability of the sorting device; to determine an effective option of retrofitting the brake position of existing hump yards within the implementation of the set objectives of the Railways to ensure the reliability of the sorting process.*

*It is established that by results of a comprehensive assessment of hump yards in the most efficient variant of the mechanization of the gravity hump in the use of new designs of neck hump is the equipment of the braking positions of the inhibitors of the new generation.*

*For new designs hump necks the value of the indicator of complex assessment is not less than 0,86, and the model is not higher than 0,81, which indicates the correctness of the proposed directions for improvement of the design parameters limit the development of screening devices.*

**Key words:** hump, reliability, resource saving, comprehensive assessment.

**Вступ.** У теперішній час економіка України переживає кризовий період: темпи виробництва продукції знижуються, обсяги перевезень у транспортній системі (зокрема на залізничному транспорті) зменшились у два та більше рази. У зв'язку з цим перед фахівцями залізничного транспорту виникло завдання збереження нормального і стабільного функціонування галузі при безумовному забезпеченні безпеки руху [1-4].

Збільшення обсягів виробництва та перевезень у нашій країні в найближчі роки є досить складним питанням. У таких умовах роботи виникає одне з найважливіших завдань: забезпечити збереження ресурсів, що належать до перевізного процесу, зокрема на залізничному транспорті. Але ресурсозбереження повинно бути забезпечено не тільки завдяки випуску найбільш економічної продукції, а також і найбільш надійної у використанні, оскільки ненадійна продукція може призвести до виникнення транспортних подій, особливо при виконанні процесу формування складів поїздів на сортувальних пристроях.

У зв'язку із зазначеним актуальними є дослідження, що спрямовані на вирішення проблеми збереження ресурсів на сортувальних гірках (СГ) при забезпеченні надійності їх функціонування. Окремий

вплив на ефективність і якість функціонування сортувальних пристроїв робить їх конструкція. Традиційні гіркові горловини, що використовуються на залізницях України, не є досконалыми з позиції енерго- та ресурсозбереження. Тому у [5] авторами було запропоновано нові конструкції гіркових горловин, спускна частина яких обладнана малопотужними уповільнювачами на трьох та більше гальмових позиціях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемі удосконалення конструкції та розрахункам параметрів гіркових горловин приділена значна увага у ряді праць таких відомих учених, як Абуладзе Л.В., Бессоненко С.А., Болотний В.Я., Вульфсон Б.Н., Данько М.І., Дашков М.Г., Івашкевич В.К., Карпов А.М., Луговцов М.Н., Негрей В.Я., Образцов В.М., Павлов В.Є, Савченко І.Є., Страковський І.І., Уздін М.М., Єфіменко Ю.І. та ін.

Наявні методи оцінки конструкцій гіркових горловин [6-8] не повною мірою характеризують проектне рішення або існуючу горловину.

Наукові підходи, що розроблені вищезазначеними авторами здебільшого були спрямовані на підвищення переробної спроможності СГ, що обумовлювалось інтенсивним зростанням розмірів

сортувальної роботи. Спроби вчених визначити властивості надійності гіркової горловини не набули широкого розповсюдження, оскільки дослідження не були спрямовані на існуючі стандарти. Комплексно конструкції гіркових горловин з позиції забезпечення ресурсозбереження та надійності функціонування СГ не розглядалися.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою цих досліджень є підвищення ефективності функціонування сортувальних пристроїв шляхом удосконалення конструкцій сортувальних гірок. Для вибору найбільш ефективної її конструкції необхідно мати методику комплексної оцінки конструкцій сортувальних гірок з урахуванням приведених витрат на спорудження сортувального пристрою та показників надійності його використання.

**Основна частина дослідження.** Надійність – це властивість виробу (системи) зберігати у встановлених межах часу значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання, транспортування та інших дій.

У залежності від виду виробу, його призначення та умов експлуатації надійність може оцінюватися тільки частиною складових його властивостей.

Відчепи скочуються від вершини гірки до розрахункової точки під дією сили тяжіння зі швидкістю, яка ніколи не перевищує максимально допустиму по стрілочних переводах та коліях спускної частини. Технічний стан колій, стрілочних переводів, рухомого складу в основному залежить від своєчасного виконання планово-попереджувальних ремонтів. Швидкість входу відчепів на вагонні уповільнювачі не повинна перевищувати допустиму, що враховується при моделюванні їх скочування. З конструктивної точки зору значно впливає

на процес розформування составів робота вагонних уповільнювачів, оскільки їх несправність призводить до помилок у реалізації заданих режимів розпуску, що може спричинити схід і пошкодження рухомого складу та вантажу.

При визначенні показників надійності гіркової горловини за основу взято тип та число вагонних уповільнювачів по маршруту скочування відчепів, структуру їх розташування на спускній частині СГ [8].

Ураховуючи зазначене, розглянемо термін «надійність гіркової горловини». Надійність гіркової горловини – це властивість конструкції колійного розвитку спускної частини СГ зберігати у встановлених межах часу значення всіх параметрів, що залежать від здатності засобів для гальмування вагонів при певному розташуванні та кількості виконувати необхідні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів та інших дій.

Надійність гіркової горловини визначають за такими властивостями: безвідмовність, ремонтпридатність та довговічність. Одним з основних термінів, що характеризують надійність, є відмова. Відмова – подія, після якої об'єкт або його частина перестає виконувати (цілком або частково) свої функції [9, 10]. Безвідмовність характеризується ймовірністю відмов вагонних уповільнювачів  $Q(t)$ ; ремонтпридатність – ймовірністю їх відновлення  $P_B$ ; довговічність – середнім терміном їх служби  $T_{сл}$ .

Гіркову горловину розглянуто як технічну систему. Зазначена технічна система характеризується множиною параметрів, серед яких виділено деякі, а саме  $\{П\}$ : гіркова горловина =  $\{П_1$  – вартість;  $П_2$  – відмови,  $П_3$  – відновлення,  $П_4$  – термін служби вагонних уповільнювачів}. Кожен із цих параметрів може бути вимірюваним, тобто на кожному із параметрів можна задати додатну адитивну функцію [11, 12].

У цьому випадку: на множині вартісних параметрів такою функцією вибрано величину приведених витрат  $E_{\text{ПР}}$ ; на множині відмов вагонних уповільнювачів – імовірність їх відмов  $Q(t)$ ; на множині їх відновлення – імовірність відновлення  $P_B$ ; на множині терміну служби вагонних уповільнювачів –

середній термін служби  $T_{\text{СЛ}}$ , при цьому слід записати:  $E_{\text{ПР}}=E_{\text{ПР}}(\Pi_1)$ ,  $Q(t)=Q(\Pi_2)$ ,  $P_B=P_B(\Pi_3)$ ,  $T_{\text{СЛ}}=T_{\text{СЛ}}(\Pi_4)$ .

Для оцінки гіркової горловини в цілому запропоновано показник комплексної оцінки  $G$ , який є адитивною функцією по кожному із її аргументів

$$\begin{aligned} G &= f(E_{\text{ПР}}, Q(t), P_B, T_{\text{СЛ}}) = \\ &= f\left(E_{\text{ПР}}(\Pi_1), Q(\Pi_2), P_B(\Pi_3), T_{\text{СЛ}}(\Pi_4)\right) = \\ &= f\left(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4\right) \end{aligned} \quad (1)$$

Отже, функція  $G$  є числовою функцією, заданою на прямому добутку множин: параметрів  $\Pi_1 \times \Pi_2 \times \Pi_3 \times \Pi_4$ , додатною та адитивною по кожному із параметрів.

Позначено:  $Z_1$  – значення функції  $E_{\text{ПР}}(\Pi_1)$ ,  $Z_2$  – значення функції  $Q(\Pi_2)$ ,  $Z_3$  – значення функції  $P_B(\Pi_3)$ ,  $Z_4$  – значення функції  $T_{\text{СЛ}}(\Pi_4)$ . Для зручності роботи з введеною вище функцією  $G$  нормовано кожен показник. Для кожного з чотирьох показників  $Z_i$  ( $i=1, 4$ ) визначено точні верхню (*supremum*) та нижню (*infimum*) межі показників. Далі позначено: через  $Z_i^*$  – точна верхня межа  $i$ -го показника, при цьому записано  $Z_i^* = \sup Z_i$ , а через  $Z_i^0$  – точна нижня межа  $i$ -го показника з відповідним позначенням  $Z_i^0 = \inf Z_i$  ( $i=1, 4$ ).

Потім для кожного з показників визначено позитивний напрямок. Для показників  $Z_1, Z_2$  позитивний напрямок

визначено від більшого до меншого, а для показників  $Z_3, Z_4$  – від меншого до більшого. Позитивний напрямок визначається з метою, щоб кращій горловині відповідало більше значення  $G$ .

На підставі визначеного позитивного напрямку для кожного з показників  $Z_i$  визначено монотонно зростаючу функцію.

Тепер комплексна адитивна функція гіркової горловини має вигляд:

$$G = \sum_{i=1}^4 a_i \cdot Z_i', \quad (2)$$

де  $a_i$  – ваговий коефіцієнт, що враховує значущість (вагу) відповідного показника при визначенні  $G$ . Вагові коефіцієнти  $a_i > 0$ , а їх сума складає 1;

$Z_i'$  – монотонно зростаюча додатна адитивна функція, що набуває значення від 0 до 1.

В цій роботі  $Z_i'$  визначено за формулою

$$\begin{aligned} Z_1' &= \frac{\sup E_{\text{ПР}} - E_{\text{ПР}}}{\sup E_{\text{ПР}} - \inf E_{\text{ПР}}}; Z_2' = \frac{\sup Q(t) - Q(t)}{\sup Q(t) - \inf Q(t)}; \\ Z_3' &= \frac{P_B}{\sup P_B - \inf P_B}; Z_4' = \frac{T_{\text{СЛ}}}{\sup T_{\text{СЛ}} - \inf T_{\text{СЛ}}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Ураховуючи зазначене, показник комплексної оцінки конструкції гіркової

горловини буде мати вигляд:

$$G = a_1 \cdot Z'_1 + a_2 \cdot Z'_2 + a_3 \cdot Z'_3 + a_4 \cdot Z'_4 \quad (4)$$

Вагові коефіцієнти  $a_i$  знайдено за допомогою методу експертних оцінок.

Таким чином, після знаходження вагових коефіцієнтів формула для розрахунку  $G$  буде у вигляді:

$$G = 0,320 \cdot Z'_1 + 0,275 \cdot Z'_2 + 0,195 \cdot Z'_3 + 0,210 \cdot Z'_4 \quad (5)$$

Отже, показник комплексної оцінки  $G$  є адитивною функцією по кожному із її параметрів  $P_i$ .

Використовуючи розроблений метод оцінки конструкцій гіркових горловин, проведено порівняння запропонованих їх конструкцій з типовою. Результати

зазначено в таблицю, з якої видно, що показник комплексної оцінки  $G$  для нових конструкцій гіркових горловин перевищує його значення при порівнянні з типовою конструкцією. Таким чином, є доцільність застосовувати нові конструкції гіркових горловин при певних вихідних даних.

Таблиця

Оцінка гіркових горловин за показником комплексної оцінки

Гіркова горловина	Тип вагонних уповільнювачів				
	РНЗ-2	РНЗ-2М	ЗВУ-07	НК-114 (УВУ-07)	КВ-3 (ВНУ-2)
1	0,86	0,93	0,97	-	-
2	0,90	0,89	0,93	-	-
3	0,89	0,87	0,92	-	-
4 (типова)	-	-	-	0,79	0,81

*Примітка.* У дужках указаний тип вагонних уповільнювачів на парковій гальмовій позиції.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Розглянута методика ліквідує основний недолік існуючих методів – вибір горловини в основному за рівнем переробної спроможності СГ. Також цей метод дає змогу:

1) комплексно визначати ефективну конструкцію сортувальної гірки з урахуванням приведених витрат та

надійності функціонування сортувальних пристроїв;

2) визначити ефективний варіант переоснащення гальмових позицій діючих сортувальних гірок у межах здійснення комплексу завдань Укрзалізниці щодо забезпечення надійності сортувального процесу.

Установлено, що за результатами комплексної оцінки сортувальних гірок найбільш ефективним варіантом

механізації СГ при застосуванні нових конструкцій гіркових горловин є обладнання гальмових позицій уповільнювачами нового покоління, зокрема ЗВУ-07.

Для нових конструкцій гіркових горловин значення показника комплексної

оцінки становить не менше 0,86, а для типової – не більше 0,81, що свідчить про правильність запропонованого напрямку удосконалення конструктивних параметрів колійного розвитку сортувальних пристроїв.

### Список використаних джерел

1. Розсоха, О. В. Аналіз функціонування систем управління безпекою руху поїздів на залізницях країн Євросоюзу [Текст] / О. В. Розсоха, Ю. В. Смачило // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 151. – С. 4–11.
2. 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.
3. Zhi-Chun Li, William H.K. Lam, S.C. Wong, A. Sumalee. Design of a rail transit line for profit maximization in a linear transportation corridor. [Text] / Zhi-Chun Li, William H.K. Lam, S.C. Wong, A. Sumalee // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Select Papers from the 19th International Symposium on Transportation and Traffic Theory. – Elsevier Ltd, 2012. – Volume 48. – P. 50-70. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554511000627>.
4. Zoran Ž. Avramović. Method for evaluating the strength of retarding steps on a marshalling yard hump. [Text] / Zoran Ž. Avramović // European Journal of Operational Research. – Elsevier Ltd, 1995. – Volume 85, Issue 3. – P. 504-514. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221792001299>.
5. Огар, О. М. Напрямки удосконалення конструкцій гіркових горловин сортувальних пристроїв з позиції ресурсозбереження [Текст] / О. М. Огар, О. В. Розсоха // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 5/2(29). – С. 54–58.
6. Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування [Текст] : ГБН В.2.3-37472062-1:2012 : затв. Міністерством інфраструктури України 17.01.2013 : замість ВСН 207-89/МПС СССР : чинні від 01.03.2013. – К. [б. в.], 2012. – 112 с.
7. Огар, О. М. Аналіз існуючих методів оцінки конструкцій гіркових горловин [Текст] / О. М. Огар, В. І. Мойсеєнко, О. В. Розсоха // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 102. – С. 24–31.
8. Данько, М. І. Розробка методу комплексної оцінки конструкцій гіркових горловин [Текст] / М. І. Данько, О. М. Огар, О. В. Розсоха // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 6/3(42). – С. 30–33.
9. Федюкин, В. К. Методы оценки и управления качеством промышленной продукции [Текст] / В. К. Федюкин, В. Д. Дурнев, В. Г. Лебедев. – М. : Информационно-издательский дом «Филинь», Рилант, 2000. – 328 с.
10. Половко, А. М. Основы теории надежности. Практикум [Текст] / А. М. Половко, С. В. Гуров. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.
11. Попов, Г. В. Выбор решений и безопасность [Текст] : учеб. пособие / Г. В. Попов. – Иваново : Иван. гос. энерг. ун-т, 2003. – 92 с.



12. Смирнов, Э.А. Разработка управленческих решений [Текст] / Э.А. Смирнов. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 180 с.

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

---

Левандовський Сергій Ігорович, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: s4749@yandex.ru.

Яцура Олег Михайлович, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: s4749@yandex.ru.

Мудрий Ігнат Олегович, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: s4749@yandex.ru.

Levandovskyi Serhii, magstrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. s4749@yandex.ru.

Yatsura Oleh, magstrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. s4749@yandex.ru.

Mudryi Ihnat, magstrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. s4749@yandex.ru.

Стаття прийнята 22.06.2016 р.

УДК 528:656.2

## ПОБУДОВА УМОВНОЇ РЕПЕРНОЇ МЕРЕЖІ ЗАЛІЗНИЦЬ ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ ТА ПРИЛАДІВ

Канд. геогр. наук П. І. Лоцман, канд. техн. наук Є. Ф. Орел, старш. викл. Е. А. Беліков, магістр С. Б. Подибайло

## ПОСТРОЕНИЕ УСЛОВНОЙ РЕПЕРНОЙ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ И ПРИБОРОВ

Канд. геогр. наук П. И. Лоцман, канд. техн. наук Е. Ф. Орел, старш. преп. Э. А. Беликов, магистр С. Б. Подыбайло

## CONSTRUCTING OF CONDITIONAL BENCHMARK RAIL NETWORK THROUGH MODERN SOFTWARE COMPLEXES AND DEVICES

PhD, associated professor P. I. Lotsman, PhD, associated professor E. F. Orel, senior lecturer E. A. Byelikov, master S. B. Podybajlo

*У статті запропоновано методику розрахунку елементів кривих, яка дасть змогу створити базу даних у відділеннях залізниці для забезпечення вирішення завдань паспортизації, експлуатації та управління об'єктами залізничного транспорту.*

*Ключові слова:* репер, геодезична мережа, висота, нев'язка, залізнична крива, колія, елементи кривої, інтегральна крива, координати.

*В статье предложена методика расчета элементов кривых, которая позволит создать базу данных в отделениях дороги для обеспечения решения задач паспортизации, эксплуатации и управления объектами железнодорожного транспорта.*

*Ключевые слова:* репер, геодезическая сеть, высота, невязка, железнодорожная кривая, путь, элементы кривой, интегральная кривая, координаты.

*The paper proposes a method of calculating the elements of curves, which will create a database in the offices of the road, to provide solutions for the cottages, certification, operation and management of a railway trans-goad transport.*

*The article discusses two methods to replace the integral curve suitable step polyline. In the first method the step polyline consists of segments by turns is parallel to the X-axes and Y-axes. Further, integrating the curve, we get broken line A, B, C, D. When the stepped line integrating, we get to the desired integral curve several points, with the tangents at them. Now, it is easy inscribing a curve in this polygon of tangents and the task will be decided.*

*The second method is differs from the first alternate position of the polyline. Here are interval taken to segments have the same area. Taking into account the conditions of functioning railway track, it is obvious that the absolute stillness benchmark may not count, so the methods offers conditional benchmark network which takes into account the displacement of benchmark.*

**Keywords:** benchmark, geodetic network, height, discrepancy, railway curve, track, curve elements, integral curve, coordinates.

**Вступ.** Об'єкти залізничного транспорту являють собою складну взаємопов'язану систему. Особливість цієї системи, її відмінність від інших систем полягає у величезності і безвідмовності роботи всіх підрозділів. Для забезпечення цього всі елементи системи, і в першу чергу залізнична колія, потребують постійного контролю геометричних параметрів, який може виконуватися за допомогою постійно закріплених на місцевості пунктів реперної геодезичної мережі, максимально наближених до залізничної колії. Такі мережі створені в усіх розвинених країнах. Відсутність постійної геодезичної мережі в Україні призводить до неможливості підтримки колії в проектному стані, до невиправданих витрат на всезростаючі обсяги ремонтних робіт [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для оптимального функціонування необхідно створити діючу високоточну геодезичну опорну мережу у смузі відведення, яка могла б забезпечувати всі потреби УЗ. Цю мережу мають використовувати дистанції колії, колійні машинні станції, інженерно-геодезичні бази, колієобстежувальні станції, служби та підрозділи, а так само проектні та будівельні організації при вишукуваннях, проектуванні, експлуатації, ремонтних роботах, реконструкції об'єктів, новому будівництві.

**Визначення мети та задачі дослідження.** При створенні єдиної реперної системи необхідно забезпечити нормативну точність положення реперів, довгострокову збереженість і стабільність пунктів. Реперні пункти мають визначатися середньоквадратичними похибками в плані від 5 до 50 мм, по висоті від 3 до 5 мм [6]. Для детальних розрахунків плану лінії з метою підвищення швидкостей необхідні: високоточна координатна зйомка існуючого плану, рихтування плану за наслідками цих розрахунків і перевірка виконаного рихтування відповідно до «Методики аналізу точності знімання, розрахунків та виправлення залізничних кривих машинами різних типів ЦП-0164». Реалізація такої зйомки і забезпечення надалі утримання плану колії на належному рівні можливі тільки при створенні єдиної реперної системи Укрзалізниці. В подальшому автори розглядають декілька варіантів для побудови реперної мережі на кривих ділянках колії.

**Основна частина дослідження.** Інтегрована функція  $y = f(x)$  зображується в декартовій координатній системі ступінчастою ламаною, складеною з прямолінійних відрізків, які паралельні до осей координат, причому одиниця масштабу для  $x$ ,  $y$  і ординати  $\eta$  інтегральної кривої необхідно взяти однаковими (рис. 1).

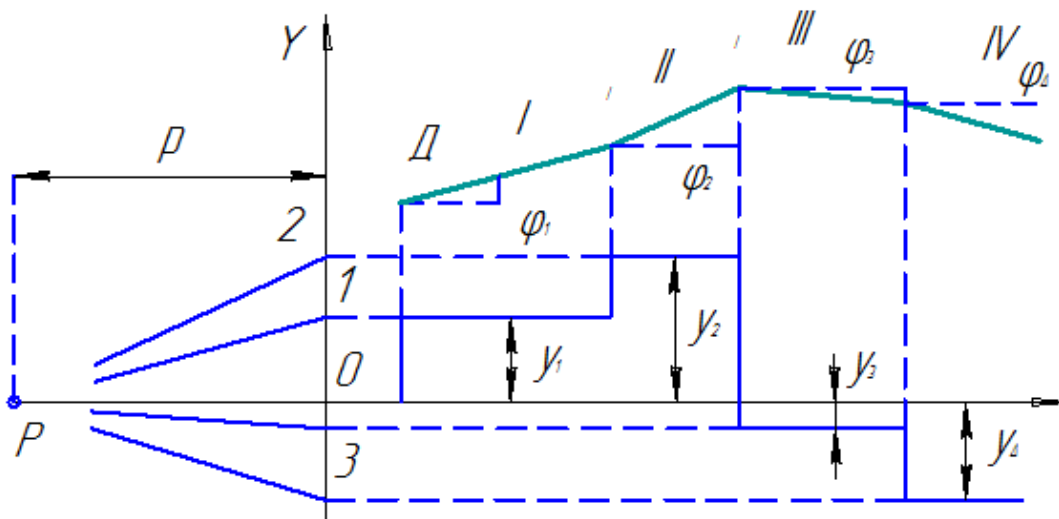


Рис. 1. Інтегрована функція  $y = f(x)$  у декартовій координатній системі, зображена ступінчастою ламаною, складеною з прямолінійних відрізків, паралельних до осей координат

Розглянемо перший горизонтальний відрізок  $f(x)$  між  $x_1$  і  $x_2$ . Нехай його відстань від осі  $x$  буде  $y_1$ . Оскільки похідна  $\frac{dF(x)}{dx}$  інтегральної функції має дорівнювати інтегрованій функції  $f(x)$ , то  $f(x)$  зображується між  $x_1$  і  $x_2$  відрізком прямої, причому кут  $\varphi_1$ , нахил цієї прямої до осі  $x$  необхідно взяти таким, щоб:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{dF(x)}{dx} = y_1.$$

Як показує практика вирішення цих завдань, простіше розрахувати та закріпити на колію початок, середину та кінець кривої [5].

Напрямок першого відрізка (I) інтегральної кривої таким чином визначено, початкова ж його точка  $A$  має значення  $F(x)$ , відповідне абсцисі  $x_1$  довільно, і має бути так чи інакше задано в самій задачі [8].

Інтеграція другого горизонтального відрізка  $f(x)$  між  $x_2$  і  $x_3$  дає знов

прямолінійний відрізок (II) інтегральної кривої, кут нахилу якого  $\varphi_2$  визначається з рівняння:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{dF(x)}{dx} = y_2.$$

Цей відрізок є вже цілком визначеним, оскільки він має примикати до відрізка (I). Так само інтегрування триває і далі. Побудова має силу і для негативних значень підінтегральної функції. У цьому випадку кут  $\varphi$  буде негативним і відповідний відрізок буде направлений вниз.

Для визначення кутів нахилу  $\varphi_i$  відрізків інтегральної кривої зазвичай користуються таким способом: на осі абсцис, ліворуч від початку координат, вибирається «полюс» (початок кривої).

Відстань  $\overline{PO} = p$  мм візьмемо тут рівною довжині одиниці масштабу, якою ми користувалися для  $x$  і  $y$ . Продовживши горизонтальні відрізки, що входять у графік  $f(x)$  до перетину з віссю  $y$ , ми отримаємо

на ній ряд точок, позначених 1, 2, ..., причому  $\overline{O1} = y_1$ ,  $\overline{O2} = y_2$  тощо. Якщо тепер з'єднати полюс  $P$ , що означає початок кривої, з цими точками 1, 2... на осі  $y$ , то кути нахилу променів  $\overline{P1}, \overline{P2}, \dots, \overline{Pi}$  будуть якраз  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_i$ . Відрізки інтегральної кривої мають бути паралельними цим променям.

У багатьох випадках буває вигідно взяти полюсну відстань  $OP$ . На практиці на цій відстані створюється перехідна крива, відмінна від одиниці масштабу на осі  $x$  [3]. Крім того, масштаби на осі  $y$  і осі  $x$  можуть бути також різні. Ми побачимо зараз, що в цьому випадку ми отримаємо цілком певний масштаб, в якому мають бути виміряні ординати  $\eta = F(x)$  інтегральної кривої.

Якщо довжина одиниці масштабу по осі  $x$   $l_x$  мм, а по осі  $y$   $l_y$  мм, то графік нашої функції  $y = f(x)$  зображує нам числа  $x$  і  $y$  відрізками  $x \cdot l_x$  мм і  $y \cdot l_y$  мм.

Якщо взяти полюсну відстань  $\rho$  мм і зберігати в силі всі побудови, ми отримаємо для кутів між променями, проведеними з полюса, і віссю  $x$  рівняння:

$$\operatorname{tg} \varphi_i = y_i \frac{l_y}{\rho}$$

З іншого боку, якщо ординати  $\eta = F(x)$  інтегральної кривої взяти в масштабі  $l_\eta$ , то тангенс кута між дотичною до цієї кривої і віссю  $x$  дорівнює:

$$\frac{l_\eta}{l_x} \cdot \frac{dF(x)}{dx}$$

Щоб наша побудова давала дійсно інтегральну криву, ми повинні мати:

$$\operatorname{tg} \varphi = y \cdot \frac{l_y}{\rho} = \frac{l_\eta}{l_x} \cdot \frac{dF(x)}{dx}$$

Незалежно від вибору одиниць масштабу має виконуватися рівняння:

$$\frac{dF(x)}{dx} = y$$

Звідси випливає співвідношення між трьома масштабами і полярною відстанню:

$$l_\eta = \frac{l_x \cdot l_y}{\rho}$$

Загальний випадок інтеграції будь-якої кривої ми зведемо до вже вирішеного питання про інтеграцію ступінчастої кривої, замінюючи інтегральну криву підходящою ступінчастою ламаною. Це можна виконати двома способами. Отже, ми отримаємо два методи інтегрування, які будемо просто називати першим і другим.

*Перший метод.* Функція  $f(x)$ , яка має бути проінтегрована на інтервалі від  $x_1$  до  $x_2$ , зображується кривою  $T_1 \cdot Q \cdot R \cdot T_8$  (рис. 2). Цю криву ми замінюємо ступінчастою кривою  $T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \dots T_8$ , складеною з відрізків поперемінно паралельних осям  $x$  і  $y$ , і побудованою певним чином. Спочатку проводяться відрізки, паралельні осі  $x$ , а саме:  $T_1 \cdot T_2, T_3 \cdot T_4, T_5 \cdot T_6, T_7 \cdot T_8$ . Перший і останній з цих відрізків визначаються тим, що вони мають проходити через початкову та кінцеву точку кривої на інтервалі інтеграції. Вибір інших відрізків залежить від виду кривої: там, де крива йде більш строго, ці відрізки беруться частіше; якщо, наприклад,  $f(x)$  має максимум або мінімум, то в ступінчасту лінію включають дотичну в цій точці (яка буде паралельна осі  $x$ ).

Паралельні осі  $y$ , відрізки  $T_3, T_4, T_5, T_6$  проводяться так, щоб однаково заштриховані сегменти, що лежать по обидва боки кожного такого відрізка, паралельного осі  $y$ , мали рівну площу. До якої міри точності це можна зробити,

залежить від мистецтва обчислювача. Будемо вважати цю умову точно виконаною і про інтегруємо ступінчасту криву за методом ступінчастої кривої. Ми отримаємо ламану  $A, B, C, D$ , причому положення початкової точки несуттєве.

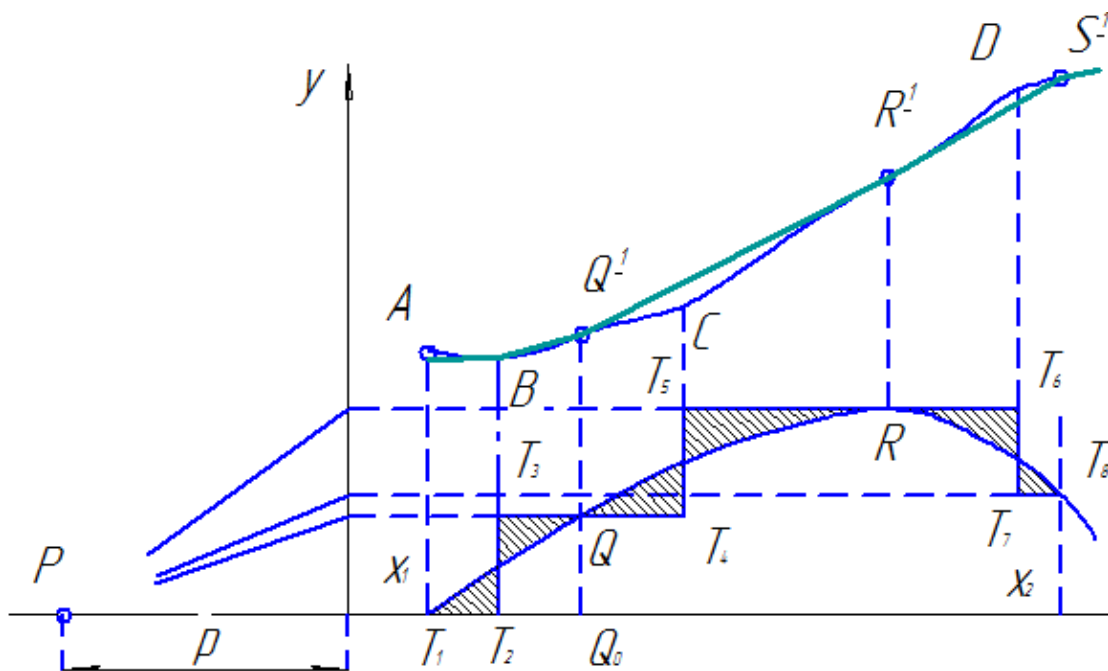


Рис. 2. Функція  $f(x)$ , проінтегрована на інтервалі від  $x_1$  до  $x_2$  і зображена кривою  $T_1 \cdot Q \cdot R \cdot T_8$

Тепер ми знаємо такі властивості інтегральної кривої  $\eta = F(x)$ , яка має скластися після інтегрування [4]:

1. Вона проходить через точку  $A$ .

2. Вона проходить через точку  $Q'$ , яка лежить на відрізку інтегральної (по відношенню до ступінчастої кривої) ламаної, проти точки  $Q$ , у якій горизонтальний відрізок  $T_3, T_4$ , ступінчастої кривої перетинає криву  $f(x)$ .

Дійсно, якщо відраховувати координати обох інтегральних кривих для ступінчастої кривої і для  $f(x)$  від осі абсцис, що проходить через точку  $A$  паралельно осі  $x$ , то їх довжина дає значення площі під відповідною інтегральною кривою, ліворуч

від розглянутої ординати. Але з рівності заштрихованих сегментів випливає, що зліва від  $QQ'$  площа під ступінчастою кривою дорівнює площі під кривою  $f(x)$ . Таким чином, відкладені на  $QQ'$  ординати обох інтегральних кривих мають однакову величину і точка  $Q'$  є спільною для обох інтегральних кривих.

Так само ми побачимо, що обидві інтегральні криві мають проходити через точку  $R'$  і точку  $S'$ . Взагалі обидві інтегральні криві матимуть спільні точки для тих абсцис, які відповідають точкам перетину кривої  $f(x)$  з паралельними осі  $x$  відрізками ступінчастими лініями.

3. Сторони інтегральної ламаної  $A, B, C, D$  є дотичними до шуканої інтегральної кривої:

$$\eta = F(x) = \int_{x_i}^x f(x) dx.$$

Це ми отримаємо з того, що точка  $Q'$  є точкою кривої  $\eta = F(x)$ . Дотична до кривої  $\eta = F(x)$  у точці  $Q'$  утворює з віссю  $x$  кут  $\varphi$ , для якого, у разі рівних одиниць масштабів:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{dF(x)}{d(x)} = f(x) = Q_0 Q$$

Але якраз цей кут з віссю  $x$  утворює сторона  $BC$  ламаної, оскільки  $BC$  є інтегральною кривою для  $T_3, T_4$ .

Абсолютно так само ми переконаємося в тому, що  $AB$  дотикається  $F(x)$  у точці  $A$ ,  $CD$  – у точці  $R'$  і  $DS$  – у точці  $S$ .

Таким чином, інтегруючи ступінчасту лінію, ми отримаємо для шуканої інтегральної кривої ряд точок з дотичними в них. Тепер вже легко вписати криву в цей багатокутник дотичних – і завдання буде вирішено.

Для знаходження точності цього методу, замість яких-небудь аналітичних оцінок, порадимо читачеві просто виконати інтегрування за цим методом для якої-небудь елементарної функції, і він буде вражений точністю. Можна досягти не меншої точності, ніж за допомогою інтеграла. Можна перевірити планіметром площу інтегральної кривої (для даного інтервалу) і отриману величину порівняти з кінцевою ординатою інтегральної кривої, яка має, у відповідному масштабі, зображувати цю площу.

Для збільшення точності рекомендується, замість того щоб робити маленькі сходинки, взяти кілька різних

ламаних і при останньому проведенні кривої використовувати всі отримані точки та дотичні.

*Другий метод.* Другий метод відрізняється від першого іншим розташуванням ламаної (рис. 3). Тут відрізки  $T_1, T_2, T_3, T_4, \dots$  паралельні осі  $x$ , взяті так, щоб однаково заштриховані сегменти, що лежать над і під цими відрізками, мали рівну площу. Ступінчаста крива інтегрується ламаною  $ABC\dots E$ , і можна бачити, що шукана інтегральна крива

$$\eta = F(x) = \int_{x_i}^x f(x) dx$$

проходить через кутові точки  $A, B, \dots E$  цієї ламаної. Дотичні в цих точках можуть бути отримані спеціальною допоміжною побудовою. Щоб знайти, наприклад, дотичну в точці  $B$ , проведемо через точку перетину  $f(x)$  з відрізком  $T_2, T_3$  паралель осі  $x$ . Вона перетне вісь  $y$  в точці  $\sigma$ , і промінь  $P_\sigma$  визначить напрямок дотичної в точці  $B$ .

Враховуючи умови функціонування залізничної колії, очевидно, що на абсолютну нерухомість реперів сподіватися не доводиться, тому викладена методика запропонує умовну реперну мережу, де враховується зміщення реперів.

Обидва методи інтегрування можна охарактеризувати тим, що перший (для шуканої інтегральної кривої) – ламана з дотичних, а другий – ламана з хорд. Тому, взагалі, перший спосіб є більш точним. Другий спосіб, однак, доцільно застосовувати, коли потрібен не цілком хід інтегрованої кривої  $F(x)$ , але тільки значення  $F(x_i)$  для окремих заданих (наприклад, рівновіддалених) значень.

У цьому випадку ми прокладаємо вертикальні сходинки через ці точки  $x_i$  і

отримуємо точки інтегральної кривої для цих же абсцис.

Інтегрування, у разі замкнутої кривої, може бути завжди зведено (розкладено на

суму інтегралів) до інтегрування однозначної функції.

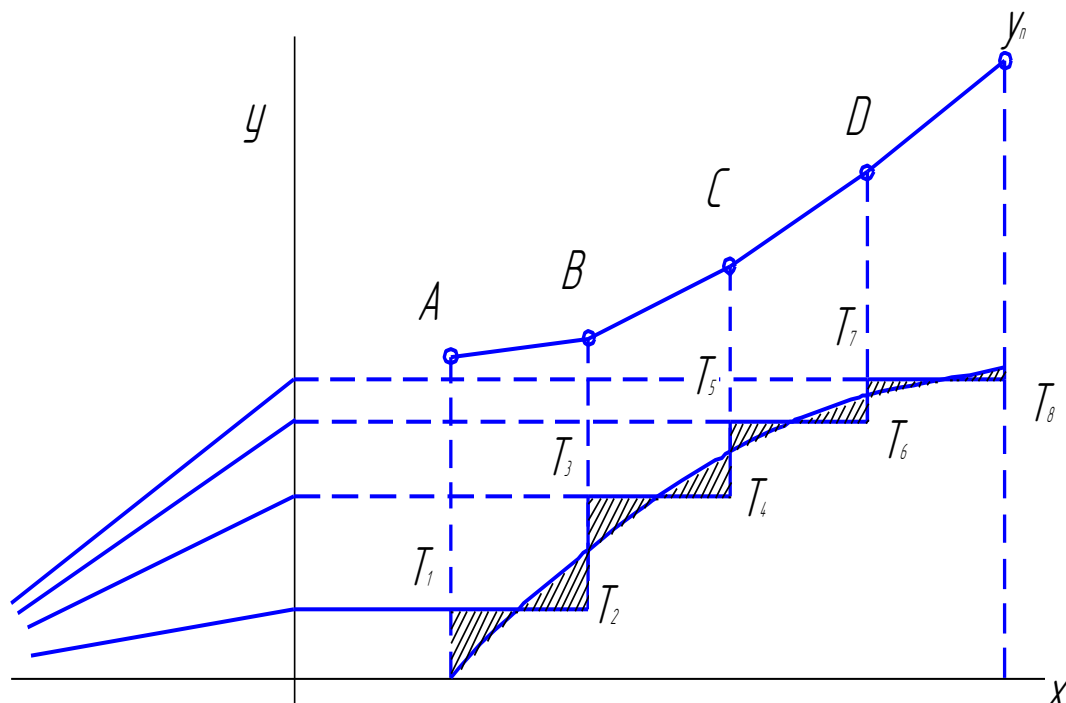


Рис. 3. Розташування кривої складається з відрізків  $T_1, T_2, T_3, T_4, \dots$ , паралельних осі  $x$

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Визначення взаємних просторових положень, створених у смузі відведення реперів залізниці, на підставі теорії інтеграції кривої надасть можливість більш чітко визначити головні точки кривої і усі її елементи, які є важливими при реконструкції.

Запропонована методика розрахунку елементів кривих дає змогу скласти базу даних у відділеннях дороги, яка

забезпечить вирішення завдання паспортизації, експлуатації та управління об'єктами залізничного транспорту.

При використанні даної методики простіше розраховуються параметри перехідних кривих.

Інтервал інтеграції при заміні кривої на ламану ступінчасту ділянками дасть можливість визначити пункти реперної мережі та вибрати найбільш зручну відстань між реперами залежно від радіуса кривої.

### Список використаних джерел

1. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України [Текст]: ЦП-0113. – [Чинний з 2004-10-08]. – К., 2004. – 32 с.
2. Про підготовку інфраструктури до впровадження прискореного руху поїздів на напрямках Київ-Полтава-Красноград-Лозова-Донецьк, Київ-Коростень-Здолбунів-Львів [Текст]: наказ № 159-Ц від 22.04.2011 р.

3. Бердута, В. Радиус для скоростного движения [Текст] / В. Бердута // Магістраль. – К., 2011. – №36 (1619). – С. 6.
4. Туровский, И. Я. Каким способом замерять кривые? [Текст] / И. Я. Туровский // Путь и путевое хозяйство. – 1965. – №8. – С. 26-28.
5. Проценко, А. И. Ошибки измерения кривизны на железнодорожных кривых по способу Гоникберга и влияние этих ошибок на точность определения параметров кривых [Текст] / А. И. Проценко, В. А. Фишер // Труды НИИЖТа. – 1976. – Вып. 184. – С. 40-50.
6. Корженевич, І. П. Нові можливості проектування перебудови плану та виправлення кривих при використанні програми RWPlan 1.2 [Текст] / І. П. Корженевич // Залізничний транспорт України. – 2007. – №5. – С. 79-82.
7. Кулаев, Ю. Ф. Методы экономической оценки инвестиционных проектов на транспорте [Текст]: учеб.-метод. пособие / Ю. Ф. Кулаев. – К.: Транспорт Украины, 2001. – 182 с.
8. Астахов, В. Н. Методы геодезических расчетов кривизны структурных трасс железных дорог [Текст] / В. Н. Астахов, А. С. Саяпин, П. И. Лоцман // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. –Харків: УкрДУЗТ, 2014. – Вип. 148. – Ч. 2. – С.157-160.
9. Pantyushin, A.V. Optoelectronic system for monitoring displacements, based on LED fiducial marks / A.V. Pantyushin, M.G. Serikova, A.N. Timofeev // Journal of Optical Technology, 2009. – Vol. 76 Issue 8. – pp. 507-510.
10. Meyer, C. The Florence High-Speed Railway Hub: 4D monitoring – innovations in data acquisition and data management for tunneling projects in sensitive urban areas / C. Meyer, P. Cucino, G. Eccher, D. Ulrich // World Tunnel Congress 2013 Geneva Underground – the way to the future! – 2013. – pp. 1403-1410.

Рецензент д-р техн. наук, професор Г. Л. Ватуля

---

Лоцман Павел Игоревич, кандидат географічних наук, доцент секції кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (+38057)-730-10-67.

Беліков Едуард Анатолійович, старший викладач секції кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (+38057)-730-10-67.

Орел Євген Федорович, кандидат технічних наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (+38057) -730-10-67 (10-67).

Подібайло Сергій Борисович, начальник дільниці Київської дистанції колії регіональної філії Південно-Західної залізниці ПАТ Укрзалізниця. Тел.067-450-75-16, 050-736-86-95.

Lotsman Paul, Associate candidate of geographical sciences section of the department «Road and trakacilities» Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (+38057) -730-10-67.

Byelikov Eduard Anatolyevich, senior lecturer section of the Department «Road and trakacilities» Ukrainian State University of Railway Transport. (+38057)-730-10-67.

Orel Yevhen Fedorovich, PhD, Associated Professor, Associated Professor of Track and Track Facilities Department. Tel. 057 -730-1067 (10-67).

Podybajlo Sergiy Borysovych, master of branch, Kiev Railway Distance, Production department, Regional branch of South-West railway PJS “Ukrzaliznytsa” Tel. 067-45075-16, 050-736-86-95.

Стаття прийнята 24.06.2016 р.



УДК 656.052.432

## ВИЗНАЧЕННЯ НАЙКРАЩОЇ МОДЕЛІ ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЕЙ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

Канд. техн. наук Т. Ю. Калашнікова, магістр Ю. М. Чередніченко

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИЛУЧШЕЙ МОДЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УКРАИНЫ

Канд. техн. наук Т. Ю. Калашникова, магистр Ю. Н. Чередниченко

## DETERMINE THE BEST MODEL OF USING HIGH-SPEED LINES FOR RAILWAYS OF UKRAINE

Cand. of techn. sciences T. Y. Kalashnikova, Y. N. Cherednichenko

*У статті досліджено три існуючі моделі експлуатації високошвидкісних магістралей у світі. Визначено, що найбільш сприятливим та відповідним для умов залізниць України є застосування третьої моделі використання ВШМ, а саме змішаної моделі. Саме вона відповідає сучасним умовам розвитку мереж на залізницях країни і саме вона є найбільш економічно вигідною в плані побудови, обслуговування і використання, тому що дає змогу використовувати високошвидкісну магістраль як для пропускання швидкісних поїздів, так і для пропускання нічних пасажирських та приміських поїздів, а також здатна ефективно використовувати пропускну спроможність ділянки для всіх цих категорій поїздів.*

**Ключові слова:** залізниця, поїзд, високошвидкісний рух, високошвидкісна магістраль (ВШМ).

*В статье исследованы три существующие модели эксплуатации высокоскоростных магистралей в мире. Определено, что наиболее подходящим и соответствующим для условий железных дорог Украины является использование третьей модели ВСМ, а именно смешанной модели. Именно она соответствует современным условиям развития сети на железных дорогах страны и именно она является наиболее экономически выгодной в плане постройки, обслуживания и использования, потому что позволяет использовать высокоскоростную магистраль как для пропуска скоростных поездов, так и для пропуска ночных пассажирских и пригородных поездов, а также способна эффективно использовать пропускную способность для всех этих категорий поездов.*

**Ключевые слова:** железная дорога, поезд, высокоскоростное движение, высокоскоростная магистраль (ВСМ).

*The article examines the three existing models ekspluatatsii high-speed lines in the world. It was determined that the most suitable and appropriate conditions for the railways of Ukraine is to use a third model, the use of high-speed rail, namely the mixed model. It is consistent with modern conditions of development of the network on the country's railways and that it is the most cost-effective in terms of construction, maintenance and use, because it allows the use of a high-speed backbone for passing high-speed trains and to pass the night passenger and commuter trains and is able to effectively use bandwidth for all these categories of trains.*

**Key words:** railroad, train, high-speed traffic, high-speed railway.

**Вступ.** Останні 30 років у розвинених країнах Європи та Азії стрімко розвиваються системи високошвидкісного руху (ВШР) на залізниці. Залізничний транспорт успішно конкурує як з автомобільним, так і з авіаційним транспортом. На користь залізничного транспорту говорять надійність, доступність, а також високий рівень організації сервісу та послуг для пасажирів. Останнім часом спроби побудови високошвидкісного руху приймаються і в Україні. Але саме високошвидкісного руху в нашій країні поки що немає. Те, що ми маємо зараз, є прискореним рухом, який виконується по змішаних залізничних магістралях, по яких також здійснюється вантажний рух та рух пасажирських поїздів зі швидкістю до 160 км/год. Високошвидкісним рух вважається тоді, коли поїзд рухається зі швидкістю 200 км/год і вище.

Звісно, для того щоб забезпечити рух поїзда з такими швидкостями, необхідна повна модернізація залізничної інфраструктури, включаючи колії, засоби СЦБ, оновлення рухомого складу, повне вилучення вантажного руху по лініях, які будуть використовуватися для високошвидкісного руху. Для того щоб обрати оптимальну модель високошвидкісного руху, треба проаналізувати існуючі моделі країн Європи та Азії і, використовуючи їх досвід, спробувати застосувати одну із моделей для залізниць України. При цьому треба враховувати існуючу залізничну мережу, а також географічну і економічну специфіку нашої країни.

**Актуальність.** Останнім часом залізниця в Україні в сегменті перевезень пасажирів конкурує з автоперевізниками. Для того щоб успішно конкурувати, залізниці треба пропонувати пасажирам щось нове і привабливе для того, щоб пасажири обирали саме залізничні перевезення, тобто підвищувати рівень якості обслуговування [1, 2]. Крім того,

одним з таких нововведень може стати підвищення швидкості пересування за стійким графіком руху поїздів при збереженні вже існуючих нічних пасажирських поїздів, оскільки на нічні перевезення у звичайних пасажирських поїздах попит буде завжди.

**Основна частина.** Перш ніж розглянути три основні моделі високошвидкісного руху, які є у світі, ознайомимося з тим, які є градації щодо швидкостей на ВШМ взагалі. Вони поділяються на три групи залежно від типу магістралей та встановлених на них швидкостей руху.

1 група – 200-250 км/год: швидкісні, звичайні магістральні залізниці, які піддавались реконструкції;

2 група – 250-300 км/год: високошвидкісні, спеціально побудовані високошвидкісні лінії;

3 група – понад 300 км/год: надзвичайно або дуже високошвидкісні, спеціально побудовані, дуже високошвидкісні лінії.

Відомі три моделі високошвидкісного руху [3]:

Перша модель – японська або іспанська (рис. 1). У ній передбачається побудова високошвидкісних магістралей, які повністю ізольовані від загальної мережі залізниць. В Японії з історичних причин та географічних умов залізнична мережа має ширину колії 1067 мм. Проте високошвидкісні магістралі цієї країни будуються з шириною колії 1435 мм. В Іспанії високошвидкісний рух виконується по ізольованих лініях з Європейською колією шириною 1435 мм при тому, що загальна мережа залізниць має ширину 1688 мм (так звана Іберійська колія). В цих країнах на ВШМ побудовані окремі станції, але в деяких випадках колії ВШМ були підведені до вже існуючих вокзальних комплексів. В Іспанії для руху по ВШМ використовуються поїзди типу Talgo, які мають пристрої колісних пар, що можуть рухатися як по колії шириною 1435 мм, так

ї по колії 1688 мм, без зміни колісних пар. В Японії швидкість руху поїздами

«Синкансен» по ВШМ складає до 320 км/год.

### Модель 1: Окрема лінія

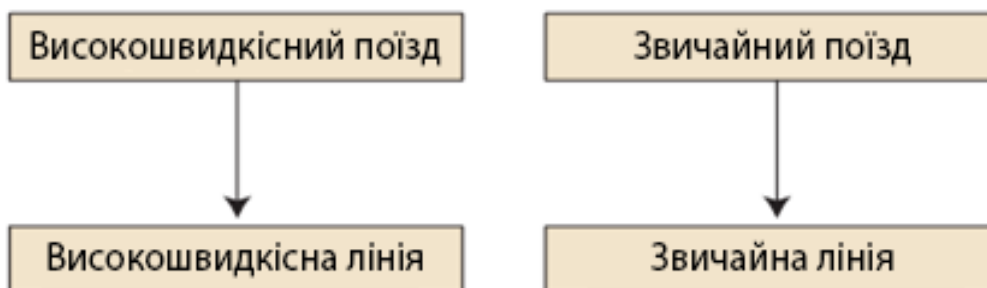


Рис. 1. Перша модель організації високошвидкісного руху

Друга модель – французька модель (рис. 2). В цій країні для високошвидкісного руху побудовані спеціальні магістралі, але високошвидкісні поїзди можуть виїжджати і на звичайні лінії, що збільшує зону їх обслуговування. Однак при цьому, поїзди загальної мережі залізниць не можуть виходити на лінії ВШМ. У великих містах поїзди ВШМ обслуговуються на існуючих вокзалах, які перед початком експлуатації були реконструйовані та розширені [4]. Рух

високошвидкісних поїздів по ВШМ виконується тільки у денний час з 8-00 до 21-00. Швидкість руху на ВШМ складає понад 300 км/год. Високошвидкісний рух здійснюється поїздами TGV, які будує компанія Alstom. Така модель знижує витрати на будівництво, оскільки не вимагає побудови нових станцій і в деяких випадках можна використовувати вже існуючу мережу. Це головна перевага цієї моделі.

### Модель 2: Змішана зі швидкісною

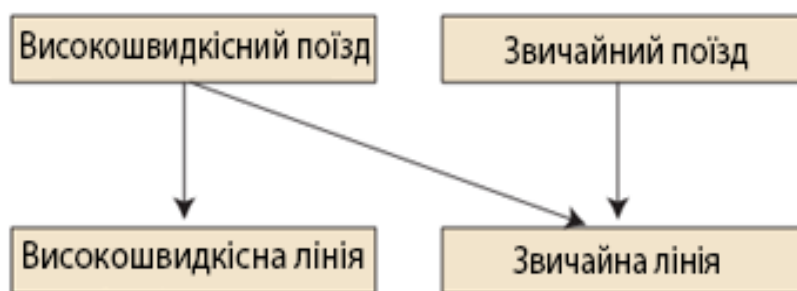


Рис. 2. Друга модель організації високошвидкісного руху

Третя модель – так звана змішана модель (рис. 3). Використовується в Італії та Німеччині [5]. Суть її полягає у тому, що

по залізничних лініях виконується рух як високошвидкісних поїздів, так і звичайних пасажирських і прискорених вантажних

поїздів. При організації високошвидкісного руху модернізувалися існуючі лінії, а також будувалися нові лінії ВШМ біля вже існуючих ліній. Після цього вдалося отримати залізничні магістралі з 3, 4, а іноді і з 5 коліями. По деяких з них на значній відстані можна виконувати високошвидкісний рух зі швидкістю від 200 км/год. Такі лінії, дуже гнучкі в експлуатації, дозволяють їх використання в обох напрямках. Але високошвидкісний рух виконується за максимальною швидкістю 250 км/год, що менше ніж, наприклад, у Франції і Японії, де ВШМ винесені на окремі лінії. Рух виконується поїздами ICE (InterCityExpress), які будув

компанія Siemens. Ця модель значно знижує витрати на будівництво, але збільшує витрати на обслуговування при зниженні пропускної спроможності ліній.

В таблиці можна побачити, який відсоток ліній передбачає лише пасажирський рух, а який відсоток – на всі інші лінії. Вона наочно демонструє повністю змішану модель ВШМ.

Можна побачити, що відсоток повністю окремих ліній під пасажирський рух дуже малий. У своїй більшості на залізницях Німеччини наявні змішані лінії для використання як високошвидкісних поїздів, так і звичайних вантажних поїздів.

Модель 3: Повністю змішана

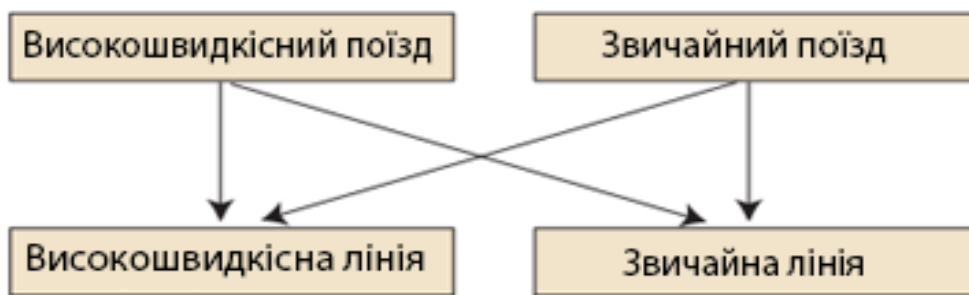


Рис. 3. Третя модель організації високошвидкісного руху

Таблиця

Відсотки ліній на залізницях Німеччини

Типи ліній	% Мережі
Пасажирські	3
Вантажні	23
Змішані	74

Також можна зазначити організацію швидкісного руху у Росії на лінії Москва – Санкт-Петербург [6]. Використовується ця лінія за типом німецької моделі. Було проведено реконструкцію та модернізацію цієї лінії під швидкісний рух. Рух здійснюється побудованими для Росії компанією “Siemens” поїздами «Сапсан». Вантажний рух на даній лінії здійснюється лише вночі. Також на лінії здійснюється рух звичайних пасажирських поїздів, але і вони рухаються переважно вночі. Вдень лінія практично повністю віддана під швидкісний рух.

Спробуємо визначити, яка саме модель буде прийнятною для залізниць України.

Аналізом трьох типів моделей використання ВШМ виявлено, що у них є як свої переваги, так і свої недоліки. Кожну модель було розроблено, враховуючи економічні та географічні умови. Яка ж саме модель може бути використана для залізниць України? З точки зору економічної обґрунтованості та великої кількості населених пунктів, що можуть заважати будівництву нових окремо виділених магістралей, для нашої країни більш прийнятною є змішана модель-3 за типом німецької та італійської. За цим типом використовується швидкісна лінія Москва – Санкт-Петербург у Росії. Насамперед, треба враховувати, що у нас

дуже великий вантажний рух. І вантажні поїзди, що обертаються по наших залізницях, більш довгі та важкі, ніж у країнах Європи. Для них можна виділити окрему колію з двобічним автоблокуванням, що зможе підвищити пропускну спроможність. Таким чином, треба будувати окремі колії під швидкісний рух біля вже існуючих колій. Як ми вже зазначали, це набагато дешевше, ніж будувати нову лінію. Також не треба будувати нові роздільні пункти. Можна провести модернізацію існуючих, що також дешевше за побудову нових. Необхідним також є проведення заміни стрілочних переводів на марки 1/18 і 1/22, що дасть змогу поїздам переходити на бокову колію зі швидкістю не менш ніж 80 км/год.

Ще однією важливою перевагою такої моделі є те, що ми зможемо використовувати ВШМ також для пропускання звичайних пасажирських, прискорених та швидких поїздів. Високошвидкісний рух можна здійснювати вдень, а вночі використовувати лінію для нічних поїздів.

**Висновок.** Таким чином, з урахуванням наведеного аналізу використання високошвидкісного руху у світі, визначено доцільність застосування третьої моделі використання ВШМ, а саме змішаної моделі.

### *Список використаних джерел*

1. Калашнікова, Т. Ю. Залучення додаткових обсягів пасажирів приміського сполучення на підставі гнучкої тарифікації [Текст] / Т. Ю. Калашнікова, М. М. Сейдаметов / Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 150. – С. 24-30.
2. Калашнікова, Т. Ю. Аналіз досвіду якості обслуговування пасажирів в умовах високошвидкісного руху [Текст] / Т. Ю. Калашнікова, М. В. Биков // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 24-28.
3. Прохорченко, А. В. Организация движения и диспетчерское управление движением поездов на ВСМ [Текст] / А. В. Прохорченко, О. Батурін, Ф. Пінтон / Модуль 6. – Харьков – Москва – Париж, 2014. – 165 с.
4. Givoni, M. Development and impact of the Modern High-Speed Train: A Review/ M. Givoni // Transport Review, 2006. – Vol.26, No.5. – P.593-611.

5. Берндт, Т. Унификация железнодорожного комплекса в Европе [Текст] / Т. Берндт, С. В. Власенко // Железные дороги мира. – 2004. – № 3. – С. 16-20.

6. Степов, В. В. Основные направления деятельности Октябрьской железной дороги в области организации скоростного и высокоскоростного движения [Текст] / В. В. Степов, В. И. Зиннер // «Транспорт Российской Федерации». – 2009. – № 6 (25). – С. 34-38.

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

---

Калашнікова Тетяна Юріївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (066)441-50-42. E-mail: bulavina\_ty@ukr.net.

Чередніченко Юрій Миколайович, магістр ІППК. Тел.(066) 427-30-12. E-mail:yuriy29081980@ukr.net.

Kalashnikova Tetyana Yurievna, PhD. Of tehn. Sciences, Associate Professor of Management of operational work of the Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.(066)441-50-42 e-mail: bulavina\_ty@ukr.net. Cherednichenko Yuriy Mykolayovich, Listener IPPK. Tel. (066) 427-30-12. E-mail:yuriy29081980@ukr.net.

Стаття прийнята 24.06.2016 р.

УДК 656.21:681.3

### **УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ПРИКОРДОННОЇ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ**

Канд. техн. наук Г. С. Бауліна, магістри П. О. Дідух, А. М. Карпаш, І. І. Федорняк

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРЕГРУЗОЧНОГО КОМПЛЕКСА ПОГРАНИЧНОЙ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ СТАНЦИИ**

Канд. техн. наук А. С. Баулина, магистры П. А. Дидух, А. М. Карпаш, И. И. Федорняк

### **IMPROVING THE FUNCTIONING OF TECHNOLOGY TRANSSHIPMENT COMPLEX BORDER TRANSFER STATION**

Phd. tehn. G. Baulina, masters P. Diduh, A. Karpash, I. Fedornyak

*Розглянуто особливості технології роботи перевантажувального комплексу прикордонної перевантажувальної станції та встановлено, що подавання вагонів на комплекс має виконуватись оптимальними групами. Формалізовано технологію функціонування перевантажувального комплексу у вигляді оптимізаційної моделі, яка дасть змогу визначити оптимальну кількість вагонів, що подаються на комплекс. Реалізація моделі показала, що для усереднених вихідних даних можна отримати оптимальне значення кількості вагонів.*

**Ключові слова:** прикордонна перевантажувальна станція, перевантажувальний комплекс, оптимальна кількість вагонів.

*Рассмотрены особенности технологии работы перегрузочного комплекса пограничной перегрузочной станции и установлено, что подача вагонов на комплекс должна выполняться оптимальными группами. Формализована технология функционирования перегрузочного комплекса в виде оптимизационной модели, которая позволит определить оптимальное количество вагонов, подаваемых на комплекс. Реализация модели показала, что для усредненных исходных данных можно получить оптимальное значение количества вагонов.*

**Ключевые слова:** пограничная перегрузочная станция, перегрузочный комплекс, оптимальное количество вагонов.

*It has reviewed the features work of technology of the transshipment complex border station and it has found that supplying the wagons to the complex should be making by the optimal groups. The optimal technology of handling complex should provide the lowest operating costs, speed up the cargo handling by reducing vehicle downtime during the cargo operations and in their expectation, rational using of loading and unloading machinery, the maximum load of domestic wagons, the high productivity of the labour.*

*It was formalized the technology of functioning of a transshipment complex as an optimization model that will determine the optimal number of wagons that are suppling to the complex in a performance of the corresponding system limitations. Also, using the model will reduce unproductive idle of wagons at the border reloading station, and for the margin controller and for the station duty controller will give an opportunity of efficiently organizing the work in selection, feeding, cleaning wagons with the minimal expences of wagon- and locomotive hours. The realization of the model, showed us, that the average output data may give us the optimum number of the wagons in the filing.*

**Keywords:** border transfer station, transshipment complex, the optimal number of cars.

**Вступ.** Залізничний транспорт України з'єднує європейські країни з шириною колії 1435 мм з країнами СНД з виходом на порти Чорного моря, країни Азії та Далекого Сходу. Організація перевезень має забезпечувати прибуток для кожного учасника перевізного процесу. Важливу роль тут відіграють прикордонні перевантажувальні станції (ППС), вдосконалення роботи яких дасть змогу прискорити рух вантажів через кордон, а отже, надасть новий імпульс для подальшого розвитку торговельно-економічних зв'язків та підвищення ефективності товарообігу. Раціональний розвиток та сучасне технічне оснащення ППС, а також чітка організація їх роботи є важливими умовами, які забезпечують успішну взаємодію залізниць суміжних країн, що створює для українських залізниць більш сприятливі умови для залучення додаткових обсягів експортно-

імпортних і транзитних вантажів. Це обумовлює необхідність удосконалення саме перевантажувальних комплексів ППС, що дасть можливість мінімізувати час перебування вагонів на станціях та покращити експлуатаційні показники роботи станцій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання удосконалення технології роботи прикордонних станцій досліджують чимало вчених, але в основі традиційних підходів до організації перевізного процесу в більшості випадків покладено задану і постійну інформацію. У роботі [1] пропонується методика взаємодії комплексу залізничних і митних служб на станціях прикордонних переходів, застосування якої дозволить зекономити час на передавання поїздів між суміжними країнами, що у свою чергу підвищить ефективність роботи станцій і залізниці в цілому. Для створення моделі

функціонування прикордонної передавальної станції у роботі [2] розглянуто паралельно працюючі лінії обробки вагонів (матеріальний потік), перевізних документів та іншої інформації. Виведено поняття “вузлових точок”  $f$ , тобто деяких точок моделі, через які зазначені лінії проходять одночасно. У “вузлових точках”, які виникають при переході з однієї підсистеми в іншу, відбувається синхронізація потоків, що викликає простій одного з потоків в очікуванні. При цьому дотримується балансова формула простою вантажопотоку на станції. У роботі [3] розроблено техніко-економічні моделі технологій взаємодії ліній обробки вагонів і документів на прикордонних передавальних станціях. Моделі дають змогу визначити обмежувальні ланки в процесі обробки вагонів, виконання прикордонно-митних видів контролю та вирішення питання зміни ширини колії. Для удосконалення функціонування інформаційної підсистеми прикордонних передавальних станцій у роботі [4] запропоновано введення електронної передачі митних документів між країнами, удосконалення лінії обробки інформації, об'єднання операцій, розробку єдиних тарифів для країн-партнерів з міжнародних транзитних перевезень, за допомогою яких частка затриманих вагонів для деяких станцій зменшилась у 1,53 разу. У дослідженні [5] розглянуто питання удосконалення процедури порівняння варіантів передавання вантажопотоків на прикордонних станціях. Запропоновано методи підвищення ефективності експлуатації рухомого складу. Формалізовано технологію функціонування прикордонної передавальної станції у вигляді оптимізаційної моделі, яка забезпечує рух системи за нормальною фазовою траєкторією. Запропонована модель може бути застосована для вирішення актуальних проблем спільного функціонування транспортних підрозділів і

митних органів. Автором роботи [6] вирішено з використанням методів векторної оптимізації завдання щодо визначення раціональних параметрів процесу обслуговування вагонопотоків на станціях стикування колій різної ширини, що дозволяє покращити систему експлуатаційних показників роботи станції під час виконання перевантаження вантажів. Розроблено математичну модель для дослідження і удосконалення процесів перевантаження вантажів, що дає можливість вирішувати задачі раціонального використання фінансових ресурсів та завантаження технічних засобів. Термін доставки для міжнародних перевезень вантажів впливає на міжнародний бізнес, на швидкість обороту капіталу, тому у роботі [7] запропоновано впровадження ефективних і стійких логістичних технологій, які можуть оптимізувати використання існуючої транспортної інфраструктури залізничного транспорту. В дослідницькій роботі [8] аналізуються дані щодо загального транзиту вантажів Естонії. Транспортна компанія створила багато міжнародних контейнерних поїздів. Транзитні контейнерні перевезення мають оптимістичний прогноз в Естонії. Проте основні експлуатаційні обмеження пов'язані з різною шириною колії, операціями перетину кордонів, питанням термінів доставки, непередбачуваним російським ринком, законодавством та інвестиціями в інфраструктуру.

Але недостатнє вивчення технології роботи саме перевантажувального комплексу ППС обумовлює необхідність проведення досліджень у цьому напрямку.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою роботи є удосконалення технології функціонування перевантажувального комплексу ППС. Для реалізації зазначеної мети необхідно визначити особливості технології роботи перевантажувального комплексу, формалізувати його технологію



функціонування шляхом формування оптимізаційної моделі, що дасть можливість визначити оптимальну кількість вагонів, які подаються на перевантажувальний комплекс, та виконати моделювання його технології роботи.

**Основна частина дослідження.** Перевезення вантажів у міжнародному сполученні здійснюється нерівномірно. Внаслідок непогодженого підведення до ППС завантажених вагонів по колії 1435 мм та порожніх по колії 1520 мм завантажені вагони через відсутність порожніх змушені простоювати в очікуванні перевантажувальної операції. В таких випадках актуальним є формування логістичної технології з метою зменшення непродуктивних простоїв платформ та раціонального використання вагонного парку [9, 10].

Для здійснення перевантаження вантажів безпосередньо із вагонів західноєвропейської колії у вагони колії Укрзалізниці та навпаки необхідно одночасно подавати та прибирати вагони по обох коліях. При недотриманні цієї умови перевантаження вантажу буде затримуватись, що призведе до непродуктивних простоїв вагонів.

Організація роботи перевантажувальних комплексів залежить від системи підведення вагонів на станцію, подавання їх на комплекс, прибирання та відправлення зі станції. В більшості випадків вагонопотік, що прямує на перевантажувальні комплекси, надходить на станцію групами з кількістю вагонів значно меншою за місткість колій комплексу. Станції, прагнучи використати місткість колій найкращим чином, виконують накопичення вагонів до більш великих груп та подають їх на колії перевантаження у повному складі, кількість вагонів у якому найчастіше не відповідає мінімальним витратам на маневрову роботу, обслуговування засобів механізації в період їх простою та простій вагонів. Отже, подавання вагонів на

перевантажувальний комплекс має виконуватись оптимальними групами, величину яких можна розрахувати.

Таким чином, оптимальна технологія роботи перевантажувального комплексу має забезпечувати найменші експлуатаційні витрати, прискорення переробки вантажів шляхом скорочення простою транспортних засобів під вантажними операціями та в їх очікуванні, раціональне використання вантажно-розвантажувальних машин та механізмів, максимальне завантаження вітчизняних вагонів, високу продуктивність праці.

Для формалізації технології роботи перевантажувального комплексу ППС доцільно зобразити цільову функцію як суму приведених витрат на виконання операцій з формування оптимальної кількості вагонів, що подаються на перевантажувальний комплекс при виконанні відповідної системи обмежень. При цьому будемо вважати, що час роботи перевантажувального комплексу та кількість вантажно-розвантажувальних механізмів є незмінними параметрами.

Цільова функція, яка складається з експлуатаційних витрат, віднесених до кількості вагонів, має вигляд:

$$V(N) = V_n + V_{oc} + V_{нев} + V_{ко} \rightarrow \min, \quad (1)$$

при виконанні системи обмежень

$$\begin{cases} Nl_e \leq l_\phi, \\ \lambda \leq Q_\phi, \\ V \leq V_x, \end{cases} \quad (2)$$

де  $V_n$  – витрати на подавання та прибирання вагонів;

$V_{oc}$  – витрати на очікування вагонами подавання на перевантажувальний комплекс;

$V_{нев}$  – витрати на виконання перевантажувальної операції;

$V_{ко}$  – витрати на комерційний огляд вагонів та оцінку збереження вантажів, що перевозяться на відкритому рухомому складі;

$N$  – партія вагонів;

$l_{в}$  – довжина вагона, м;

$l_{ф}$  – довжина перевантажувального фронту, м;

$\lambda$  – інтенсивність надходження вагонів на перевантажувальний комплекс ППС, вагонів за годину;

$Q_{ф}$  – переробна спроможність перевантажувального комплексу ППС, ваг/год;

$V$  – швидкість переміщення по коліях станції, км/год;

$V_x$  – ходова швидкість відповідно до норм Правил технічної експлуатації, км/год.

Витрати на подавання та прибирання вагонів

$$V_n = \frac{(N + N_n) l_{в} t_{под} C_{лок.год}}{l_{ф}}. \quad (3)$$

де  $N_n$  – кількість порожніх вагонів;

$t_{под}$  – час на подавання-прибирання вагонів, год;

$C_{лок.год}$  – вартість локомотиво-години маневрової роботи, грн.

Витрати на очікування вагонами подавання на перевантажувальний комплекс

$$V_{оч} = N t_{оч} C_{ваг.год}, \quad (4)$$

де  $C_{ваг.год}$  – вартість однієї години простою вагона, грн;

$t_{оч}$  – середній час очікування вагонами подавання на перевантажувальний комплекс, год.

Дослідженнями встановлено, що час очікування вагонами подавання на перевантажувальний комплекс є випадковою величиною [11, 12]. На основі аналізу репрезентативної вибірки встановлено, що цей час підпорядковано розподілу Ерланга 2-го порядку зі щільністю

$$f(t_{оч}) = (2\mu)^2 t_{оч} \cdot e^{-2\mu t_{оч}}, \quad (5)$$

де  $\mu$  – інтенсивність обслуговування.

$$t_{оч} = (2\mu)^2 \int_0^{24} t_{оч}^2 \cdot e^{-2\mu t_{оч}} dt. \quad (6)$$

Витрати на виконання перевантажувальної операції

$$V_{пер} = \frac{NC_{ваг.год}q}{QR}, \quad (7)$$

де  $q$  – середнє завантаження вагона, т/ваг;

$Q$  – продуктивність однієї одиниці техніки, т/год;

$R$  – кількість одиниць вантажно-розвантажувальної техніки.

Витрати на комерційний огляд вагонів та оцінку збереження вантажів, що перевозяться на відкритому рухомому складі,

$$V_{ко} = \frac{C_{ко}}{N + N_n}, \quad (8)$$

де  $C_{ко}$  – вартість комерційного огляду вагонів, грн.

Запропонована модель дасть змогу визначити оптимальну кількість вагонів, що подаються на перевантажувальний комплекс ППС. Також використання моделі дозволить зменшити непродуктивні простої вагонів на ППС, а маневровому диспетчеру

та черговому по станції надасть можливість раціонально організувати роботу з підбору, подавання, прибирання вагонів з мінімальними витратами вагоно- та локомотиво-годин.

Реалізація моделі, що відтворює раціональну технологію роботи перевантажувального комплексу ППС, показала, що для усереднених вихідних даних можна отримати оптимальне значення. З урахуванням системи обмежень для станції оптимальне значення кількості вагонів складає  $N = 14$  вагонів при мінімальних витратах  $C(N) = 3024,27$  грн (див. рисунок).

**Висновки.** Таким чином, розглянуто організацію роботи перевантажувального комплексу ППС та встановлено, що на комплекс вагони необхідно подавати оптимальними групами. Для визначення оптимальної кількості вагонів, що подаються на перевантажувальний комплекс, розроблено оптимізаційну модель, реалізація якої показала, що для усереднених вихідних даних можна отримати оптимальне значення. З урахуванням системи обмежень для прикордонної перевантажувальної станції оптимальне значення кількості вагонів складає 14 ваг при мінімальних витратах 3024,27 грн.

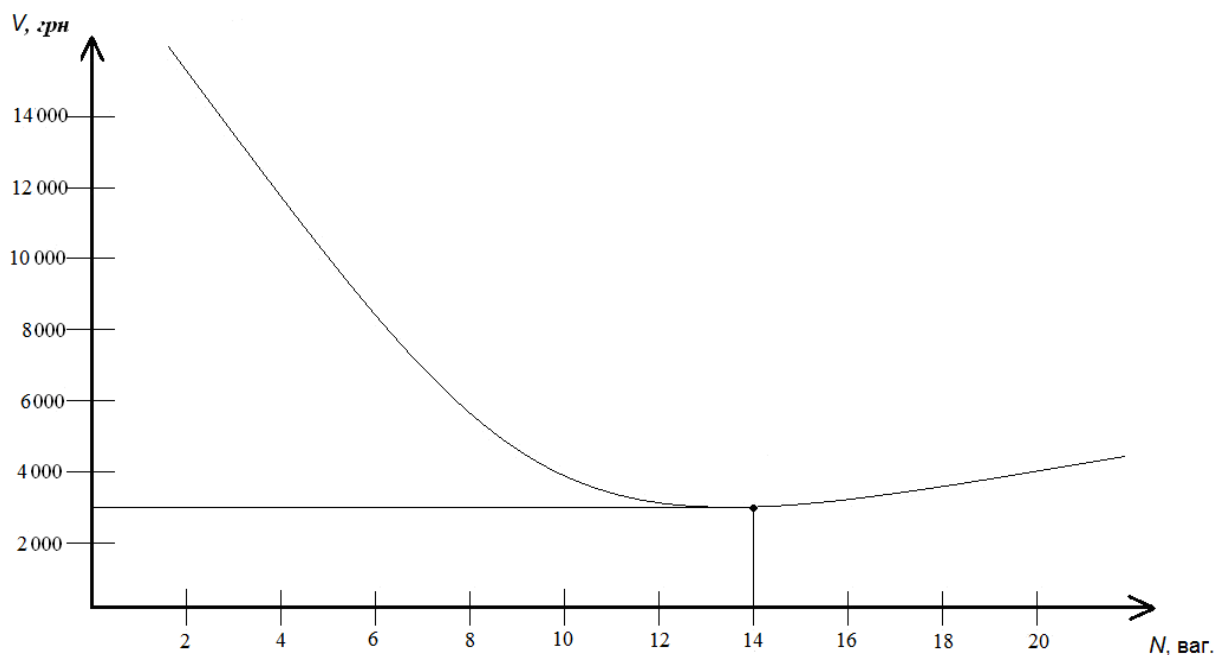


Рис. Залежність сукупних витрат від кількості вагонів, що подаються на перевантажувальний комплекс ППС

### Список використаних джерел

1. Котелевский, О. А. Совершенствование технологии работы пограничных станций [Текст] / О. А. Котелевский // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2005. – №1. – С. 18-21.
2. Крохин, А. С. Особенности моделирования работы пограничных станций Дальневосточного региона [Текст] / А. С. Крохин, А. Е. Сычев // Железнодорожный транспорт. Сер. Грузовая и коммерческая работа. Контейнерные перевозки. – 2006. – № 1. – С. 1-19.

3. Обухова, А. Л. Удосконалення технології функціонування передавальних залізничних станцій в умовах змішаних та інтермодальних перевезень [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.01 “Транспортні системи” / А. Л. Обухова. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – 20 с.
4. Кіхтєва, Ю. В. Удосконалення функціонування інформаційної підсистеми прикордонних передавальних станцій [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.01 “Транспортні системи” / Ю. В. Кіхтєва. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – 20 с.
5. Нестеренко, Г. І. Удосконалення технології пропуску вантажопотоків через прикордонні передавальні станції [Текст] / Г. І. Нестеренко, А. І. Кузьменко // Вісник Академії митної служби України. Сер. Технічні науки. – 2011. – № 2. – С. 23-28.
6. Кузьменко, А. І. Підвищення ефективності функціонування прикордонних перевантажувальних станцій [Текст] / А. І. Кузьменко // Зб. наук. праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2015. – Вип. 9. – С. 35 – 41.
7. Drożdźziel P. Prospects of international freight transport in the East-West direction [Text] / P. Drożdźziel, B. Buková, E. Brumerčíková // Transport problems.- Katowice: Politechniki Śląskiej Gliwice, 2015.- Volume 10. – Issue 4. – P. 5 – 13.
8. Hilmola O. Border-crossing constraints, railways and transit transports in Estonia [Text] / O. Hilmola, V. Henttu // Research in Transportation Business & Management, 2015. – Volume 14. – P. 72 – 79.
9. Бауліна, Г. С. Формування логістичної технології “прикордонний сухий порт” в умовах прикордонної перевантажувальної станції [Текст] / Г. С. Бауліна // Восточно-європейський журнал передових технологій. – Харків, 2010. – Вып. 3/6 (45). – С. 60 – 63.
10. Бауліна, Г. С. Дослідження доцільності використання логістичної технології “прикордонний сухий порт” в умовах прикордонної перевантажувальної станції [Текст] / Г. С. Бауліна, Г. Є. Богомазова // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 124. – С. 142-147.
11. Бауліна, Г. С. Формування оптимізаційної моделі роботи вантажного фронту [Текст] / Г. С. Бауліна // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – № 5. – С. 44-46.
12. Крамер, Г. Математические методы статистики [Текст] / Г. Крамер; пер. с англ. А. С. Мони́на и А. А. Петро́ва; под ред. А. Н. Колмогорова. – 2-е изд., стер. – М.: Мир, 1975. – 648 с.

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

---

Бауліна Ганна Сергіївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-85. Baulina777@gmail.com.  
Дідух Петро Олександрович, магістр групи 23-VI-ОПУТМ Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-85.

Карпаш Андрій Мирославович, магістр групи 23-VI-ОПУТМ Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-85.

Федорняк Іван Ігорович, магістр групи 23-VI-ОПУТМ Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-85.

Baulina Ganna, PhD. sc., associate professor of the department of freight and commercial work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-85.

Diduh Petro, master of the group 23-VI-OPUTM, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-85.  
Karpash Andriy, master of the group 23-VI-OPUTM, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-85.

Fedornyak Ivan, master of the group 23-VI-OPUTM, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-85.

Стаття прийнята 24.06.2016 р.

УДК 666.942.2

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ АЗОТНОКИСЛОГО КАЛЬЦИЯ НА ЭМИССИЮ АММИАКА ИЗ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Доктора техн. наук Г. Н. Шабанова (НТУ «ХПИ»), С. М. Логвинков (ХНЭУ),  
канд. техн. наук Т. В. Школьников, млад. науч. сотруд. В. Н. Шумейко (НТУ «ХПИ»)

## ВПЛИВ ДОБАВКИ АЗОТНОКИСЛОГО КАЛЬЦІЮ НА ЕМІСІЮ АМІАКУ З ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ

Доктори техн. наук Г. М. Шабанова (НТУ «ХПИ»), С. М. Логвінков (ХНЕУ),  
канд. техн. наук Т. В. Школьнікова, молодш. наук. співроб. В. М. Шумейко (НТУ «ХПИ»)

## THE INFLUENCE OF ADDITIVE OF CALCIUM NITRATE ON AMMONIA EMANATION FROM CEMENT STONE

Dr. Tech. Sc. G.N. Shabanova, S.M. Logvinkov, Cd. Tech. Sc. T.V. Shkolnikova,  
J. Res. V.N. Shumejko

*Рассмотрена одна из возможных причин, обуславливающая накопление азотсодержащих соединений в порландцементе. Проведен анализ диаграммы состояния  $Fe-C-N_2-O_2$  и выполнена тетраэдрация указанной системы. Рассчитаны и представлены геометро-топологические характеристики строения системы. Теоретически обоснована возможность синтеза нитридов железа при получении порландцементного клинкера. Предложено решение по разработке специальных мер снижения эмиссии аммиака из строительных материалов и конструкций, изготовленных с применением порландцемента. Представлены результаты исследования влияния азотнокислого кальция в сверхмалых концентрациях на интенсификацию эмиссии аммиака при гидратации и на свойства цементного камня.*

**Ключевые слова:** порландцементный клинкер, эмиссия аммиака, физико-химическая система, тетраэдрация, синтез, добавка, гидролиз, свойства.

*Розглянута одна з можливих причин, що обумовлює накопичення азотвмісних сполук у порландцементі. Проведено аналіз діаграми стану  $Fe-C-N_2-O_2$  та виконана тетраедрація зазначеної системи. Розраховано й наведено геометро-топологічні характеристики будови системи. Теоретично обґрунтовано можливість синтезу нітридів заліза при отриманні порландцементного клінкеру. Запропоновано рішення щодо розроблення спеціальних заходів зі зниження емісії аміаку з будівельних матеріалів і конструкцій, які виготовлені із застосуванням порландцементу. Подано результати дослідження впливу азотнокислого кальцію у наднизьких концентраціях на інтенсифікацію емісії аміаку при гідратації і на властивості цементного каменю.*

**Ключові слова:** порландцементний клінкер, емісія аміаку, фізико-хімічна система, тетраедрація, синтез, добавка, гідроліз, властивості.

*The increased number of ammonia emanation from building constructions leads to necessity to determine the reasons of given undesirable process. As a consequence, specific measures and methods for neutralization of harmful effect of ammonium compounds as well as other harmful contaminants, which are present in raw materials of concrete mixes, on humans and environment*

should be developed. One of the possible reasons for the accumulation of nitrogen-containing compounds in Portland cement is considered. The analysis of the phase diagram  $Fe-C-N_2-O_2$  is given. Division of the system on the tetrahedrons has been fulfilled. Geometrical and topological characteristics of the system structure have been calculated. The possibility of iron nitrides synthesis under conditions of Portland cement clinker manufacturing has been grounded theoretically. The way for development of special measures for reducing the ammonium emanation from Portland cement based buildings materials and constructions is proposed. One is based on use of additives which could intensify the ammonia emanation during mixing and at the initial stages of cement stone hardening. As a result the concentration of nitrogen-containing compounds as well as risks for human health is reduced considerably in comparison with prolonged ammonia emanation from building constructions. Mechanisms for development of hydrolysis process stages in the presence of low concentrations of calcium nitrate are proposed. The results of investigation of influence of calcium nitrate low concentrations on ammonia emanation intensification at the hydration as well as hydrophobic and dense microstructure formation are presented. It is determined that increased physical and chemical properties are in dependence on cement stone microstructure. The possibility of activation of sulfate-ion by calcium nitrate contained in traditional additive for Portland cement clinker grinding – gypsum – is noted.

**Keywords:** Portland cement clinker, ammonia emanation, physical-chemical system, division on tetrahedrons, synthesis, additive, hydrolysis, properties.

**Введение.** В современных условиях отмечается тенденция не только к повышению комфортности жилых и офисных помещений, но и к экологотоксической безопасности элементов их конструкций. К строительным изделиям и отделочным материалам на основе портландцемента до недавнего времени не имелось претензий санитарно-гигиенического характера. Однако стремление к интенсификации производственных процессов и к технико-экономической рационализации рецептур сырьевых компонентов в технологии портландцемента, обуславливает новые риски по накоплению азотсодержащих соединений с последующей эмиссией аммиака [1].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Среди возможных причин, обуславливающих накопление азотсодержащих соединений в портландцементе, можно выделить следующие:

1) применение в составе исходной сырьевой шихты компонентов, загрязненных в результате их повторного использования, в частности, песчаных смесей с высоким содержанием остаточных

аммонийных солей и антиобледенительных реагентов;

2) использование интенсификаторов помола цементного клинкера с высокой концентрацией алканоламинов, прежде всего триэтаноламина и триизопропаноламина;

3) утилизация в обжиге вторичных энергетических ресурсов – отходов тканевого производства, резинотехнических изделий, шламов с высоким содержанием органических соединений и др.;

4) применение минеральных добавок при помоле клинкера, например, зол тепловых электростанций и шлаков металлургического производства с высоким содержанием хемосорбированных соединений азота;

5) смешение размолотого клинкера с пуццолановыми тонкодисперсными добавками, имеющими в составе высокое содержание мочевины и ионов аммония, в частности, пыль электрофильтров после печей ферросплавного производства и вращающихся печей различного назначения;

б) коррекция режима обжига клинкера с возможным установлением в

высокотемпературных зонах печи восстановительных условий, что обуславливает образование нитридов, прежде всего нитридов железа.

Безусловно, отмеченные причины не охватывают полный перечень и различаются по степени реального проявления. Так, азотсодержащие компоненты сырьевой шихты в ходе высокотемпературного обжига должны в значительной мере разлагаться до газообразных продуктов и удаляться с дымовыми газами. Не более реалистичным представляется и существенное количество алканоламинов в портландцементе из-за малых концентраций при применении в качестве интенсификаторов помола клинкера. Кроме того, алканоламины стабильны в щелочных условиях гидратационного твердения портландцементного теста и не могут рассматриваться в качестве источников эмиссии аммиака без присутствия специальных катализаторов. Более высокий реальный риск образования в портландцементе источников эмиссии аммиака может возникать по 4-й и 5-й причинам. Однако эти причины должны носить эпизодический характер и не проявляться фактически на всех марках портландцементов от различных производителей, а это явление отмечается исследователями различных стран [2]. Последняя из шести отмеченных причин рассматривается в публикации [1] в качестве реалистичной и способной проявляться в портландцементах различных марок.

**Определение цели и задачи исследования.** Самостоятельным вопросом, требующим дополнительных комплексных исследований, является установление того, в какой период времени эмиссия аммиака из строительных изделий и материалов на основе портландцемента более вредно влияет на жизнедеятельность человека: в сравнительно короткий период гидратации и твердения портландцементного камня

или в долговременный период эксплуатации соответствующих строительных конструкций и сооружений. По нашему мнению, априори может быть принята точка зрения о более вредном влиянии аккумулярованных в затвердевшем цементном камне источниках эмиссии аммиака и долговременном его выделении. Поэтому полагаем позитивным влияние добавок, способных интенсифицировать эмиссию аммиака в период затворения и в начальные сроки твердения цементного камня, что значительно уменьшает концентрацию азотсодержащих соединений и риски для здоровья человека при длительном выделении аммиака из строительных конструкций.

Цель работы предусматривала выполнение теоретического обоснования возможности синтеза нитридов железа в портландцементном клинкере и экспериментальное исследование влияния азотнокислого кальция в сверхмалых концентрациях на интенсификацию эмиссии аммиака при гидратации и на свойства твердеющего цементного камня.

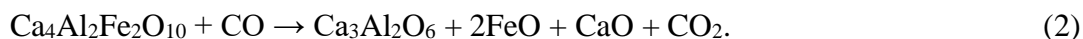
#### **Основная часть исследования.**

*Теоретические предпосылки и исследования.* В публикации [1] отмечается определенный исторический момент – появление первого патента США в конце 50-х годов прошлого века на применение карбамида (мочевины) в качестве ускорителя твердения портландцементных композиций. В патенте сообщалось, что карбамид разлагается при твердении цементного камня с образованием аммиака. Поэтому в качестве начальной гипотезы об источниках эмиссии аммиака в портландцементе предполагались именно химические добавки, прежде всего содержащие химические соединения, в которых азот проявляет степень окисления, тождественную с аммиаком, – минус три: пластификаторы, в частности, на основе сульфированных меламинаформальдегидных производных; регуляторы твердения,

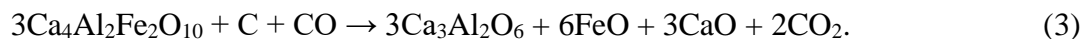
например, содержащие аминокислоты  $R_1(NH_2)R_2COOH$ , карбамиды  $CO(NH_2)_2$  и амиды карбоновых кислот  $R_3CONH_2$ ; азотсодержащие добавки биоцидного действия и др. Кроме того, исключали из числа добавок, способных быть источником эмиссии аммиака, химические соединения, в которых азот находится в степени окисления плюс три и плюс пять, в частности, нитриты и нитраты, т.к. полагали отсутствие в портландцементе

веществ, способных восстановить азот из таких окисленных соединений.

В работе [1] с термодинамических позиций рассматривается возможность синтеза нитридов железа в портландцементном клинкере из вюститита – оксида железа (+ 2) и азота в восстановительных условиях обжига. В свою очередь оксид двухвалентного железа рассматривается в качестве продукта разложения браунмиллерита  $Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$  в подобных условиях:



Суммарно:



К сожалению, в работе [1] не приведены исходные термодинамические данные и методика расчета изменений энергии Гиббса реакций синтеза нитридов железа. Кроме того, некоторые из результатов исследования имеют дискуссионный характер, а расчеты выполнены только до температур ниже  $1000^\circ C$ . Так, по результатам расчетов (реакции № 3 и № 4 [1]) синтез  $Fe_2N$  термодинамически ограничен до  $200^\circ C$  и в условиях высокотемпературного обжига клинкера портландцемента не должен осуществляться. Однако в экспериментах [1]  $Fe_2N$  был идентифицирован рентгенографически по характерным дифракционным максимумам:  $d = 0,336; 0,241; 0,219$  и  $0,163$  нм. Кроме того, в экспериментах [1] не синтезировался  $Fe_8N$ , образование которого спрогнозировано термодинамическими расчетами (в работе [1] реакции № 7 и № 8). По нашему мнению, отсутствие  $Fe_8N$  в продуктах обжига можно объяснить кинетическими причинами, т.к. известно [3] о его очень медленном образовании в малоуглеродистых сталях (месяцы), чем обусловлено понижение их пластичности.

Однако для устранения противоречия между результатами термодинамических расчетов и экспериментами в отношении синтеза  $Fe_2N$ , требуется проведение дополнительных исследований. Корректно выполнить проверочные расчеты не представлялось возможным из-за отсутствия термодинамических данных, тождественных в работе [1]. Поэтому нами проведен анализ диаграммы состояния  $Fe - C - N_2 - O_2$  в соответствии с методикой исследований многокомпонентных физико-химических систем [4, 5, 6].

Проверка стабильности нитридов железа по результатам анализа литературных источников показала [7]:

– орторомбический нитрид  $Fe_2N$  имеет узкую область гомогенности и неустановленный в настоящее время температурный предел существования;

–  $Fe_4N$  образует небольшую (2-3 ат. % азота) концентрационную область твердых растворов и выше  $680^\circ C$  подвергается полному твердофазному растворению в  $\epsilon$ -фазе, которая при указанной температуре занимает примерный концентрационный интервал 15-33 (ат. % азота);



– Fe<sub>8</sub>N не рассматривается стехиометрическим соединением, не занесен в современную базу рентгенографических данных и на диаграмме состояния (рис. 1 [7]) его можно соотнести к близкой по форме вертикали

кривой сольвуса, разграничивающей область аустенитоподобных твердых растворов на основе γ-Fe с ε-фазой и простирающуюся от 650 °C до экспериментально неопределенной температуры.

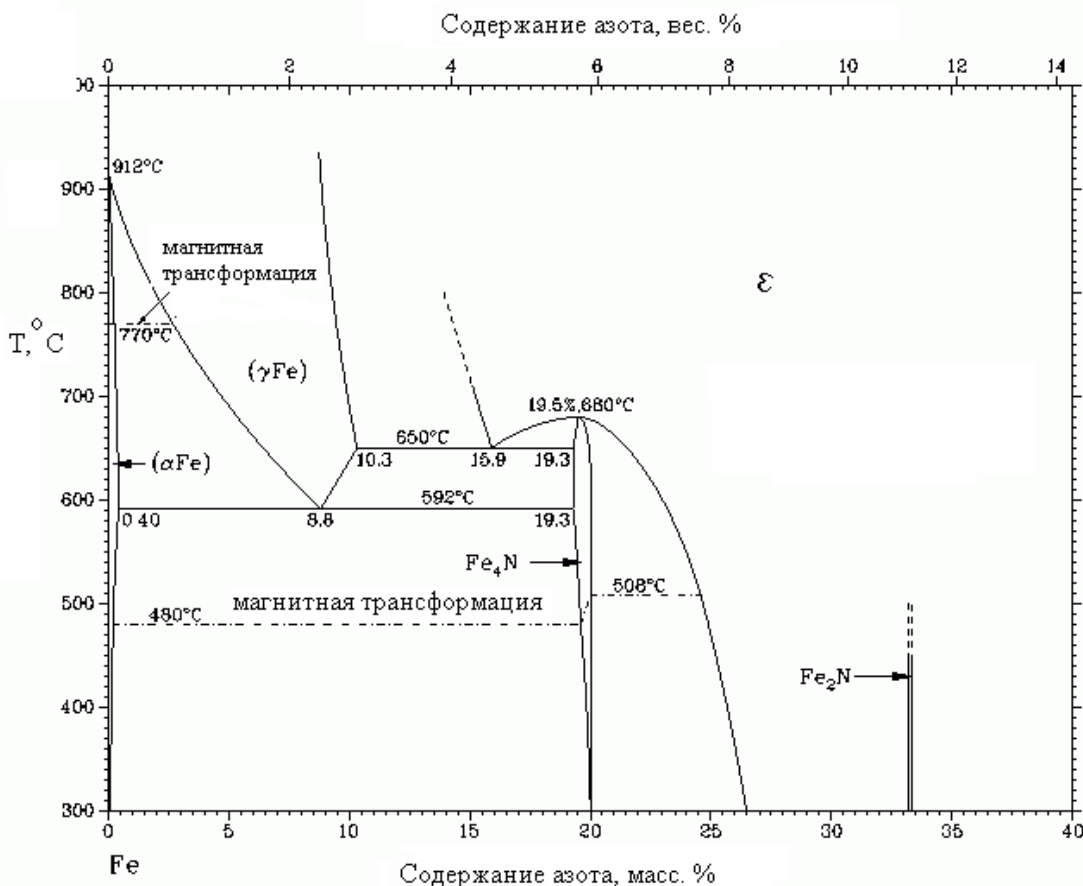


Рис. 1. Диаграмма состояния Fe – N

Отмеченные сведения важны для дальнейших исследований, но на данном этапе приняты исходные представления [1] о всех указанных нитридах, как о стехиометрических соединениях с неограниченным температурным интервалом существования.

Триангуляция тройных подсистем не требует дополнительных исследований и устанавливается в ходе логического анализа. В подсистеме Fe – C – O<sub>2</sub> все конденсированные соединения с очевидностью сосуществуют с CO<sub>2</sub>, как

оксидом с высшей степенью окисления. Соответственно существуют коннды CO<sub>2</sub> – FeO, CO<sub>2</sub> – Fe и CO<sub>2</sub> – Fe<sub>3</sub>C, а наличие коннды Fe<sub>3</sub>C – CO однозначно по геометро-топологическим принципам триангуляции. Учитывая в подсистеме Fe – C – N<sub>2</sub> только существование нитридов железа Fe<sub>2</sub>N, Fe<sub>4</sub>N и Fe<sub>8</sub>N, а также карбида железа Fe<sub>3</sub>C (цементит), возможен единственный вариант триангуляции с существованием коннды: Fe<sub>3</sub>C – Fe<sub>8</sub>N, Fe<sub>3</sub>C – Fe<sub>4</sub>N, Fe<sub>3</sub>C – Fe<sub>2</sub>N и Fe<sub>3</sub>C – N<sub>2</sub>. В подсистеме C – N<sub>2</sub> – O<sub>2</sub> множество оксидов

азота можно в общей форме учесть формальной записью  $\text{NO}_x$ , где стехиометрический коэффициент  $x$  отображает вариации соотношений  $\text{N/O}$ . При этом триангуляция однозначна и определена наличием коннод:  $\text{N}_2 - \text{CO}$ ,  $\text{N}_2 - \text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x - \text{CO}_2$ . В подсистеме  $\text{Fe} - \text{N}_2 - \text{O}_2$  оксиды железа  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с очевидностью сосуществуют с  $\text{N}_2$ , что определяет существование коннод  $\text{FeO} - \text{N}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{N}_2$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{N}_2$ , а также  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{NO}_x$ . В таком случае дальнейшая триангуляция возможна только за счет сосуществования  $\text{FeO}$  с нитридами железа, что определяет наличие соответствующих коннод:  $\text{FeO} - \text{Fe}_2\text{N}$ ,  $\text{FeO} - \text{Fe}_4\text{N}$  и  $\text{FeO} - \text{Fe}_8\text{N}$ .

Объединение триангулированных подсистем в концентрационный тетраэдр системы  $\text{Fe} - \text{C} - \text{N}_2 - \text{O}_2$  (рис. 2) указывает на однозначность ее тетраэдрации за счет стабильности трех “внутренних” (проходящих в концентрационном

пространстве системы) коннод:  $\text{Fe}_2\text{N} - \text{CO}_2$ ,  $\text{Fe}_4\text{N} - \text{CO}_2$  и  $\text{Fe}_8\text{N} - \text{CO}_2$ .

В тетраэдрированной системе (рис. 2) существует 14 элементарных тетраэдров: 1)  $\text{C} - \text{Fe}_3\text{C} - \text{N}_2 - \text{CO}$ , 2)  $\text{Fe}_3\text{C} - \text{N}_2 - \text{CO} - \text{CO}_2$ , 3)  $\text{Fe}_3\text{C} - \text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{FeN}_2$ , 4)  $\text{Fe}_3\text{C} - \text{CO}_2 - \text{Fe}_2\text{N} - \text{Fe}_4\text{N}$ , 5)  $\text{Fe}_3\text{C} - \text{CO}_2 - \text{Fe}_4\text{N} - \text{Fe}_8\text{N}$ , 6)  $\text{Fe}_3\text{C} - \text{CO}_2 - \text{Fe}_8\text{N} - \text{Fe}$ , 7)  $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{FeO} - \text{Fe}_2\text{N}$ , 8)  $\text{CO}_2 - \text{FeO} - \text{Fe}_2\text{N} - \text{Fe}_4\text{N}$ , 9)  $\text{CO}_2 - \text{FeO} - \text{Fe}_4\text{N} - \text{Fe}_8\text{N}$ , 10)  $\text{CO}_2 - \text{FeO} - \text{Fe}_8\text{N} - \text{Fe}$ , 11)  $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{FeO} - \text{Fe}_3\text{O}_4$ , 12)  $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ , 13)  $\text{N}_2 - \text{CO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{NO}_x$ , 14)  $\text{CO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{NO}_x - \text{O}_2$ , отсутствует элементарный тетраэдр, который должен был объединять исходные соединения реакций № 3 и № 4 (по публикации [1]):  $\text{FeO}$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2$ , а коннода  $\text{Fe}_2\text{N} - \text{CO}_2$  существует, что указывает на возможность реакционного взаимодействия между отмеченными реагентами в направлении синтеза  $\text{Fe}_2\text{N}$  и  $\text{CO}_2$ :

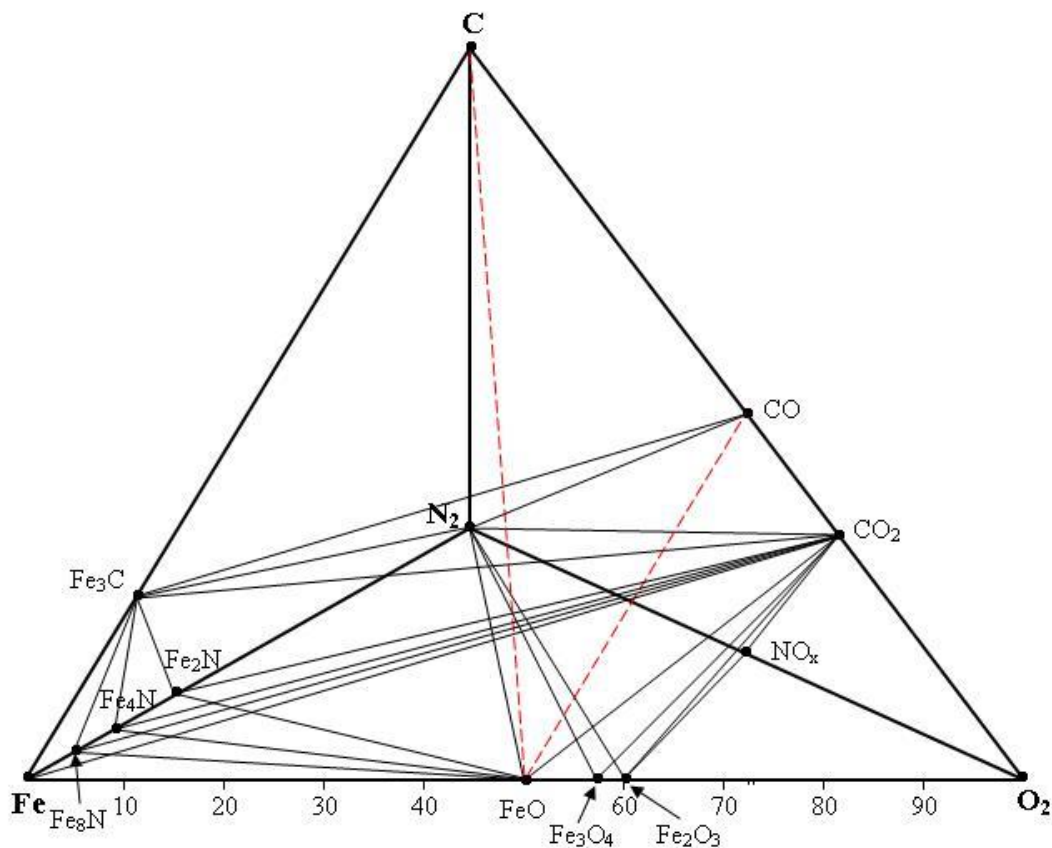
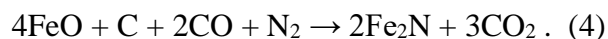


Рис. 2. Тетраэдрированная система  $\text{Fe} - \text{C} - \text{N}_2 - \text{O}_2$  (---, конноды по результатам термодинамических расчетов)

Геометро-топологические характеристики строения системы рассчитаны по методике [4] и представлены в табл. 1, 2 (тетраэдр № 13 условно принят элементарным, так как не принималось в рассмотрение его деление за счет наличия коннод от NO<sub>x</sub>).

Для взаимодействий, приводящих к синтезу Fe<sub>4</sub>N и Fe<sub>8</sub>N, нами выполнены аппроксимационные расчеты с применением результатов термодинамических расчетов

[1] в более высокотемпературном интервале обжига портландцементного клинкера для суммарных (по отношению к реакциям № 5, 6 и № 7, 8 в работе [1]) взаимодействий:



Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 1

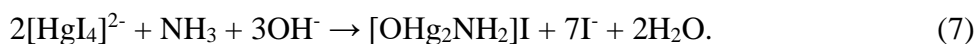
Характеристика элементарных тетраэдров системы Fe – C – N<sub>2</sub> – O<sub>2</sub>

№ п/п	Элементарный тетраэдр	Объем, ‰	Степень асимметрии
1	C – Fe <sub>3</sub> C – N <sub>2</sub> – CO	532,74	1,75
2	Fe <sub>3</sub> C – N <sub>2</sub> – CO – CO <sub>2</sub>	145,55	6,21
3	Fe <sub>3</sub> C – N <sub>2</sub> – CO <sub>2</sub> – Fe <sub>2</sub> N	43,30	10,00
4	Fe <sub>3</sub> C – CO <sub>2</sub> – Fe <sub>2</sub> N – Fe <sub>4</sub> N	2,53	16,61
5	Fe <sub>3</sub> C – CO <sub>2</sub> – Fe <sub>4</sub> N – Fe <sub>8</sub> N	1,41	30,31
6	Fe <sub>3</sub> C – CO <sub>2</sub> – Fe <sub>8</sub> N – Fe	1,46	29,84
7	N <sub>2</sub> – CO <sub>2</sub> – FeO – Fe <sub>2</sub> N	54,12	4,63
8	CO <sub>2</sub> – FeO – Fe <sub>2</sub> N – Fe <sub>4</sub> N	3,17	16,61
9	CO <sub>2</sub> – FeO – Fe <sub>4</sub> N – Fe <sub>8</sub> N	1,77	30,31
10	CO <sub>2</sub> – FeO – Fe <sub>8</sub> N – Fe	1,83	29,84
11	N <sub>2</sub> – CO <sub>2</sub> – FeO – Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	14,47	17,16
12	N <sub>2</sub> – CO <sub>2</sub> – Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> – Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,82	35,81
13	N <sub>2</sub> – CO <sub>2</sub> – Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – O <sub>2</sub>	190,83	3,66
Сумма	–	1000,00	–
Max	–	532,74	35,81
Min	–	1,41	1,75

Как следует из результатов расчетов (табл. 3), реакция (6) в прямом направлении термодинамически возможна во всем рассматриваемом интервале температур, а синтез Fe<sub>4</sub>N по реакции (5) термодинамически вероятен выше 1302 К. Таким образом, возможность синтеза Fe<sub>2</sub>N, Fe<sub>4</sub>N и Fe<sub>8</sub>N теоретически обоснована.

*Материалы и методы экспериментальных исследований.* В работе [1] поставлен модельный эксперимент по проверке синтеза нитридов железа: смесь портландцементного клинкера с тонкоиз-

мельченным углем (0,5-1,0 масс. %) обжигали в трубчатой печи в потоке азота при 800-1200 °С. Продукт обжига измельчали и “обрабатывали аналогичным образом, что и клинкер”, после чего проводили рентгенофазовый анализ. Концентрацию NH<sub>4</sub><sup>+</sup> определяли непосредственно в суспензии (водоцементное отношение равнялось 5) методом колориметрии с использованием реагента Несслера K<sub>2</sub>[HgI<sub>4</sub>] · 2H<sub>2</sub>O, который связывает определяемый катион в комплекс с желтой окраской:



Таблиця 2

Геометро-топологическая характеристика фаз системы Fe – C – N<sub>2</sub> – O<sub>2</sub>

Соединение	В скольких тетраэдрах существует	Со сколькими фазами сосуществует	Объем существования V <sub>i</sub> , %	Вероятность существования ω, %
Fe	2	3	3,29	0,82
C	1	3	532,74	133,19
N <sub>2</sub>	7	9	987,83	246,96
O <sub>2</sub>	1	3	190,83	47,71
Fe <sub>3</sub> C	6	8	727,00	181,75
CO	2	4	678,29	169,57
CO <sub>2</sub>	12	11	467,26	116,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2	4	197,65	49,41
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	2	4	21,29	5,32
FeO	5	7	75,35	18,84
Fe <sub>2</sub> N	4	5	103,12	25,78
Fe <sub>4</sub> N	4	5	8,88	2,22
Fe <sub>8</sub> N	4	5	6,47	1,62
Сумма	–	–	4000,00	1000,00
Max	13	12	987,83	246,96
Min	1	3	3,29	0,82

Таблиця 3

Изменение энергии Гиббса ΔG реакций (5) и (6)

Реакция	ΔG, кДж/моль, при температуре, К					
	1273	1373	1473	1573	1673	1773
(5)	+7,4	-18,4	-44,2	-70,0	-95,8	-122,0
(6)	-98,8	-162,8	-226,8	-290,8	-354,8	-418,8

В результате зафиксировано выделение иона аммония в жидкой фазе в 25-100 раз выше, чем в исходном клинкере; введение с водой затворения 0,005 моль/л таких окислителей, как KMnO<sub>4</sub> или K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, обуславливало концентрацию NH<sub>4</sub><sup>+</sup> в суспензии через 60 мин 26,4-38,1 мг-ион/л, а добавка восстановителя (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в аналогичных условиях не приводила к образованию аммиака.

Несмотря на существенные различия условий проведения модельного эксперимента с традиционными условиями получения портландцементного клинкера (прежде всего по максимальной температуре обжига 1400-1450 °С, а не 800-

1200 °С), а также на значительную неохарактеризованность материалов и методик исследований, можно полагать экспериментально подтвержденным факт возможности синтеза нитридов железа в некоторых вероятных режимах обжига портландцементного клинкера.

В наших экспериментах планировалось косвенными методами подтвердить наличие источников эмиссии аммиака в портландцементе, поступающим в розничную торговую сеть. В экспериментах применяли портландцемент марки ПЦ I-500Н производства АО «Евроцемент-Украина», который выпускается согласно ДСТУ Б.В.2.7-46-96.

В качестве добавки использовали азотнокислый кальций  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (ТУ 2181-068-32496445-2010), который вводился в исследуемые составы с водой затворения. Для идентификации аммиака, выделяющегося из цементного теста, применяли органолептический анализ (нижний порог чувствительности запаха превышает предельно допустимую концентрацию аммиака в атмосферном воздухе населенных мест (среднесуточная –  $0,04 \text{ мг/м}^3$ , максимальная разовая –  $0,2 \text{ мг/м}^3$ )).

Рентгенофазовый анализ исследуемых проб выполняли на дифрактометре ДРОН-3М (анод – медный, фильтр – никелевый, анодное напряжение – 35 кВ, анодный ток – 20 мА).

Водоцементное отношение для исследуемого портландцемента определяли на приборе Вика в соответствии с методами исследований цементов [8]. Для определения прочности по методике малых образцов Стрелкова изготавливали образцы-кубы размером  $20 \times 20 \times 20 \text{ мм}$  из цементного теста. Испытания предела прочности при сжатии образцов гидратированного цемента с добавками осуществляли на гидравлическом прессе, при твердении их в течение 2, 7 и 28 сут.

*Результаты и обсуждение.* На снятых дифрактограммах исходного портландцемента присутствуют максимумы, отвечающие основным кристаллическим фазам клинкера и маскирующие соответствующие характеристические пики нитридов железа (рис. 3).

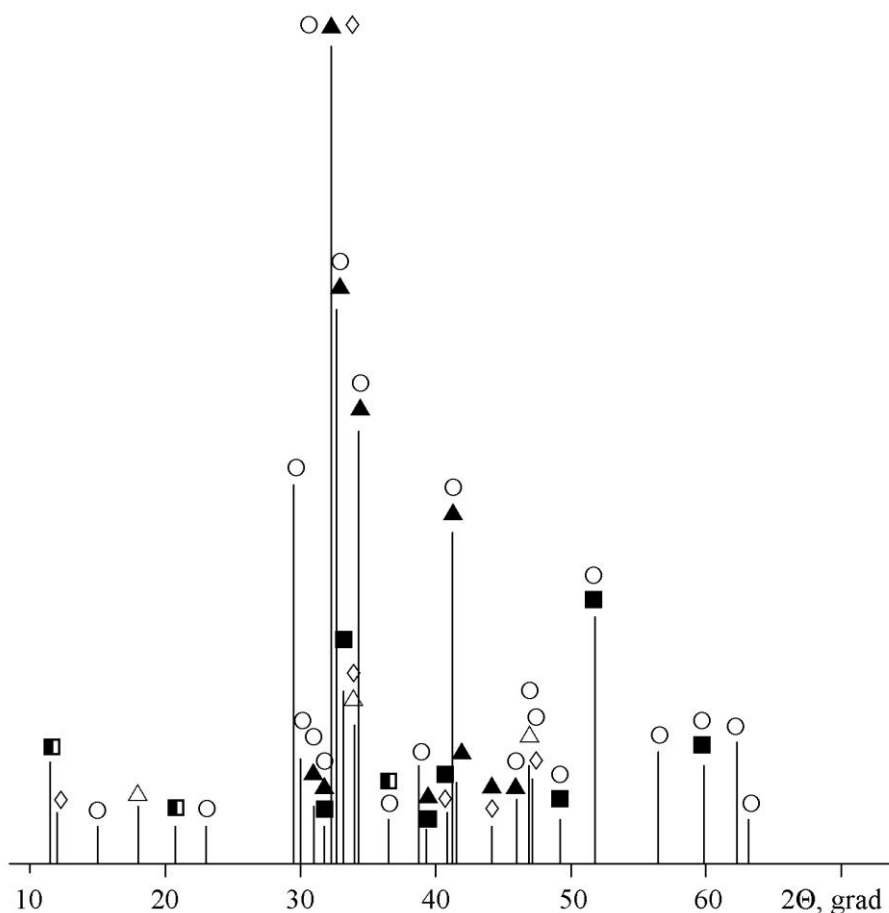
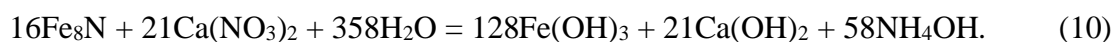


Рис. 3. Штрих-рентгенограмма портландцемента ПЦ I-500-Н:  
 ○ –  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ , ▲ –  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ , ■ –  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ , ◇ –  $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_2\text{O}_5$ ,  
 ■ –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , △ –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

В качестве рабочей гипотезы предполагали, что даже низкие концентрации  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  способны оказать иницирующее влияние на гидролиз

нитридов железа с вовлечением в механизм взаимодействия кислорода воздуха. Химические реакции иницирующих стадий описываются механизмами реакций:



После вовлечения во взаимодействие кислорода воздуха механизмы реакций отвечают уравнениям:



Применение азотнокислого кальция в значительных концентрациях является эффективным для регулирования сроков твердения цементного камня и в качестве противоморозной добавки [9]. При этом эффекты от добавки  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  объясняются электролитическим влиянием на рН среды в цементном тесте и понижением температуры замерзания воды в присутствии второго компонента. Понятно, что эти факторы утрачивают свою роль при очень низких концентрациях азотнокислого кальция. Однако  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  даже в низких концентрациях оказывает очень существенное влияние на физико-механические свойства цементного камня. По нашему мнению, именно механизм протекания реакций гидролиза (8) – (13) обеспечивает эффективное влияние  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  на гидратационное твердение портландцементного камня с формированием характерной микроструктуры и повышенных физико-механических свойств.

По результатам определения водоцементного отношения (В/Ц) можно считать, что добавление азотнокислого кальция в анализируемом диапазоне

концентраций не оказывает практического влияния на его понижение (табл. 3). Это обстоятельство полностью согласуется с механизмами реакций гидролиза, в которых на каждый моль  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  требуется от 19,8 до 42,7 молей воды. Безусловно, что в начальный период затворения цемента вода будет объектом конкуренции для реакций гидролиза и для гидратации основных кристаллических фаз клинкера. Поэтому следует ожидать замедления сроков схватывания цементного теста, что и наблюдается по результатам их определения (табл. 3). Запах аммиака отмечался уже в первые минуты гидратационного твердения, что указывает на высокую скорость развития иницирующих стадий гидролиза по механизмам реакций (8) – (10).

Развитие реакций (8) – (10) обуславливает разжижающепластифицирующий эффект – снижается предел пластичности, возрастает растекаемость и удобоукладываемость массы, что взаимосвязано с барботажем цементной композиции микропузырьками выделяющегося аммиака с частичным возвратным выделением воды в реакционную систему. Углубление

процесса гидролиза проявляется в вовлечении в механизм взаимодействия кислорода (растворенного в воде затворения, адсорбированного и замкнутого в тупиковых порах цементных частиц), соответственно будет отмечаться эффект уплотнения продуктов гидратации и кольматационное заполнение пор смешанным золом кальций-железистого гидроксида. Косвенный эффект от формирования подобной гетерофазной структуры реализуется в кинетике набора прочности и значительном повышении предела прочности при сжатии образцов в возрасте 28 сут нормального твердения (табл. 3). Кроме того, что формируется плотная микроструктура цементного камня, в образцах после 1 сут твердения проявляется эффект его гидрофобизации. В

отличие от образцов на основе бездобавочного портландцемента, которые впитывают размещенную на их поверхности каплю воды в течение нескольких секунд, образцы с добавкой  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  не смачиваются водой, а капля воды на их поверхности не способна проникать в структуру цементного камня до полного их испарения. Обнаруженный эффект нами трактуется с позиций того, что реакции (8) – (13) относятся к окислительно-восстановительным и могут оказывать влияние на формирование двойного электрического слоя гидратированных цементных частиц вплоть до перезарядки и изменения знака  $\zeta$ -потенциала при коагуляционно-кристаллизационных процессах по механизму электрогетерогенных взаимодействий [10].

Таблица 3

Физико-механические свойства исследуемых композиций

Добавка	Количество добавки, масс. %	В/Ц, %	Сроки схватывания, ч-мин		Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут		
			начало	конец	2	7	28
Б/Д	–	27	3-15	4-30	53	73	78
Азотнокислый кальций	0,015	27	3-30	4-40	53	77	82
	0,017	27	3-30	4-40	58	80	83
	0,020	27	3-35	4-45	66	83	91
	0,025	27	3-35	4-45	66	84	95
	0,050	26	3-50	4-55	75	91	103

В дополнение следует отметить и возможную активацию азотнокислым кальцием сульфат-иона, содержащегося в традиционной добавке на помол портландцементного клинкера – гипсе. Соответственно сульфат-ион также может вовлекаться в процесс гидролиза нитридов железа, подобно реакциям (8) – (13), дополнительно интенсифицируя эмиссию аммиака на ранних сроках гидратационного твердения цементного камня. При этом следует ожидать и дополнительного выделения серосодержащих газов, что

целесообразно предусматривать в обеспечении соответствующей системы вентиляции на растворобетонных узлах и при выполнении опалубочных работ.

**Выводы из исследований и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении.** Теоретически обоснована возможность образования нитридов железа при получении портландцементного клинкера, которые могут быть источниками выделения аммиака из строительных материалов и конструкций, изготовленных с применением портландцемента.

Експериментально підтверджені результати досліджень С.П. Сивкова і І.С. Кудачевої о можливості гідролізу нітридів заліза в складі портландцементу і запропоновані механізми стадій розвитку процесів гідролізу в присутності малих концентрацій азотнокислого кальцію. Показана ефективність малих концентрацій  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  на ранню емісію аміаку з

цементного каменя, а також на формування гідрофобної і щільної мікроструктури, визначаючої підвищені фізико-механічні властивості. Самостійну наукову цінність мають результати по тетраедричній системі  $\text{Fe} - \text{C} - \text{N}_2 - \text{O}_2$  для прогнозування фазоутворення в чугунах і сталях при їх азотуванні і карбідизації.

### Список использованных источников

1. Sivkov, S.P. Ammonia emission from cement concretes [Text] / S.P. Sivkov, I.C. Kudysheva // 19 Internationale Baustofftagung, 16-18 September 2015, Tagungsbericht, Band 2, Weimar, Bundesrepublik Deutschland. – Weimar, 2015. – S. 973 – 977.
2. Bai, Z. Emission of ammonia from indoor concrete wall and assessment of human exposure [Text] / Z. Bai, Y. Dong, Z. Wang, T. Zhu // Environment International 32. – 2006. – № 3. – P. 303 – 311.
3. Металлургия стали [Текст] / В. И. Явойский, Ю. В. Кряковский, В.П. Григорьев и др. – М.: Металлургия, 1983. – 584 с.
4. Бережной, А. С. Многокомпонентные системы окислов [Текст] / А. С. Бережной. – К.: Наукова думка, 1970. – 544 с.
5. Логвинков, С. М. Твердофазные реакции обмена в технологии керамики: [Текст] монография / С. М. Логвинков. – Харьков: ХНЭУ, 2013. – 250 с.
6. Shabanova, G.N. Specific features of the subsolidus structure of the  $\text{BaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  system part. 1. Subsolidus structure of the  $\text{BaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  system at temperatures above 1381 K [Text] / G.N. Shabanova // Refractories and Industrial Ceramics. – 2003. – Vol. 44. – P. 254 – 259.
7. Wriedt, H.A. The Fe-N (Iron-Nitrogen) System [Text] / H.A. Wriedt, N.A. Gokcen, R.H. Nafziger // Bulletin of Alloy Phase Diagrams. – 1987. – Vol. 8, No. 4. – 355 p.
8. Методи випробування цементу. Ч. 3. Визначення строків тужавлення та рівномірності зміни об'єму [Текст] (EN 196-3:2007, IDT): ДСТУ EN 196-3:2007. – [Чинний від 2007-02-05]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 8 с. – (Національний стандарт України).
9. Изотов, В. С. Химические добавки для модификации бетона [Текст] / В. С. Изотов, Ю. А. Соколова. – М.: Палеотип, 2006. – 243 с.
10. Плугин, А. Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них [Текст]: в 3-х т. Т.2. Теория твердения портландцемента / А. Н. Плугин, А.А. Плугин, О.А. Калинин [и др.]; под ред. А.Н. Плугина. – К.: Наукова думка, 2012. – 224 с.

Шабанова Галина Миколаївна, доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник кафедри технології кераміки, вогнеупорів, скла і емалей Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»). Тел.: +38(057)707-60-51. E-mail: gala-shabanova@ukr.net.  
Логвинков Сергій Михайлович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології, екології та безпеки життєдіяльності Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця (ХНЕУ ім. С. Кузнеця). Тел.: +38(057)758-77-08. E-mail: smlogvinkov@yandex.ru.



Школьнікова Тетяна Василівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри загальної та неорганічної хімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»).  
Тел.: +38(057)707-68-20. E-mail: itg@ukr.net.

Шумейко Віта Миколаївна, молодший науковий співробітник кафедри технології кераміки, вогнеупорів, скла та емалей Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»).  
Тел.: +38(057)707-60-51. E-mail: shum-vita@ukr.net.

Shabanova Halyna Nikolaevna Doctor of Technical Sciences, Professor, chief researcher of the Department of the technology of ceramics, refractories, glass and enamels of National Technical University "Kharkiv Polytechnical Institute" (NTU "KhPI"). Ph.: +38(057)707-60-51. E-mail: gala-shabanova@ukr.net.

Logvinkov Sergii Mikhailovich Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the Department of technology, ecology and life safety of Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics (KhNEU named S. Kuznetsa). Ph.: +38(057)758-77-08. E-mail: smlogvinkov@yandex.ru.

Shkolnikova Tatiana Vasilevna Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of general and inorganic chemistry of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (NTU "KhPI"). Ph.: +38(057)707-68-20. E-mail: itg@ukr.net.

Shumejko Vita Nikolaevna junior researcher of the Department of the technology of ceramics, refractories, glass and enamels of National Technical University "Kharkiv Polytechnical Institute" (NTU "KhPI"). Ph.: +38(057)707-60-51. E-mail: shum-vita@ukr.net.

Стаття прийнята 24.06.2016 р.

УДК 624.015.5

## РОЗРАХУНОК ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН З УРАХУВАННЯМ ПОВНОЇ ДІАГРАМИ ДЕФОРМУВАННЯ БЕТОНУ

Кандидати техн. наук В. А. Кириченко, О. А. Крупченко, старш. викл. І. А. Юрко

## РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН С УЧЕТОМ ПОЛНОЙ ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА

Кандидаты техн. наук. В. А. Кириченко, А. А. Крупченко, старш. преп. И. А. Юрко

## CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS USING THE FULL DEFORMATION DIAGRAM CONCRETE

Assistant professor V. Kyrychenko, O. Krupchenko, senior lecturer I. Yurko

*У статті наведено методу розв'язання задачі міцності нормального перерізу стиснутої залізобетонної колони з використанням деформаційної моделі розрахунку, побудованої на повних діаграмах стану матеріалів. Як повні діаграми для бетону та арматури використані дробово-раціональна та дволінійна функції відповідно.*

*Наведена методика розрахунку міцності нормального перерізу позацентрово стиснутої залізобетонної колони може використовуватися в інженерних розрахунках.*

**Ключові слова:** залізобетонні конструкції, напружено-деформований стан, деформаційна модель, міцність.

*В статті приведена методика рішення задачі прочності нормального сечення стиснутої залізобетонної колони з використанням деформаційної моделі розрахунку, оснований на повних діаграмах стану матеріалів. В якості повних діаграм для бетону та арматури використані дробно-раціональна та двохлінійна функції.*

*Приведенная методика расчета прочности нормального сечения внецентренно сжатой железобетонной колонны может использоваться в инженерных расчетах.*

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, напряженно-деформированное состояние, деформационная модель, прочность.

*A method for solving the problem of the normal section of the compressed concrete strength column is shown. The authors used the deformation calculation model based on the complete diagrams of the materials. The rational and the two-line function used as complete diagrams for concrete and reinforcement. The case where a concentrated force applied to the eccentricity, which coincides with one of the axes of symmetry of the rectangular section tower, was considered.*

*The results of calculation of normal section strength were compared with the results obtained by the regulatory procedure DBN V.2.6-98: 2010. The discrepancy between the author's calculation methods and other data were 5% and 10%.*

*At each stage were obtained strength values, which are reflected graphically as dependency "section of effort - curvature" and "normal force - deformation of compressed concrete zone." The values of strength correspond to the maximum in the curve of compressed state of the element.*

*Given method of calculation strength of the normal section of reinforced concrete eccentric compression column can be used in engineering calculations.*

**Key words:** concrete structures, stress-strain state, deformation model strength.

**Вступ.** При розрахунках залізобетонних конструкцій часто використовуються емпіричні залежності та різні коефіцієнти, що призводить до викривлення дійсної картини роботи цих конструкцій у реальних умовах. Більшість бетонних і залізобетонних елементів працюють в умовах позацентрового стискування. Причиною його виникнення є конструктивні, технологічні чи експлуатаційні фактори. При проектуванні нових чи реконструкції існуючих будівель часто виникає потреба в наявності інженерної методики для виконання розрахунків цих елементів.

Останнім часом поряд з існуючими методиками розрахунку залізобетонних конструкцій широкого розповсюдження набувають методики, що ґрунтуються на реальних діаграмах деформування матеріалів з урахуванням характеру і тривалості дії навантаження [1 – 8, 10, 11]. Такий підхід дає змогу більш точно описувати не тільки граничний стан елемента, а й отримувати залежність розвитку деформацій зі збільшенням навантаження. Використання цих методик

дає можливість об'єктивніше враховувати фізичні особливості роботи матеріалів, а також точніше оцінювати напружено-деформований стан та міцність залізобетонних елементів. Основи такої моделі широко застосовуються в закордонній практиці, включені в міжнародні нормативні документи, впроваджуються в державні норми проектування залізобетонних і бетонних конструкцій [9].

**Огляд останніх досліджень і публікацій** показує, що у методиках, в основу яких покладено деформаційну модель, дослідниками вводяться різні гіпотези і обмеження, також для опису стану бетону використовуються різні функції (дробово-раціональна чи поліном п'ятого ступеня) [1, 2], все це впливає на кінцеві результати розрахунків.

**Формулювання мети статті.** Метою даної статті є адаптування методики розрахунків за деформаційною моделлю, розробленої в [3 – 4, 8, 10] для сталезалізобетонних конструкцій, до розрахунку залізобетонних колон (рис. 1).

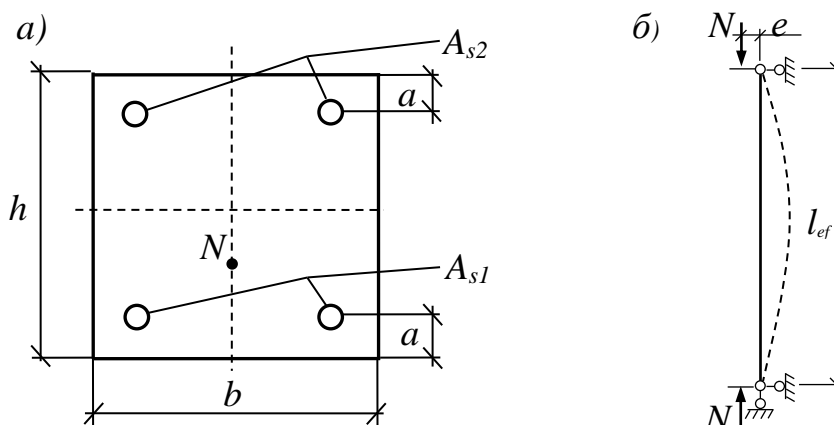


Рис. 1. Схема для розрахунку несучої здатності позациентрово стиснутих елементів:  
а – схема перерізу; б – розрахункова схема стержня

**Виклад основного матеріалу.** Для досягнення поставленої мети необхідно отримати повну залежність між параметрами деформування (це може бути прогин, радіус кривизни, деформації крайніх точок перерізу) та параметрами навантаження (величина зовнішнього навантаження на елемент чи внутрішнього зусилля в перерізі). Розв'язання прямої задачі (через задані зусилля знаходимо параметри деформування) не є ефективним через необхідність реалізації методу послідовних наближень для кожного ступеня навантаження. Тобто для кожного значення зусилля методом послідовних наближень доводиться шукати кривизну, причому у кожному послідовному наближенні необхідно визначити положення нульової лінії. Таким чином, маємо три вкладених цикли розрахунків для отримання повної залежності деформацій від зусиль. Вказана схема обчислень має ще один суттєвий недолік – таким чином неможливо отримати деформований стан на низхідній гілці діаграми. Навіть якщо таку можливість передбачити алгоритмом, то виникає неоднозначність розв'язку – одному значенню зусилля відповідає два можливих деформованих стани.

Більш ефективним є розв'язання зворотної задачі, де будь-які задані параметри деформування однозначно визначають внутрішні зусилля в перерізі. У цьому випадку необхідно задати кривизну, визначити методом послідовних наближень положення нульової лінії та провести прямий розрахунок внутрішніх сил без застосування алгоритму пошуку. Тут маємо вже не три, а тільки два вкладених цикли розрахунків для отримання повної залежності деформацій від зусиль.

У запропонованій методиці розрахунку використано діаграму стану бетону на стиск  $\sigma_c - \varepsilon_c$  (рис. 2) в такому вигляді:

$$\frac{\sigma_c}{f_{cd}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k - 2)\eta}, \quad (1)$$

де  $\eta$  – рівень деформації крайньої фібри,  $\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1,cd}$ ;

$k$  – коефіцієнт пружно-пластичних властивостей бетону,  $k = \frac{E_c \varepsilon_{c1,cd}}{f_{cd}}$ ;

$\varepsilon_{c1,cd}$  – деформації у вершині діаграми,  $\varepsilon_{c1,cd} = 0,0007 f_{cd}^{0,31}$ .

Для колон прямокутного перерізу (рис. 1) розмірами  $b = 300$  мм,  $h = 300$  мм; клас бетону С20/25 ( $f_{cd} = 14,5$  МПа,  $E_{cd} = 23,0$  ГПа)  $k$  становить 2,714.

Робота бетону описується тільки у зоні стиску, у зоні позитивних деформацій (у зоні розтягу) напруження відсутні.

При визначенні напружень в арматурі використовується діаграма Прандтля (рис. 3), тобто до настання деформацій, що відповідають границі текучості  $f_{yd}$ , напруження дорівнюють  $\sigma_r = E_r \varepsilon_r$ , у разі

переходу через межу текучості  $\sigma_r = f_{yd}$  як для додатних, так і для від'ємних деформацій.

Деформований стан перерізу при справедливості гіпотези плоских перерізів найкраще описувати положенням нульової лінії  $x_n$  та кривизною  $k_1 = \frac{1}{r}$ . Тоді процес деформування (наростання деформацій) можна моделювати збільшенням кривизни  $k_1$ .

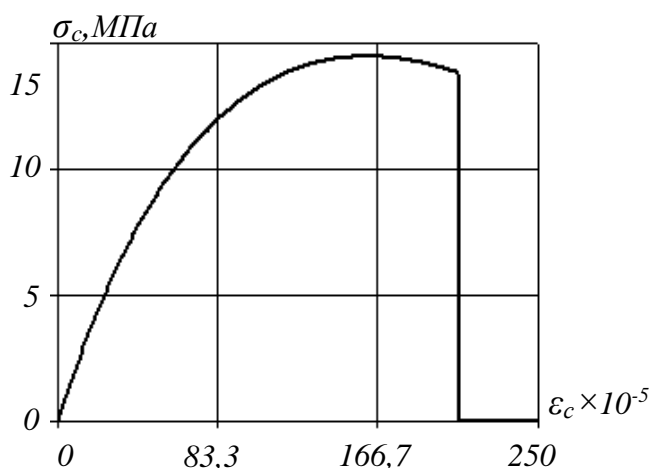


Рис. 2. Повна діаграма залежності  $\sigma_c$ - $\varepsilon_c$  стиснутого бетону

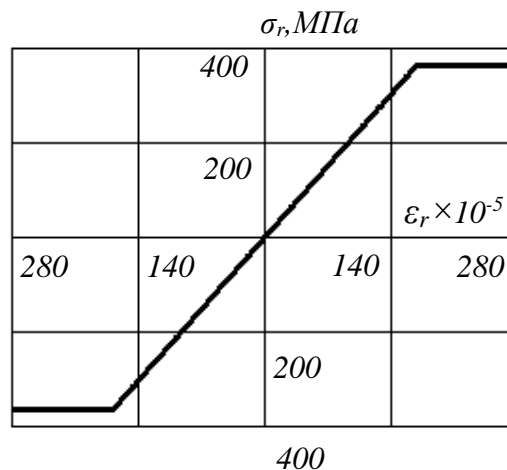


Рис. 3. Діаграма залежності  $\sigma_r$ - $\varepsilon_r$  сталевого елемента

Для визначення напружено-деформованого стану в нормальному перерізі використовується два рівняння рівноваги: сума проекцій усіх сил на поздовжню вісь конструкції та сума моментів відносно вибраної осі у перерізі конструкції, що перпендикулярна площині дії згинального моменту. Для складання цих рівнянь необхідно визначити внутрішні зусилля, які виникають в перерізі, для цього він розбивається на складові: бетонна складова, розтягнута арматура, стиснута арматура.

Внутрішнє зусилля – це інтеграл по площі від функції напружень, тоді:

$$N_c(\rho) = b \int_0^h \sigma_c(x \cdot \frac{1}{\rho}) dx; \quad (2)$$

$$N_{s1}(\rho) = 2s \int_{a-s/2}^{a+s/2} \sigma_{r1}(x \cdot \frac{1}{\rho}) dx; \quad (3)$$

$$N_{s2}(\rho) = 2s \int_{h-a-s/2}^{h-a+s/2} \sigma_{r2}(x \cdot \frac{1}{\rho}) dx, \quad (4)$$

де  $N_c, N_{s1}, N_{s2}$  – рівнодіючі, що виникають у бетоні, стиснутій та розтягнутій арматурі;

$\sigma_c, \sigma_{r1}, \sigma_{r2}$  – напруження, що виникають у бетоні, стиснутій та розтягнутій арматурі;

$$x \cdot \frac{1}{\rho} = \varepsilon \quad \text{– поздовжня відносна}$$

деформація на рівні координати  $x$  згідно з гіпотезою плоских перерізів;

$s$  – сторона квадрата, площа якого дорівнює площі арматури діаметром  $d$ .

Перше рівняння рівноваги  $\sum N_i = 0$  запишеться так:

$$N_c(\rho) + N_{s1}(\rho) + N_{s2}(\rho) - N = 0, \quad (5)$$

де  $N$  зовнішнє навантаження. Моменти, які здатна сприймати кожна із складових поперечного перерізу відносно вибраної осі, будуть мати вигляд:

$$M_c(\rho) = b \int_0^h \sigma_c(x \cdot \frac{1}{\rho}) x dx; \quad (6)$$

$$M_{s1}(\rho) = 2s \int_{a-s/2}^{a+s/2} \sigma_{r1}(x \cdot \frac{1}{\rho}) x dx; \quad (7)$$

$$M_{s2}(\rho) = 2s \int_{h-a-s/2}^{h-a+s/2} \sigma_{r2}(x \cdot \frac{1}{\rho}) x dx. \quad (8)$$

Друге рівняння рівноваги  $\sum M_i = 0$  запишеться так:

$$M_c(\rho) + M_{s1}(\rho) + M_{s2}(\rho) - M = 0, \quad (9)$$

де  $M$  – згинальний момент, що виникає від зовнішнього навантаження.

Далі, використовуючи додаткову умову  $M/N=e$ , виконується ітераційний пошук значення поздовжньої сили  $N$  при фіксованому значенні  $\rho$  (радіус кривизни стержня), в даному випадку необхідно, щоб положення рівнодіючої внутрішніх зусиль збігалось з положенням зовнішнього навантаження. Графік зміни поздовжньої сили від кривизни наведено на рис. 4.

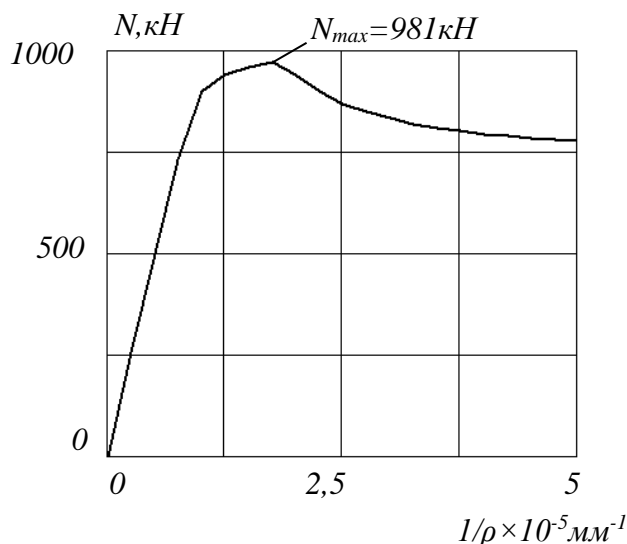


Рис. 4. Залежність поздовжньої сили від кривизни стержня

Для реалізації даної методики розроблена програма розрахунку на ПЕОМ

з використанням програми „MathCAD Professional”.

За запропонованою методикою була розрахована колона із поперечним перерізом, зображеним на рис. 1 ( $b = 300$  мм,  $h = 300$  мм; клас бетону С20/25,  $f_{cd} = 14,5$  МПа,  $E_{cd} = 23,0$  ГПа; арматура А400С,  $d = 16$  мм,  $f_{yd} = 364$  МПа, товщина захисного шару бетону  $a = 30$  мм,  $e = 60$  мм). Несуча здатність  $N_{max}$  склала 981 кН. Раніше дана колона розраховувалася за ДБН В.2.6-98: 2009 з використанням дробово-раціональної

функції –  $N_{max} = 988$  кН і з використанням поліноміальної діаграми стану бетону з уточненими значеннями коефіцієнтів –  $N_{max} = 967$  кН [9]

**Висновки.** Результати розрахунків дають змогу вважати, що запропонована методика за деформаційною моделлю з достатньою точністю відображає реальні дані щодо несучої здатності і може бути рекомендованою для розрахунку стиснутих залізобетонних елементів.

### Список використаних джерел

1. Павліков, А. М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косозавантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії [Текст]: [монографія] / А. М. Павліков. – Полтава: ПолтНТУ, 2007. – 259 с.
2. Роговой, С. И. Нелинейное деформирование в теории железобетона и расчет прочности нормальных сечений [Текст] / С. И. Роговой. – Полтава, 2002. – 183 с.
3. Стороженко, Л. І. Розрахунок згинальних сталезалізобетонних двотаврових елементів із залізобетонним верхнім поясом [Текст] / Л. І. Стороженко, В. А. Кириченко, О. А. Крупченко // Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація: зб. наук. пр. – К.: НДІБК, 2008. – Вип. 70. – С. 43 – 51.
4. Крупченко, О. А. Напружено-деформований стан та міцність сталезалізобетонних двотаврових балок із залізобетонним верхнім поясом [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / О. А. Крупченко. – Полтава: ПолтНТУ, 2008. – 197 с.
5. Takeuti, A. R. Strength and Ductility of Reinforced Strength Concrete Columns Strengthened with High-Performance Concrete Jackets [Text] / A. R. Takeuti, J. V. de Hanai // 5-th Int. Symp. On Utilization of HS/HP Concrete. 20 – 24 June 1999, Sandefjord, Norway. Proceedings, Vol. 2. – pp. 646 – 655.
6. Сколибог, О. В. Сталезалізобетонні балки із зовнішнім листовим армуванням [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / О. В. Сколибог. – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – 193 с.
7. Павліков, А. М. Розв'язання задач міцності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів у нормальному перерізі на основі нелінійної діаграми стану бетону [Текст] / А. М. Павліков, П. А. Юрко // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – Вип.1(29). – С. 61-65.
8. Розрахунок стиснутих елементів зі сталевих двотаврів із боковими порожнинами, заповненими бетоном з використанням повної діаграми деформування бетону [Текст] / Л. І. Стороженко, В. А. Кириченко, О. А. Крупченко, О. І. Лапенко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГтаП, 2011. – Вип. 21. – С. 353-359.
9. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення [Текст]: ДБН В.2.6-98:2009; [чинні від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, Державне підприємство «Украрчбудінформ», 2011. – 71 с. – (Державні будівельні норми).
10. Yurko, P.A. Strength calculation of normal section eccentrically compressed reinforced concrete column using deformation model [Text] / Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во) / Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – Вип.3 (34). – С. 90-95.

11. De Luca, A. Behavior of Full-Scale Glass Fiber-Reinforced Polymer Reinforced Concrete Columns under Axial Load [Text] / A. De Luca, F. Matta, A. Nanni // ACI Journal. – 2010. – P. 589-596.

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

---

Кириченко Володимир Анатолійович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.  
E-mail: buddekanat@yandex.ru.

Крупченко Олександр Анатолійович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.  
Тел. 0958138467. E-mail: Gasent@mail.ru.

Юрко Ілона Анатоліївна, старший викладач кафедри технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. E-mail: Ilona.yurko@yandex.ua.

Kyrychenko Volodymyr, associate professor of department of reinforced-concrete and stone constructions and resistance of materials of the Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. E-mail: buddekanat@yandex.ru.

Krupchenko Oleksandr, associate professor of department of reinforced-concrete and stone constructions and resistance of materials of the Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. E-mail: Gasent@mail.ru.

Ilona Yurko, senior lecturer of department of technology of building structures, products and materials of the Poltava National Technical University. E-mail: Ilona.yurko@yandex.ua.

Стаття прийнята 24.06.2016 р.

**УДК 656.025.4:656.22**

### **УДОСКОНАЛЕННЯ ВАНТАЖНОЇ І КОМЕРЦІЙНОЇ РОБОТИ РЕГІОНАЛЬНИХ ФІЛІЙ В УМОВАХ СТВОРЕННЯ ПАТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ»**

**Кандидати техн. наук В. М. Запара, Я. В. Запара,  
магістранти А. Л. Торгонська, М. М. Калин, П. І. Яременко**

### **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГРУЗОВОЙ И КОММЕРЧЕСКОЙ РАБОТЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ ФИЛИАЛОВ В УСЛОВИЯХ СОЗДАНИЯ ПАО «УКРЗАЛИЗНЫЦЯ»**

**Кандидаты техн. наук В. М. Запара, Я. В. Запара,  
магистранты А. Л. Торгонская, М. М. Калин, П. И. Яременко**

### **IMPROVEMENT OF THE FREIGHT AND COMMERCIAL WORK IN THE REGIONAL BRANCHES DURING THE PJSC "UZ" CREATION**

**Candidates of techn. sciences V. Zapara, Y. Zapara,  
master student A. Torhonska, M. Kalin, P. Yaremenko**

*Проведено аналіз сучасного стану розвитку вантажних перевезень в Україні в умовах конкурентного середовища та реформування галузі. Досліджені основні показники роботи регіональних філій. Розроблено функціональну структурну схему ефективної реалізації вантажної і комерційної роботи філій. Обґрунтовані основні завдання, зокрема в частині технологічної політики, вантажних перевезень, безпеки руху, сервісу та якості обслуговування клієнтів.*

**Ключові слова:** вантажні перевезення, комерційна робота, реформування, інфраструктура, конкурентність, показники роботи.

*Произведен анализ современного состояния проблем грузовых перевозок в Украине в условиях конкурентной среды и реформирования отрасли. Исследованы основные показатели работы региональных филиалов. Разработана функциональная структурная схема эффективной реализации грузовой и коммерческой работы филиалов. Обоснованы основные задачи, в частности относительно технологической политики, грузовых перевозок, безопасности движения, сервиса и качества обслуживания клиентов.*

**Ключевые слова:** грузовые перевозки, коммерческая работа, реформирования, инфраструктура, конкуренция, показатели работы.

*The analysis of the current state of transportation problems in Ukraine in a competitive environment and reform. The basic performance of regional branches. The functional block diagram of efficient implementation of cargo and commercial branches.*

*The main tasks of the organization structure should be in the field of provision of transportation, efficient use of railway infrastructure of common use, providing the most promising information services using the latest technology. Reasonable major problem, particularly in terms of technology policy, transportation, safety, service and quality customer service.*

*Pressing issue is the development of transportation as the main direction of profitability of the industry who are in a difficult position. This caused a number of problems, connected with the operation of transportation. The main constraints of transportation include: depreciation of infrastructure deficit and depreciation of rolling stock, limited financial resources, the inadequacy of the organizational structure of railway transport European and world standartam. Rozrobleno number of proposals to create a more attractive rail transport and improve its competitiveness in the freight market .*

**Keywords:** freight transportation, commercial work, reform, infrastructure, competitiveness, performance.

**Вступ.** На даний момент на залізницях України відбуваються корінні структурні зміни, які пов'язані зі створенням на залізничному транспорті конкурентної моделі залізничних перевезень. Для створення на залізничному транспорті ринкових відносин та сприятливого середовища необхідне прийняття принципових рішень на державному рівні щодо удосконалення структури, методів та принципів управління залізничним транспортом. Актуальним питанням є розвиток вантажних перевезень, як основного напрямку прибутковості галузі, яка знаходиться в складному стані. Це спричинено виникненням низки проблем, пов'язаних з функціонуванням вантажних перевезень. До основних стримуючих

факторів розвитку вантажних перевезень належать: зношеність інфраструктури, дефіцит та зношеність рухомого складу, обмеженість матеріальних ресурсів, невідповідність організаційної структури залізничного транспорту європейським та світовим стандартам. Все це спонукає до розробки заходів щодо ефективної організації вантажних перевезень на залізничному транспорті в умовах конкурентного середовища. Процеси реформування залізничної транспортної галузі України повинні включати в себе не тільки перевезення, але і організацію комплексного обслуговування для задоволення потреб клієнтів за рахунок надання якісного обслуговування, додаткових послуг з використанням гнучких тарифів.



Підвищення ефективності роботи залізниць певною мірою залежить від стану транспортної інфраструктури, що включає в себе колії загального та незагального користування, рухомий склад, вантажно – розвантажувальне господарство транспортних та інших підприємств і організацій, які здійснюють навантаження, розвантаження і перевалку вантажів, а також засоби управління і зв'язку, різні види технічного обладнання. Слід відзначити, що на даному етапі залізничний транспорт знаходиться в незадовільному стані, саме тому потребує модернізації аби в подальшому задовольняти потреби держави і суспільства в транспортних перевезеннях. Пріоритетним напрямком капітальних інвестицій ПАТ «Укрзалізниця» є модернізація інфраструктури; оновлення рухомого складу, залізничних колій, штучних споруд тощо. Крім того особливої уваги потребує перегляд функціонування вантажних перевезень, створення чітких і прозорих вертикалей в управлінні вантажними перевезеннями та інфраструктурою.

Згідно зі статистичними даними [1], перевезення вантажів всіма видами транспорту України за минулий 2015 рік виконано в обсязі – 601 млн тонн, зі зниженням на 10,5 % порівняно з 2014 р. Вантажообіг зменшився на 6 % – до 315 млрд ткм. Все це на фоні того, що в 2014 році обсяг перевезення зменшився на 10 % при зниженні вантажообігу на 11 %. В 2015 році суттєвий спад відбувся на залізничному транспорті, який забезпечує 60 % від всього обсягу вантажних перевезень. Падіння обсягу перевезень в залізничному сегменті склало 9,4 % (до 350 млн тонн); вантажообіг знизився на 7,5 % (до 194 млрд ткм). В січні – лютому 2016 року залізничним транспортом було перевезено у внутрішньому сполученні і на експорт 41,0 млн тонн вантажів, що на 2,1 % менше, ніж в січні-лютому 2015 року, обсяг перевезених вантажів за кордон

зменшився на 17,7 % порівняно з січнем – лютом 2015 року .

Якщо оцінювати показники експлуатаційної роботи [2], зокрема використання локомотивного і вагонного парку, то середньодобовий пробіг локомотива за перше півріччя 2016 року склав 495 км, що на 17,9 % перевищує плановий рівень і на 16,7 % – минулорічні показники. Середньодобова продуктивність локомотива виконана на рівні 1311 тис. ткм бруто, що на 26,1 % більше плану і на 26,3 % - рівня 2015 року. Середня вага вантажного поїзда складає 3519 т – це на 5,4 % більше, ніж заплановано, і на 6,5 % перевищує минулорічні дані. Всі ці аспекти обумовлюють необхідність в подальшому удосконалення роботи, підвищення надійності, оперативності та ефективності роботи залізничного транспорту і підприємств у сфері вантажних перевезень з метою розвитку транспортного сектора економіки.

Залізничний транспорт забезпечує більше 60 % вантажних перевезень та щорічно поповнює на 12-13 млрд грн бюджети різних рівнів, в першу чергу за рахунок вантажних перевезень. Разом з тим, капітальні інвестиції в розвиток залізничного транспорту знизились, а інтенсивність використання інфраструктури і локомотивів суттєво збільшилась, що посилює знос основних фондів. Труднощі роботи залізничного транспорту полягають у тому, що 70 % мережі залізниць позбавлені прибутковості, що призводить до заборгованості з оплати перевезень та оренди рухомого складу. Через брак коштів і різке зростання вартості виробництва нового і ремонту наявного рухомого складу на залізничному транспорті виникають ускладнення щодо задоволення заявок клієнтів на виділення рухомого складу для перевезення вантажів. Відповідна задача потребує вирішення шляхом зміни підходів до тарифоутворення в сегменті вантажних перевезень та підвищення ефективності використання

рухомого складу. Таким чином, зниження витрат на перевезення дасть можливість пропонувати вантажовідправникам більш вигідні умови для перевезення за рахунок зниження обігу вагонів, підвищення швидкості руху та збільшення маси вантажних поїздів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процеси реформування галузі, корпоратизації та приватизації в різних аспектах розглядали вітчизняні вчені Бутько Т.В., Дейнека О.Г., Дикань В.В., Запара В.М., Ломотько Д.В. [3-7] та ін. Аналізуючи зарубіжний досвід реформування системи залізничного транспорту, слід відмітити наукові роботи вчених Kateryna Grushevska, Chris A. Nash, Russell Pittman [8-10] та ін.

Основною причиною необхідності проведення кардинальних змін у країнах Європи став різкий спад пасажирських та вантажних перевезень і невпинне погіршення економічного стану, незважаючи на фінансову підтримку з боку держави. Моделі реформування та управління залізничним транспортом, незважаючи на все їхнє різноманіття, можна розділити на два основних типи: «європейську модель» реформування та «американську». «Європейську модель» реформування умовно можна розділити на чотири різновиди: французьку, шведську, німецьку та англійську. Зокрема передумовами реформування залізничного транспорту Німеччини стало різке скорочення пасажирських перевезень залізничним транспортом, за винятком швидкісних, що стосується вантажних перевезень, то – вантажообіг скоротився на 30 %, заборгованість залізниці зросла на 134 млрд євро; відбулося прогресуюче зниження норми прибутку та інвестицій у високошвидкісні лінії; не було стимулів для інвестицій з боку приватного капіталу.

У процесі реформування залізничного транспорту Німеччини було вирішено такі питання: списання боргів із залізниць; інвестиції в нову інфраструктуру; суттєве

посилення комерціалізації використання інфраструктури; прийняття на себе державою витрат з утримання персоналу та ліквідації забруднення навколишнього середовища, спричиненого діяльністю залізниць; відновлення рухомого складу; функції контролю; розробка стандартів безпеки.

Недостатньо уваги у роботах вчених було приділено питанням створення ефективної структури функціонування вантажних перевезень на залізничному транспорті України з урахуванням існуючих європейських і світових тенденцій. Позитивну динаміку виходу на новий якісний рівень продемонстрували залізниці Німеччини, Франції, Росії та Польщі. Тому враховуючи досвід зазначених країн з урахуванням складної ситуації на ринку вантажних перевезень України, європейська модель дозволить зробити залізничний транспорт більш ефективним та конкурентоспроможним.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою роботи є розробка пропозицій щодо удосконалення вантажної і комерційної роботи залізничного транспорту, які дозволять вивести вантажні перевезення на якісно новий рівень. Задача дослідження полягає в пошуку ефективних рішень щодо організації вантажних перевезень, результатом яких стане покращення показників роботи залізничного транспорту та підвищення конкурентної привабливості галузі.

**Основна частина дослідження.** В теперішній час залізничний транспорт в основному задовольняє потреби суспільного виробництва та населення у перевезеннях. Проте стан виробничо – технічної бази залізниць і технологічний рівень перевезень за багатьма параметрами не відповідає зростаючим потребам суспільства та європейським стандартам якості надання транспортних послуг, що найближчим часом може стати перешкодою для подальшого соціально – економічного розвитку держави. Парк

вантажних вагонів знаходиться в жахливому стані. Протягом наступних двох – чотирьох років ПАТ «Укрзалізниця» планується списання більш як 50 % інвентарного парку вантажних вагонів. Це майже 50 тис. одиниць техніки, яка непридатна і не підлягає відновленню. Станом на 2015 рік весь парк вантажних вагонів в Україні складає 202 тис. одиниць, із них 116 тис. належать ПАТ «Укрзалізниця», 86 тис. – приватним операторам.

Оновлення парку рухомого складу – пріоритетне завдання на наступні роки. Крім того, внаслідок дефіциту коштів темпи старіння локомотивного парку залізниць України значно перевищують темпи придбання нових сучасних зразків тягового рухомого складу. На залізниці існує дефіцит якісного рухомого складу, отже, для того, щоб державні вагони користувались більшим попитом та мали змогу конкурувати на ринку транспортних послуг, необхідно встановлення прозорого тарифу, застосування додаткових коштів для реінвестування рухомого складу, удосконалення технології обробки вагонів у вантажовідправників і вантажоодержувачів. Мотивація таких технологій можлива за рахунок надання ексклюзивних тарифів, якісного обслуговування, надання додаткових послуг. Шляхом ефективної реалізації запчастин вагонів, що підпадають під списання, в Укрзалізниці з'являться додаткові кошти, які будуть направлені на часткове відновлення рухомого складу [11]. В порівнянні з 2015 роком була запланована закупівля 1,7 тис. вантажних вагонів, порівняно з 2014 роком, коли ПАТ «Укрзалізниця» вдалося закупити менше 200 вагонів. В тому числі планується закупівля 1,1 тис. напіввагонів, найбільш зношеної номенклатури, на суму 875 млн грн – на 10 % нижче вартості напіввагона, також придбання 270 вантажних вагонів за рахунок власних коштів ПАТ «Укрзалізниця».

Враховуючи складну ситуацію на ринку вантажних перевезень України, економічний спад, нестабільну політичну ситуацію, події на сході країни, зменшення обсягів перевезень, постала необхідність у більш детальному вивченні та дослідженні даних питань. Однак і в такій непростій ситуації сучасні (а в деяких випадках – інноваційні) підходи в окремих філіях вказують на значні резерви покращення діяльності. Так, за даними [12], за перше півріччя 2016 р. регіональна філія «Південна залізниця» виконала план з навантаження на 144,19 %. Таким чином, при установленому плані 1 млн 595 тис. т фактично було завантажено 2 млн 299,82 тис. т вантажів. При цьому за два місяці 2016 року вивантажено 3 млн 871,2 тис. т, що на 645,0 тис. т менше, ніж за аналогічний період 2015 р. (рис. 1).

У зв'язку з досить великою зношеністю рухомого складу, яка сягає 90 %, погіршенням стану інфраструктури виникає необхідність у відновленні інфраструктури. Окрім проведення капітальних ремонтів необхідна також і комплексна модернізація із встановленням нового обладнання, систем управління. На сьогодні 30 % вагонів, які надходять з вантажем, є непридатними для подальшого навантаження. Це пов'язано з тим, що майже чверть інвентарного парку вагонів – іновагони. Зважаючи на гострий дефіцит рухомого складу та деяке зростання обсягів економіки, ПАТ «Укрзалізниця» постійно вживає заходів для скорочення обігу вагона. В 2015 році регіональною філією «Південна залізниця» перевезено 31705,4 тис. тонн вантажів, що на 1,3 % більше за відповідний період минулого року. Вантажообіг склав 33,6 млн ткм, що на 6,0 % більше порівняно з 2014 роком. Так, за перше півріччя 2016 року на регіональній філії обіг вагона у порівнянні з відповідним періодом минулого року знизився на 9,8 %. Зросли показники експлуатаційної роботи, зокрема середньодобовий пробіг локомотива за

перше півріччя 2016 року склав 1495 км, що на 17,9 % перевищує плановий рівень і на 16,7 % – минулорічні показники, середня дільнична швидкість локомотива склала 38 км/год (+4,1 % до плану), середня технічна швидкість – 44,3 км/год (+3,7 % до плану). Цього досягнуто, перш за все, за рахунок удосконалення експлуатаційної роботи залізниць, зокрема скорочення простоїв вагонів на технічних станціях і підвищення швидкості руху поїздів, але спостерігається нестабільність виконання

показників роботи, зокрема в частини вагонів, які знаходяться на станціях та під'їзних коліях підприємства, існує потреба в модернізації перевантажувального обладнання і технічного переозброєння підприємств [13]. Зміни вантажообігу регіональної філії за січень – квітень 2016 року за видами перевезень наведені на (рис. 2). В цілому зміну вантажообігу ПАТ «Укрзалізниця» за 2011-2015 роки та чотири місяці 2016 року наведено на (рис. 3).

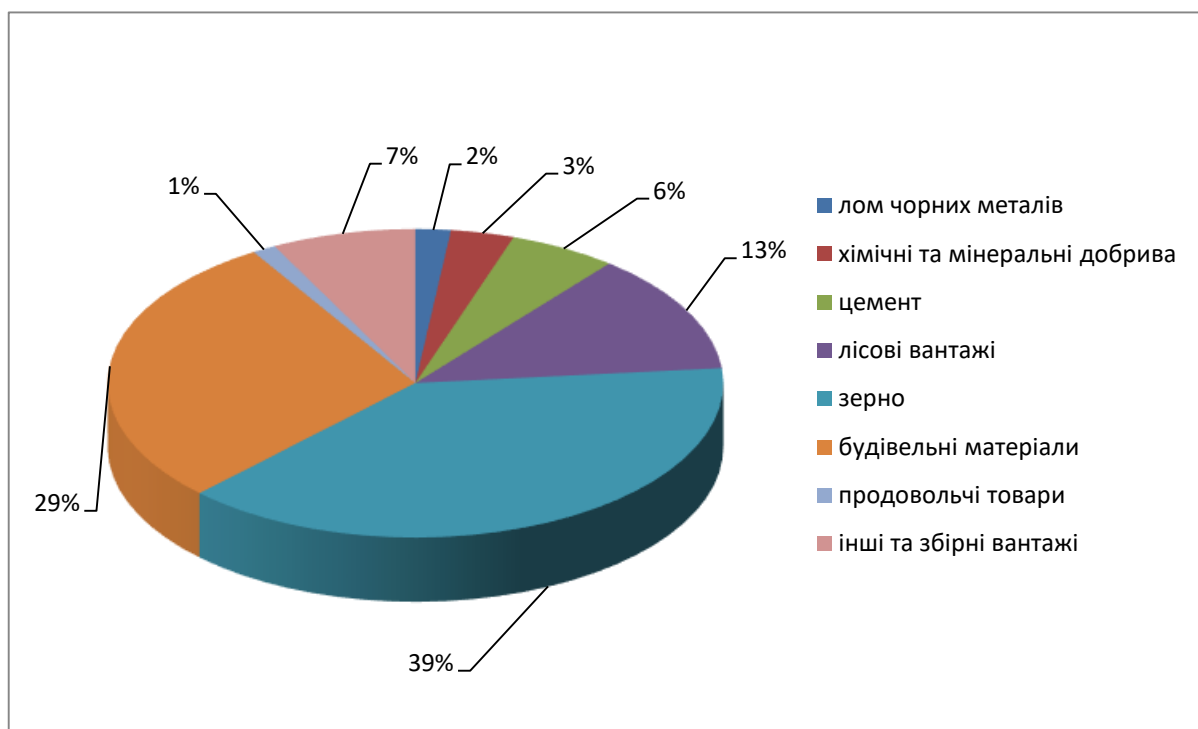


Рис. 1. Структура відправлення вантажів регіональною філією «Південна залізниця» за перше півріччя 2016 р.

Недостатня прозорість діяльності ПАТ «Укрзалізниця» та геополітична ситуація знижує її конкурентоспроможність у сфері транзитних перевезень вантажів. За результатами 2015 року транзит по мережі залізниць України знизився на 18 % ; в 2014 спад складав 13 %. Для прикладу наведені останні дані щодо вантажообігу регіональної філії «Південна залізниця» в розрізі видів сполучення (рис. 4).

Через те, що транзитний потенціал залізниць держави використовується недостатньо, існує загроза втрати транзитних вантажопотоків в цілому. Однією з причин є порівняно високий рівень тарифних ставок. Залучення додаткового обсягу транзитних вантажів на залізничному транспорті можливе за рахунок покращення умов транзиту шляхом внесення змін до рівня транзитних тарифів для контейнерних перевезень по

мережі залізниць України, крім того, для деяких вантажів у сполученні Україна – Китай/Середня Азія введення додаткових знижок – 25 або 40 % до повного тарифу (в

залежності від вантажної номенклатури). Це дасть змогу певним чином розширити можливості вантажовласників і інших учасників ринку залізничних перевезень.

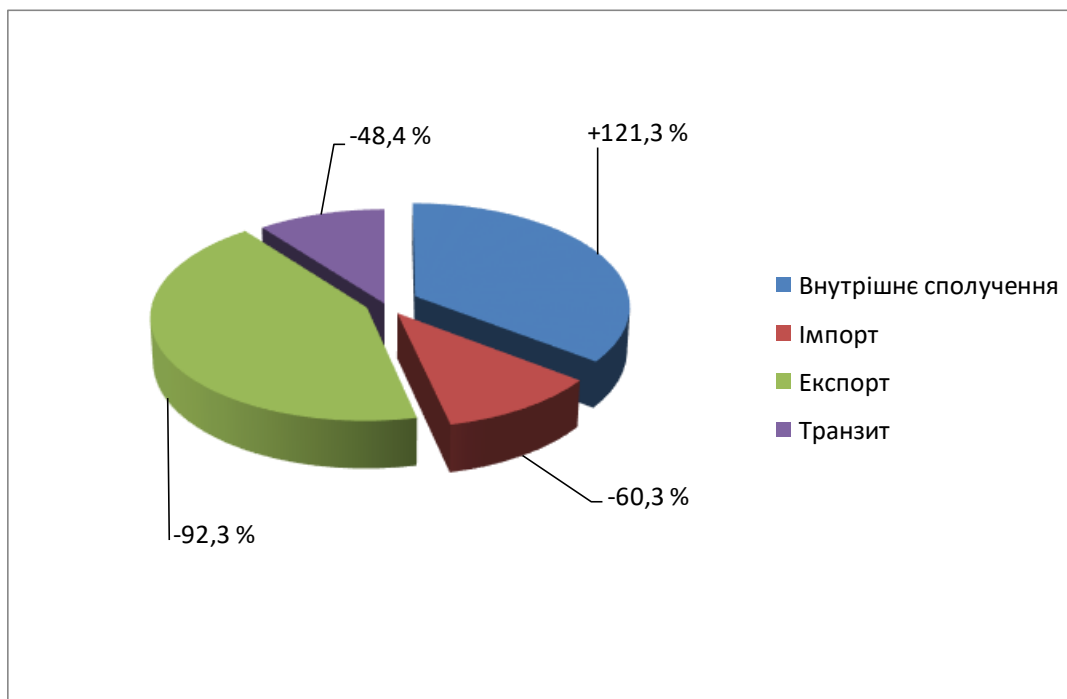


Рис. 2. Зміни вантажообігу за січень – квітень 2016 р. за видами перевезень регіональної філії «Південна залізниця»

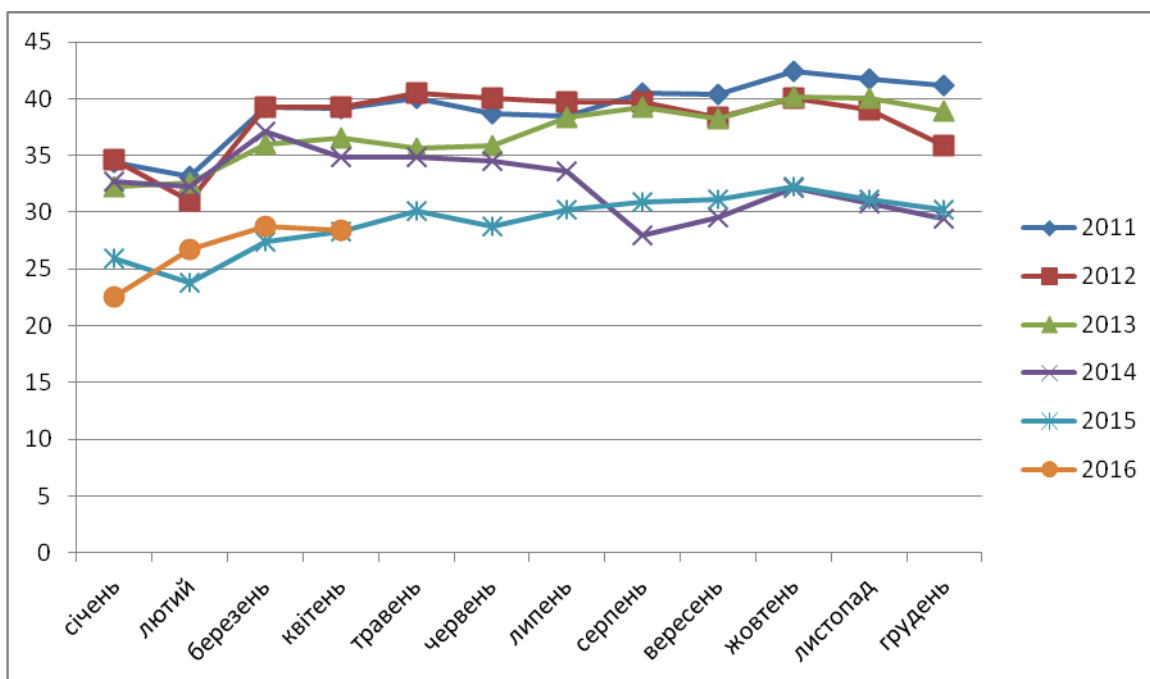


Рис. 3. Загальний обсяг перевезень за період 2011 – 2015 рр. та за січень – квітень 2016 р., млрд ткм

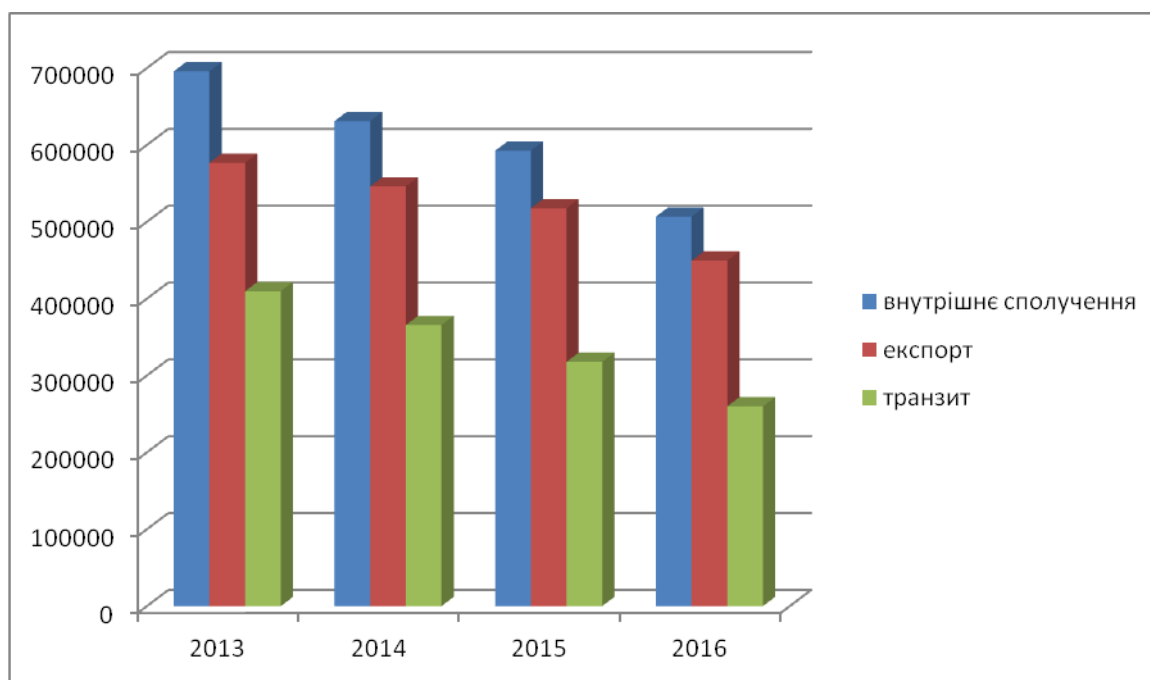


Рис. 4. Гістограма обсягів вантажообігу регіональної філії «Південна залізниця» за січень – квітень з 2013 по 2016 рр., млн ткм

Таким чином, можливо підвищити конкурентоспроможність залізниць на ринку транзиту. На сьогодні максимальний розмір знижок, ініційований учасниками ринку, обмежений 30 %, цей діапазон можна розширити до 50 % [13,14]. Обґрунтовується це тим, що собівартість перевезення транзитних вантажів менша в порівнянні з іншими видами сполучення (використовуються, як правило, транспортні коридори, електрифіковані лінії, вантажопотік більш організований (як правило, групові та маршрутні відправки), тобто менші витрати на переробку на шляху прямування; рухомий склад більш якісний).

На сьогодні залізниці програють конкуренцію автотранспорту, особливо на коротких відстанях. Вважаємо за доцільне для створення конкуренції з автотранспортом на короткі відстані (до 500 км) уніфікувати базові ставки тарифних схем 1 і 2 Збірника тарифів №1, тобто базові ставки на відстані від 10 до 500 км

зменшити відповідно від 30 до 1 %, а на відстані більше 500 км – збільшити до 17%.

Збитковість пасажирських перевезень негативно впливає на загальний стан залізничної галузі. Потребує нагального вирішення питання організації приміського сполучення, де збитки сягають 80%. Вважаємо, що в процесі децентралізації бюджету, підвищення ролі місцевих бюджетів залізничники вправі розраховувати на плідну співпрацю з місцевими органами щодо компенсації збитковості приміського сполучення. На жаль, розуміння співпраці від органів місцевого самоврядування відсутнє (в тому числі і на території регіональної філії «Південна залізниця»), що перекладає вирішення питань беззбитковості соціальних перевезень лише на ПАТ «Укрзалізниця», не дозволяє при цьому відмовитись від перехресного субсидювання.

В цілому напрямки підвищення ефективності вантажної і комерційної роботи за напрямками реалізації наведено на (рис. 5).

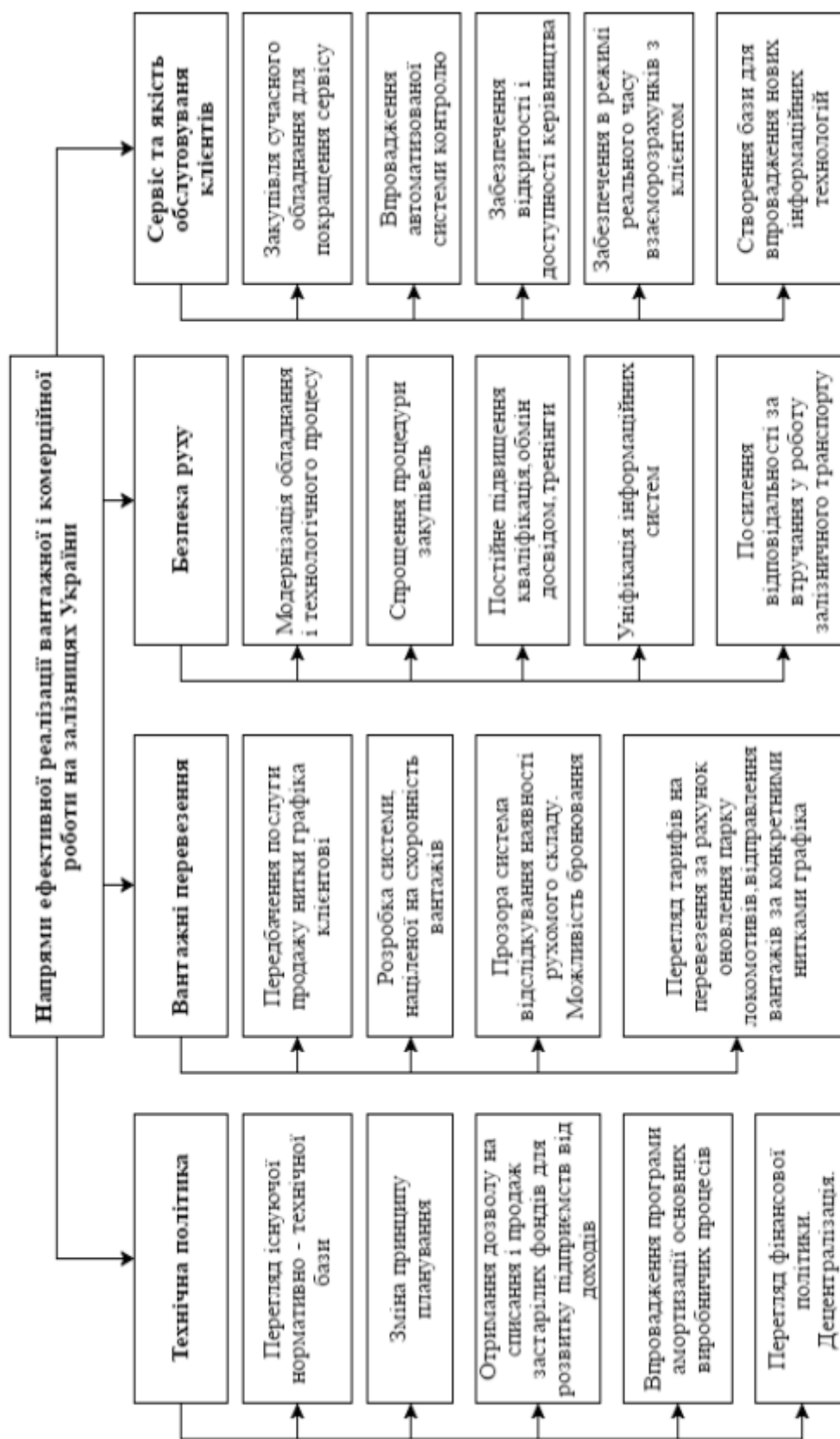


Рис. 5. Напрями ефективної реалізації вантажної та комерційної роботи на залізницях України

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Проведено аналіз стану вантажних перевезень на залізничному транспорті, сформовано комплексні пропозиції реалізації вантажної і комерційної роботи в умовах реформування галузі. На основі аналізу сучасних проблем функціонування залізничного транспорту в умовах конкуренції визначено основні фактори впливу, що дозволило запропонувати підходи щодо удосконалення тарифної політики, забезпечення прозорого ціноутворення у конкурентних секторах

ринку транспортних послуг. Розроблено ряд пропозицій щодо створення більшої привабливості залізничного транспорту та підвищення рівня його конкурентоспроможності на ринку вантажних перевезень, де особливе значення має приділятися організації комплексного обслуговування для задоволення клієнтів за рахунок надання ексклюзивних тарифів, якісного обслуговування, надання додаткових послуг. При цьому вирішення питань повинно базуватись на комплексному підході та з урахуванням зацікавленості всіх учасників перевізного процесу.

### *Список використаних джерел*

1. Навантаження та вивантаження вантажів регіональною філією «Південна залізниця» на початок поточного року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.magistral-uz.com.ua](http://www.magistral-uz.com.ua). – Загол. з екрана.
2. Показники експлуатаційної роботи використання локомотивного та вагонного парку магістралі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://interfax.az/view/672579>. – Загол. з екрана.
3. Бутько, Т. В. Наукові підходи удосконалення технології вантажних перевезень з урахуванням конкурентного середовища [Текст] / Т. В. Бутько, О. Е. Шандер // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2013. – № 33. – С.57-60.
4. Дейнека, О. Г. Реформування залізничного транспорту України в контексті світового досвіду [Текст] / О. Г. Дейнека, А. Р. Божок // Вісник економіки транспорту і промисловості: зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – №29.– С. 213-217.
5. Lomotko, D.V. Methodological Aspect of the Logistics Technologies Formation in Reforming Processes on the Railways [Text] / D.V. Lomotko, E.S. Alyoshinsky, G.G. Zambrybor // Transportation Research Procedia. Volume 14, 2016, P. 2762-2766.
6. Запара, В. М. Використання сучасних підходів співпраці при взаємодії станції примикання і під'їзних колій підприємств [Текст] / В. М. Запара, М. І. Вітенко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 146. – С.13-17.
7. Ломотько, Д. В. Удосконалення функціонування автоматизованої системи розподілу транспортних ресурсів на Харківській дирекції залізничних перевезень [Текст] / Д. В. Ломотько, А. О. Ковальов, О. В. Ковальова // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 137. – С. 5-10.
8. Grushevska, Kateryna. Institutional rail reform: The case of Ukrainian Railways [Text] / Kateryna Grushevska, Theo Notteboom, Andrii Shkliar // Transport Policy. Volume 46, February 2016, P. 7–19.
9. Nash, Chris A. Structural reforms in the railways: Incentive misalignment and cost implications [Text] / Chris A. Nash, Andrew S.J. Smith, Didier van de Velde, Fumitoshi Mizutani, Shuji Uranishi // Research in Transportation Economics. Volume 48, December 2014, P. 16–23.



10. Pittman, Russell. The freight railways of the former Soviet Union, twenty years on: Reforms lose steam [Text] / Russell Pittman // Research in Transportation Business & Management. Volume 6, April 2013, P. 99–115.

11. Модернізація інфраструктури і рухомого складу – пріоритетне направлення капітальних інвестицій ПАТ «Укрзалізниця» на 2016 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rzd-partner.ru/ukrzaliznytsia--investusia v ruchomuj sklad/>. – Загол. з екрана.

12. Відновлення показників вантажної та пасажирської загрузки «Укрзалізницею» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rzd-partner.ru/news/transportnaia-logistika/ukrzaliznytsia--vosstanavlivaet-gruzovuiu-i-passazhirskuiu-zagruzku/>. – Загол. з екрана.

13. Експорт послуг ПАТ «Укрзалізниця» на початок 2016 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rzd-partner.ru/news/zheleznodorozhnye-gruzoperevozki/ iekspport-uslug--ukrzaliznytsi--s-nachala-goda-upal-na-tret/>. – Загол. з екрана.

14. Лаврухін, О. В. Транзитні вантажопотоки залізницями України в умовах інтеграції до Європейського Союзу [Текст] / О. В. Лаврухін, О. М. Костенніков, Г. О. Ковальова [та ін.] // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 146. – С. 46-49.

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

---

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

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

Торгонська Анжела Леонідівна, магістрант кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: y.zapara@gmail.com.

Калин Марія Михайлівна, магістрант кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: kalun.m.m@meta.ua.

Яременко Петро Іванович, магістрант кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: v.yaremenko@gmail.com.

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

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

Torhonska Anzhela, master department of trucks and commercial work Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: y.zapara@gmail.com.

Kalin Maria, master department of trucks and commercial work Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: kalun.m.m@meta.ua.

Yaremenko Petro, master department of trucks and commercial work Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: v.yaremenko@gmail.com.

Стаття прийнята 24.06.2016 р.

УДК 649.42

## ОЦІНКА ПРИДАТНОСТІ СТАНУ ЛОКОМОТИВІВ У ПЕРІОД ПОНАДНОРМАТИВНОГО ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

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

## ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ СОСТОЯНИЯ ЛОКОМОТИВОВ В ПЕРИОД СВЕРХНОРМАТИВНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

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

## STATE OF CONFORMITY ASSESSMENT PERIOD LOCOMOTIVES IN EXCESS OF REGULATORY LIFETIME

Doctor of technical sciences A. S. Krashenin, N. N. Odegov

*У статті розглядаються питання визначення чинників, що впливають на забезпечення надійності і ефективності тягового рухомого складу за період його понаднормативної експлуатації.*

**Ключові слова:** тяговий рухомий склад (ТРС), система утримання ТРС.

*В статье рассматриваются вопросы определения факторов, влияющих на обеспечение надежности и эффективности тягового подвижного состава за период его сверхнормативной эксплуатации.*

**Ключевые слова:** тяговой подвижной состав (ТПС), система содержания ТПС.

*The moral and physical deterioration of traction rolling stock can lead to serious negative consequences in all areas of management of the railways.*

*In our country, as in some European countries, launched the reform of the railways and, in particular, the railway sector, which should contribute to providing impetus to the industry. It is clear that the deployment of this process will be accompanied by possible errors and losses. Note that in this sense need informed and cautious measures, based on achievements, experience and scientific narobkah scientists. Intended applications before development of the industry should not stand alone or completely ignored. In addition we must consider that instantly solve the problem of increasing the efficiency of railways impossible. In terms of a scientific approach involves problem solving Factors affecting the life of existing appropriate traction rolling stock if necessary, upgrade, or its rate of renewal.*

*The spectrum of research includes search solutions optimize maintenance repair locomotives within the maintenance; place and role in the diagnosis of maintenance, maintenance; cycling and frequency of maintenance, maintenance; problems lifecycle traction rolling stock.*

**Keywords:** traction rolling stock, system maintenance traction rolling stock.

**Вступ.** Технічний стан ТРС залізниць України характеризується значним погіршенням всіх складових його ефективності і досягненням критичної межі. Обмеженість в усіх видах ресурсів не дозволяє проводити в повному обсязі

необхідні кроки щодо виправлення цієї ситуації. Як показує практика, потрібні науково і практично обгрунтовані заходи, що спроможні забезпечувати підтримання необхідного рівня надійності і ефективності використання ТРС. Це ставить

актуальним питання щодо подальшого його використання після досягнення нормативного терміну експлуатації.

Моральний і фізичний знос ТРС може призвести до серйозних негативних наслідків в усіх сферах господарювання залізниць.

В нашій країні, як і в ряді європейських країн, започаткована реформа залізниць і, зокрема, залізничного господарства, що повинна сприяти наданню імпульсу розвитку галузі. Зрозуміло, що розгортання цього процесу буде супроводжуватися можливими помилками і втратами. Слід відмітити, що в цьому сенсі потрібні зважені і обережні заходи, що базуються на досягненнях, досвіді і наукових напрацюваннях науковців. Намічені раніше програми розвитку галузі не повинні стояти окремо або зовсім ігноруватися. Крім того, треба вважати, що миттєво вирішити задачі підвищення ефективності залізниць неможливо. З точки зору наукового підходу, це передбачає вирішення задач визначення чинників, що впливають на доцільний термін використання діючого ТРС чи необхідності модернізації, чи його темпів оновлення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням удосконалення і підвищення ефективності утримання ТРС присвячені дослідження Г.Г. Басова, Б.Є. Боднара, С.Г. Грищенко, О.І. Володіна, О.Л. Голубенка, В.Г. Пузиря, Є.Є. Коссова, В.Г. Маслієва, Е.Д. Тартаковського, В.О. Четвергова та інших вітчизняних та закордонних учених.

Спектр питань досліджень включає пошук рішення оптимізації технічного обслуговування ремонту локомотивів у рамках системи утримання; місця і ролі діагностування при ТО, ПР; циклічності і періодичності системи ТО, ПР; проблем життєвого циклу ТРС.

**Метою статті** є визначення чинників, що впливають на ефективний термін використання локомотивів і визначають доціль-

ність подовження терміну їх використання понад нормативний термін експлуатації.

#### **Виклад основного матеріалу.**

Подовження терміну експлуатації за умови дотримання відповідних умов можна подовжити з 22 до 40 років, оскільки ресурс локомотивів залежить від інтенсивності використання і може змінюватись в межах  $7 \div 10$  років [1, 4].

Остаточним кроком при визначенні граничного терміну експлуатації локомотивів слід вважати економічні витрати. Дотримання цих вимог дозволить ефективно використати парк локомотивів при подовженні терміну його експлуатації, за умови відповідності необхідним технічним характеристикам.

Задача обґрунтування ефективної циклічності ТО і ПР при подовженні терміну експлуатації локомотивів полягає у визначенні такого варіанта напрацювань, якому відповідає мінімум витрат на утримання, зокрема, парку магістральних тепловозів. Показник ефективності у цьому випадку являє собою суму витрат на ТО-3, ПР і КР (з корегуванням по витратах на дизельне паливо) тепловоза за період досягнення ним сумарного напрацювання.

Прийняті наступні значення напрацювання (пробіги) після відновлювального ремонту (ВР) ( $L_{ВР}$ ) до списання, що мають границі  $L_{ВР} = 360, 420, 450$  і  $500$  тис. км. Число ПР-3 до списання повинне становити  $1 \div 2$ ; число ПР-2 у період до ПР-3 –  $0 \div 1$ ; напрацювання між поточними ремонтами ПР-2 і ПР-3 повинно зменшуватися в міру збільшення їхніх порядкових номерів у ремонтному циклі до списання (тобто замість традиційного принципу рівності і кратності нормативних напрацювань варто використовувати принцип їх "диференціювання"), оскільки технічний стан локомотива має тенденцію до погіршення з ростом його напрацювання від ВР, ПР-3 і ПР-2; нормативні пробіги між ТО-3 і ПР-1 також повинні зменшуватися в міру росту напрацювання локомотива від ВР.

На рис. 1 подано вісім варіантів періодичності та чергування ПР-2 і ПР-3

для прийнятих чотирьох варіантів  $L_{BP} = 360, 420, 450, 500$  тис. км.

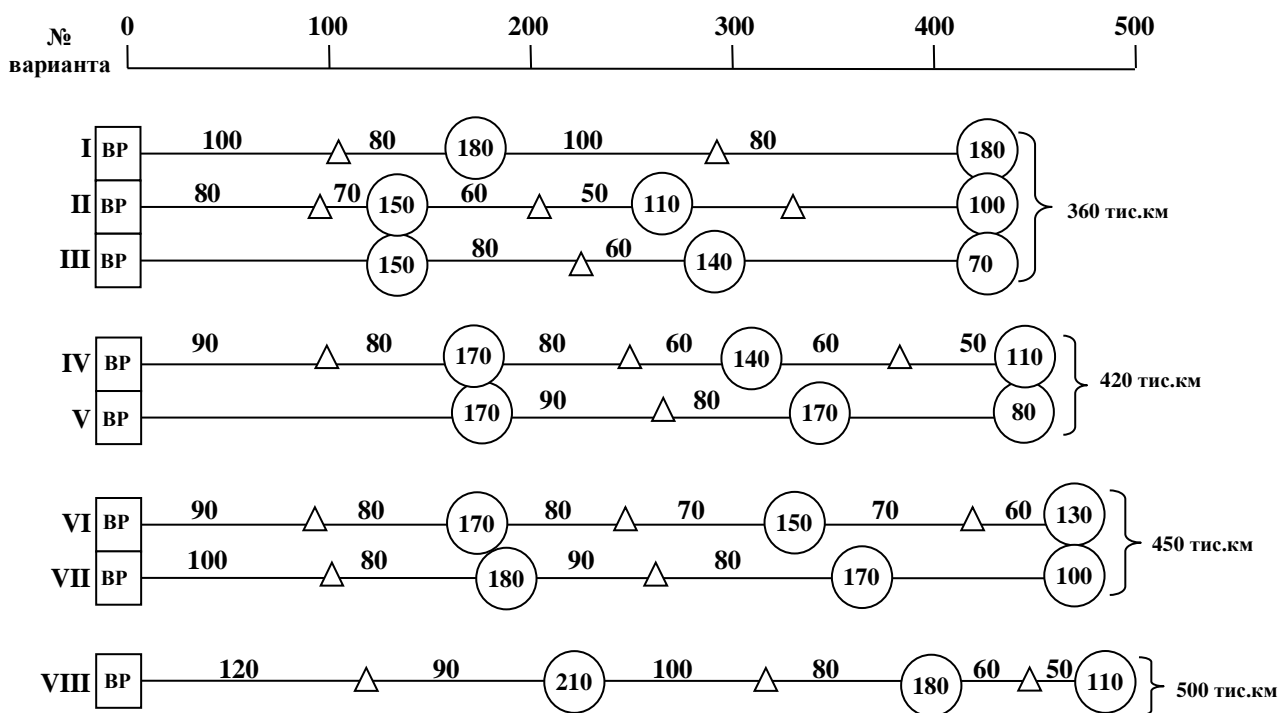


Рис. 1. Варіанти періодичності ремонтного циклу ПР-3 і ПР-2 для різних пробігів  $L_{BP}$  до списання:

- – ПР-3, числа у колі – пробіг до ПР-3, тис. км;
- △ – ПР-2, числа над лініями – пробіг до ПР-2, тис. км

Особливості варіантів: II – зі звичайним чергуванням ремонтів, тобто із двома ПР-3 і трьома ПР-2; III – із двома ПР-3, але в період від ВР до першого ПР-3 відсутній ПР-2; I – з одним ПР-3 і двома ПР-2 за пробіг від ВР до списання. Варіанти з  $L_{BP} > 360$  тис. км усі передбачають по два ремонти ПР-3 і 2÷3 ремонти ПР-2. Найбільший пробіг до ПР-3 у варіантах відповідає періоду від ВР до I ПР-3 (при  $L_{BP} = 500$  тис. км) і становить 210 тис. км, а найменший – 110 тис. км (період від I ПР-3 до II ПР-3 при  $L_{BP} = 360$  тис. км).

Для кожного з восьми варіантів у дослідженнях використовувалися два

різновиди періодичності ПР-1: А – для періоду роботи тепловоза від ВР до I ПР-3 – 40 тис. км, для періоду від I ПР-3 до II ПР-3 – 35 тис. км, від II ПР-3 до завершення експлуатації – 30 тис. км; Б – відповідно по зазначених періодах 35, 30 і 25 тис. км. Таким чином, періодичність ПР-1 також прийнята диференційованою зменшуваною від періоду до періоду.

Для кожного з них розглянуті у свою чергу три різновиди періодичності ТО-3: а – у період від ВР до I ПР-3 – 40 діб, від I ПР-3 до II ПР-3 – 30 діб, від II ПР-3 до закінчення експлуатації – 25 діб; б – по зазначених періодах періодичність ТО-3 становить відповідно 35, 25 і 20 діб; в – 30, 25 і 20 діб.

Ефективність експлуатації локомотивів у післянормативний період експлуатації доцільно досліджувати виходячи з теорії старіння, що базується на чинниках поняття «придатність».

Під придатністю будь-якого технічного об'єкта розуміється його відносна здатність і потенційні можливості виконувати свої функції або заданий процес у межах припустимих відхилень за якістю і економічністю протягом оптимального терміну служби.

Щодо локомотива розрізняють дві групи обладнання (елементи) і дві складові його придатності.

*Конструктивними елементами* називаються всі окремо виготовлені деталі, що входять до складу локомотива, незалежно від матеріалу, розмірів і форми. Для локомотивів до конструктивних елементів відносяться рами, блоки, вали, шестірні, підшипники, болти, прокладки, шайби, баки, трубопроводи і т.ін., що представлені фізично окремими зразками, виготовленими за відповідними до креслень технічними умовами.

*Неконструктивними елементами* називають деякі невідокремлювані елементи, що забезпечують необхідний активний зв'язок або нормальне функціонування всіх конструктивних елементів при роботі локомотивів.

До неконструктивних елементів відноситься, наприклад, збирання локомотивів, їх регулювання, фарбування і змащення, виконані при підготовці локомотивів із їх конструктивних елементів відповідно до певних технічних умов.

Придатність локомотива дорівнює сумі придатностей конструктивних і неконструктивних елементів

$$E_m = \sum_1^s E_i + \sum_1^s G_j .$$

Придатність локомотива частково періодично відновлюється за рахунок застосування нового обладнання або відновлення деяких параметрів старого обладнання. Це відбувається в загальному випадку стільки разів, скільки проводиться передбачена конструкцією зміна недовговічного обладнання локомотива, а також відновлення параметрів ремонтпридатних вузлів на технічному обслуговуванні і ремонті.

Локомотиви належать до категорії машин (IV категорія), які складаються з незмінюваних конструктивних елементів вихідної придатності, внаслідок чого, крім періодичних ремонтів, передбачається виконання технічного обслуговування.

В загальному вигляді вихідна придатність локомотива дорівнює

$$E_{mIV} = \sum E_{iIV} + \sum G_{jIV} = \sum E_{iIV} + \sum G_{1IV} + G_{2IV} + G_{3IV}^0 ,$$

де  $E_{iIV}$  - придатності всіх конструктивних елементів;

$\sum G_{1IV}$  - придатність, що відповідає довгочасно діючому складанню і припасуванню конструктивних елементів;

$\sum G_{2IV}$  - частина придатності локомотива, що відповідає недостатньо довго діючій обробці й монтажу конструктивних елементів, яку необхідно через терміни

$\tau_{2IV}^L$  повністю відновляти при ремонті  $n_{2IV} - 1$  разів за термін служби локомотива;

$\sum G_{3IV}^0$  - частина придатності неконструктивних елементів локомотива, що відповідає короткочасно діючому змащенню та регулюванню, які при використанні необхідно періодично через терміни  $\tau_{3IV}^l$  частково відновляти при

технічним обслуговуванні  $n_{3IV} - 1$  разів за термін служби локомотивів.

Для кількості оцінки придатності використовують наступні коефіцієнти.

Коефіцієнт рівномірності визначається відношенням сумарного значення придатностей  $\sum E_i$  вихідних конструктивних елементів локомотива до сумарної придатності  $\sum n_i E_i$  всіх конструктивних елементів, що зношуються при роботі за термін служби

$$K_p = \frac{\sum E_i}{\sum n_i E_i},$$

де  $n_i$  - повна кількість відповідних конструктивних елементів, що зношуються в локомотиві за термін його експлуатації.

Практично з достатньою точністю коефіцієнт рівномірності визначається зі співвідношення відповідних вартостей, тобто

$$K_p = \frac{\sum E_i}{\sum n_i E_i} \approx \frac{\sum Q_i}{\sum n_i Q_i},$$

де  $Q_i$  - вартість відповідного конструктивного елемента.

$$K_c = \frac{\sum G_j}{\sum G_j + \sum (n_j - 1)g_j} \approx \frac{\sum Q_j}{\sum Q_j + \sum (n_j - 1)q_j},$$

де  $G_j$  й  $Q_j$  - придатність і вартість вихідних і поновлюваних при відповідному технічному обслуговуванні і ремонті конструктивних елементів локомотива;

$n_j - 1$  - кількість відповідних технічних обслуговувань і ремонтів локомотива за весь термін служби;

Наступною оцінкою конструктивної й технологічної досконалості локомотива є коефіцієнт стабільності монтажу, регулювань.

Коефіцієнт стабільності  $K_c$  регулювань локомотива характеризує потрібні обсяги робіт при технічному обслуговуванні і ремонті і їх повторність за термін експлуатації. Коефіцієнт  $K_c$  визначається відношенням вихідної придатності неконструктивних елементів, необхідних для нормальної роботи локомотива за повний термін його служби

$$K_c = \frac{\sum G_j}{\sum n_j G_j}.$$

Практично коефіцієнт стабільності регулювань локомотива визначають із достатньою точністю через відповідні вартісні показники, тобто

$$K_c = \frac{\sum Q_j}{\sum n_j Q_j}.$$

У випадку нерівності вихідної й поновлюваної придатності неконструктивних елементів ( $g_j \neq G_j$ ) коефіцієнт  $K_c$  визначається за виразом

$g_j$  і  $q_j$  - відповідно придатність і вартість, що вводяться в локомотив при поновленні відповідного неконструктивного елемента.

Коефіцієнт довговічності може бути визначений за формулою

$$K_d = \frac{K_p K_c E_m}{K_c \sum E_i + K_p \sum G_j},$$

або, застосовуючи вартісні співвідношення, за формулою

$$K_d = \frac{K_p K_c Q_m}{K_c \sum Q_i + K_p \sum Q_j},$$

де  $E_m$  і  $Q_m$  - відповідно придатність і вартість локомотива;

$E_i$  і  $Q_i$  - придатність і вартість конструктивних елементів локомотива;

$G_j$  і  $Q_j$  - придатність і вартість неконструктивних елементів локомотива.

З аналізу структури зміни придатності локомотива за термін його експлуатації впливає можливість внесення істотних коректувань у діючі оцінювальні його характеристики.

Методичний підхід до введення цього коректування наступний. Якщо розділити загальну придатність локомотива на повний термін експлуатації (роботу, виконану за цей термін), можна оцінити придатність локомотива виробничому призначенню протягом терміну експлуатації, яку називають питомою придатністю.

Питому придатність можна визначати за виразом

$$P_{\Pi} = \frac{E_m + \sum (n_i - 1)E_i + \sum (n_j - 1)G_j}{T}.$$

Для восьми варіантів подовження терміну експлуатації локомотивів після ВР були розраховані сумарні витрати на всі види ТО, ПР і можливі позапланові ремонти (НР). Кількість ТО, ПР була розрахована за прийнятими варіантами. Витрати на ТО-3, ПР-1, ПР-2, ПР-3 були прийняті середніми по залізниці. Як показує практика експлуатації, з ростом

пробігу зростає складова понаднормативних робіт на ТО, ПР. Тому при розрахунках відповідно до варіанта подовження терміну експлуатації ця складова змінювалась в діапазоні  $0,26 \div 0,33$  від сумарних витрат на ТО, ПР. Відповідно обов'язковий обсяг регламентних робіт за цих умов зменшувався протилежно понаднормативному терміну. Сумарні витрати, що виникають на позапланових ремонтах, були прийняті в розмірі на 25 % більш, ніж понаднормативні витрати на планових ТО, ПР. Фактор збільшення терміну експлуатації був врахований збільшенням обсягу ремонтів в діапазоні  $1,0 \div 1,25$ . Залишкова ціна локомотива на початок експлуатації після ВР прийнята в розмірі  $C_{\text{Л}} = 5 \cdot 10^6$  грн.

На підставі викладеного проведені розрахунки, що зведені до таблиці, і побудовані графіки зміни показників придатності локомотивів (рис. 2-5). Коефіцієнт рівномірності  $K_{\text{рів}}$  за рахунок планових заходів з ТО, ПР мав стабільний характер, в діапазоні  $0,76 \div 0,73$ . Причому найменше його значення прийшлося на сьомий варіант організації ТО, ПР в післянормативний термін експлуатації. Це свідчить про те, що при дотриманні технології ТО, ПР досягається стабільний рівень підтримки надійності обладнання.

Разом з цим при досягненні нормативного терміну використання локомотивів коефіцієнт стабільності регульовальних робіт  $K_c$  зі збільшенням терміну експлуатації зменшується. Діапазон зміни  $K_c$  спостерігається в межах  $0,55 \div 0,44$ . Це підтверджує те, що при зношенні і старінні обладнання все складніше підтримувати технічний стан локомотивів, особливо, коли не виконуються спеціальні роботи, що пов'язані з подовженням терміну експлуатації.

Такий характер зміни коефіцієнтів  $K_p$  і  $K_c$  сформував динаміку зміни коефіцієнта довговічності  $K_d$ . Діапазон коливань  $K_d$  знаходиться в межах  $0,73 \div 0,67$ , що в значній мірі вдається завдяки коефіцієнту  $K_p$ .

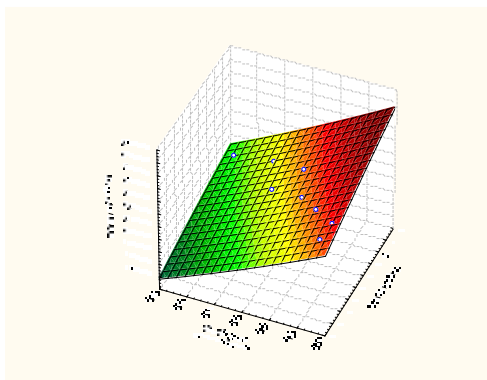


Рис. 2. Залежність витрат на ТО, ПР від варіанта пробігу і коефіцієнта довговічності  $Q_{\text{ТО,ПР}} = f(L_B, K_d)$

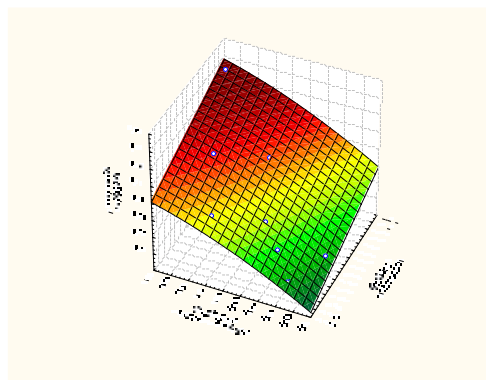


Рис. 3. Залежність коефіцієнта довговічності від коефіцієнта рівномірності і коефіцієнта стабільності  $K_d = f(K_{\text{рів}}, K_{\text{ст}})$

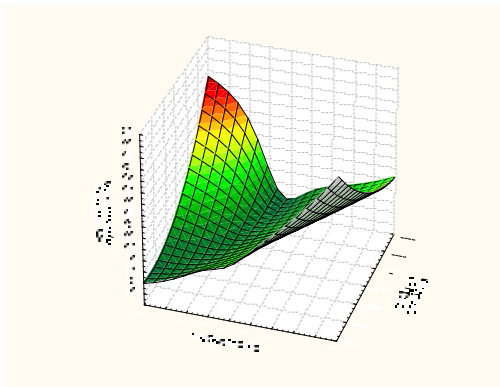


Рис. 4. Залежність питомої придатності обладнання локомотивів від варіанта пробігу коефіцієнта довговічності  $\Pi_P = f(L_B, K_d)$

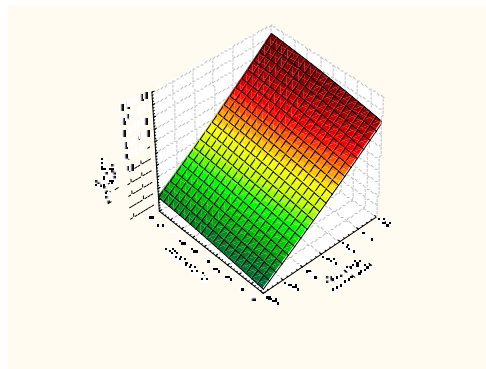


Рис. 5. Залежність сумарних витрат на ТО, ПР від варіанта пробігу і коефіцієнта довговічності  $Q_{\text{заг}} = f(L_B, K_d)$

Старіння локомотивів в понаднормативний термін експлуатації впливає на коефіцієнт питомої придатності  $\Pi_P$ . При збільшенні терміну експлуатації  $\Pi_P$  поступово зменшується при рості загальних витрат на підтримку технічного стану локомотивів. Звідси можна констатувати, що тільки за рахунок коректування міжремонтних пробігів не

вдається стабільно підтримувати технічний стан локомотивів, навіть при збільшенні витрат на планові ТО, ПР, що необхідні за регламентом. Як слідує з практики експлуатації локомотивів, потрібно коректувати обсяги робіт з кожними наступними ТО, ПР за рахунок додаткових діагностичних випробувань обладнання, що доцільно експлуатувати далі.



Таблиця

Розрахунок параметрів придатності локомотива

Варіант пробігу	Кількість/сумарна вартість ТО, ПР $\left( \frac{K_i}{\sum K_i C_i} \right)$				Понаднормативний термін експлуатації T	Сумарні, $Q_{\text{топр}}$	Регламентні витрати, $Q_1$	Понаднормативні витрати, $Q_2$	Позапланові витрати, $Q_3$	Загальні витрати ТО, ПР в післянормативний термін експлуатації	Коефіцієнт рівномірності, $K_p$	Коефіцієнт стабільності регулювання, $K_c$	Коефіцієнт довговічності, $K_d$	Коефіцієнт питомої придатності, $L_{\text{п}}$
	ТО – 3 ( $C_{\text{ТО-3}} = 5000$ )	ПР – 1 ( $C_{\text{ПР-1}} = 15000$ )	ПР – 2 ( $C_{\text{ПР-2}} = 85000$ )	ПР – 3 ( $C_{\text{ПР-3}} = 190000$ )										
1	46/230000	9/1350000	2/170000	1/190000	360000	1940000	1429133	510867	459780	2399780	0,76	0,53	0,73	19,28
2	51/255000	8/1200000	3/255000	2/380000	360000	2090000	1518733	571267	542703	2632703	0,74	0,51	0,71	19,69
3	47/235000	10/1500000	1/85000	2/380000	360000	2200000	1576667	623333	623333	2823333	0,74	0,50	0,69	20,00
4	49/245000	8/1200000	3/255000	2/380000	420000	2080000	1469867	610133	640640	2720640	0,75	0,49	0,70	16,86
5	45/225000	10/1500000	1/85000	2/380000	420000	2190000	1525700	664300	730730	2920730	0,74	0,48	0,69	17,12
6	50/250000	9/1350000	3/255000	2/380000	450000	2235000	1534700	700300	805345	3040345	0,74	0,47	0,68	16,08
7	47/235000	10/1500000	2/170000	2/380000	450000	2285000	1546183	738817	886580	3171580	0,73	0,45	0,67	16,19
8	49/245000	9/1350000	3/255000	2/380000	500000	2230000	1486667	743333	929167	3159167	0,74	0,44	0,67	14,46

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

1. Існуючі в нашій країні підходи і моделі утримання рухомого складу за основу приймають критерії, що базуються на мінімізації питомих витрат за життєвий цикл, які не в повній мірі враховують особливості експлуатації локомотивів, що продовжують використовувати в понаднормативний термін.

2. Для забезпечення ефективного використання локомотивів у будь-який період їх дії, а особливо в післянормативний, слід проводити комплексні дослідження, що дозволяють визначати динаміку зміни параметрів ефективності в залежності від коефіцієнтів довговічності, рівномірності, стабільності, придатності агрегатів і вузлів локомотивів.

**Список використаних джерел**

1. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог [Текст]: монография / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин [и др.]. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2011. – 174 с.
2. Галкин, В. Г. Надежность тягового подвижного состава [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.д. трансп. / В. Г. Галкин, В. П. Парамзин, В. А. Четверов. – М.: Транспорт, 1981. – 184 с.
3. Северцев, Н. А. Надежность сложных систем в эксплуатации и отработке [Текст]: учеб. пособие для вузов / Н. А. Северцев. – М.: Высш. школа, 1989. – 432 с.
4. Колегаев, Р. Н. Определение оптимальной долговечности технических систем [Текст] / Р. Н. Колегаев. – М.: Советское радио, 1967.
5. Михлин, В. М. Прогнозирование технического состояния машин [Текст] / В. М. Михлин. – М.: Колос, 1976.
6. Оцінка показників ТО при подовженні терміну експлуатації ТРС по наробці [Текст] / Е. Д. Тартаковський, О. В. Устенко, О. С. Крашенінін [та ін.] // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 132. – С. 5-11.
7. Крашенінін, О. С. 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 // Транспортні інновації. – К., 2011. – № 9. – С. 26-28.
8. Крашенінін, А. С. Оценка периодичности технического обслуживания и ремонта в период после нормативных сроков эксплуатации ТПС [Текст] / А. С. Крашенінін, О. А. Шапатіна, С. А. Матвиенко [та ін.] // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 128. – С. 165-167.
9. 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: наук. журнал. – Луганськ, 2012. – № 3(174). – С. 109-113.

---

Крашенінін Олександр Семенович, доктор технічних наук, професор, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 21-24.

Одегов Микола Миколайович, старший викладач кафедри автоматизованих систем електричного транспорту Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 10-74. E-mail: 8084214@ukr.net.

Krasheninina Oleksandr Semenovych, doctor of technical sciences, professor, department of exploitation and repair of rolling stock Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: 20-79.

Odegov Nikolai, senior lecturer automated electric transport, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 10-74. E-mail: 8084214@ukr.net.

Стаття прийнята 05.07.2016 р.

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

**COLLECTED SCIENTIFIC WORKS OF UKRAINIAN  
STATE UNIVERSITY OF RAILWAY**

**Випуск 162**

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

Статті друкуються в авторській редакції мовою оригіналу

Відповідальний за випуск Янченко Л.В.

Редактори Буранова Н.В., Еткало О.О., Решетилова В.В.

---

КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Підписано до друку 29.06.2016 р.

Формат паперу А4. Папір писальний.

Умовн.друк. арк. 17,5. Тираж 105. Замовлення № .

Видавець Український державний університет залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха,7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.