



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 169

Харків 2017

УДК 656.2(062)

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

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

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

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

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

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

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

Реферативна база

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

ISSN (p) 1994-7852

ISSN (online) 2413-3795

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Друкується за рішенням вченої ради університету, протокол № 4 від 30 травня 2017 р.

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

Редакційна колегія

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

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

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

ISSN 1994-7852

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

© Український державний університет
залізничного транспорту, 2017

ЗМІСТ

<i>Ахмеднабієв Р. М., Ахмеднабієв Р. Р.</i> Твердіння цементних розчинів з золошлаками котлів з циркуляційним киплячим шаром	5
<i>Плугін Д. А., Савченко О. М., Палант О. В.</i> Електро- та віброізоляційні матеріали на залізниці. Можливості їх виготовлення в Україні	11
<i>Левенко А. М.</i> Оценка напряженно-деформированного состояния массива грунта, загрязненного перуксусной кислотой	19
<i>Резник В. Ю.</i> Удосконалення системи залізничних швидкісних перевезень в Україні на основі використання пасажирських транспортно-пересадочних комплексів (ХАБІВ)	25
<i>Бойко В. Д., Молчанов В. М., Артюхович Т. Д.</i> Дослідження зносостійкості стрілочних переводів для умов експлуатації київського метрополітену	39
<i>Твердомед В. М., Карпінський С. Л., Сорока О. О.</i> Вплив конструктивного оформлення вузла рейкового скріплення на забезпечення поздовжньої стійкості безстикової колії	47
<i>Олійник О. А.</i> Особливості проектування і розрахунків симетричних стрілочних переводів для магістрального і промислового транспорту	54
<i>Захаров Д. С., Палант О. В., Толмачов С. М., Плугін Д. А., Моїсєєва П. Е.</i> Вплив коефіцієнта розсунення зерен щебеню розчином на міцність цементних бетонів при згині	64
<i>Сулим А. О.</i> Аналіз питання застосування перспективних накопичувачів енергії на рухомому складі метрополітену	72
<i>Клок Є. М.</i> Удосконалення інтермодальних перевезень в умовах узгодженої роботи залізничного та морського транспорту	82
<i>Пушкарьова К. К., Каверин К. О.</i> Дослідження експлуатаційних властивостей високоміцних легких керамзитобетонів, модифікованих комплексною органо-кремнеземистою добавкою	88
<i>Пушкарьова К. К., Савченко К. В.</i> Дослідження механізму просочення бетону гідроізоляційними розчинами проникної дії	95
<i>Гамеляк І. П., Шургая А. Г., Якименко Я. М., Чиженко Н. П.</i> Математичні моделі властивостей високоміцних цементобетонів для дорожнього будівництва	103
<i>Сулов В. М.</i> Аналіз роботи корпорації «КРТ» з удосконалення проміжних рейкових скріплень типу КПП-5	111
<i>Стороженко Л. І., Гасій Г. М.</i> Визначення переміщень вузлів просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції експериментальним шляхом	118
<i>Супрун О. Д., Семененко Ю. О., Ушаков О. В.</i> До питання впровадження джерел безперебійного живлення на тягових підстанціях при швидкісному русі	129
<i>Lapenko O., Skrebniava D, Shevchenko O., Masud N.</i> Calculation of compressed and bended steel reinforced concrete constructions in the retained formwork	142
<i>Даренський О. М., Беліков Е. А.</i> Експериментальне визначення жорсткостей прокладок скріплень ТРЕП і ТРЕП-Ш	150
<i>Розсоха О. В., Шаповал Г. В., Боков А. В., Щербинін Р. О.</i> Модель оптимізації пасажирських перевезень у крупному транспортному вузлі при використанні рейкових автобусів	157

<i>Петрикова Є. М., Михайлов О. В.</i> Ефективні стінові системи для об'єктів залізничної інфраструктури	166
<i>Мамонов К. А., Метешкін К. О., Грек М. О.</i> Визначення містобудівних факторів, які впливають на використання земель міст	174
<i>Шипулін В. Д., Штерндок Е. С.</i> Геоінформаційне забезпечення інтегральної оцінки просторових факторів земель мегаполіса	183
<i>Даренський О. М., Потапов Д. О., Кулік С. В.</i> Формування просторової жорсткості рейкових опор при шпалах СБ-3-0 і скріпленнях КПП-5	191
<i>Бугаєць Н. В., Пліс П. В., Нікішин В. О.</i> Оцінка надійності протиугінних систем підрейкової основи з використанням математичного моделювання	198
<i>Прохорченко Г. О., Щербацька А. І., Ткачук М. М.</i> Дослідження впливу величини резерву часу на надійність графіка руху швидкісних поїздів	205
<i>Прохорченко А. В., Паламарчук В. В.</i> Удосконалення системи орієнтування пасажирів на залізничних вокзалах України в умовах упровадження швидкісного руху пасажирських поїздів	213
<i>Масюк Г. Х.</i> Оцінка надійності залізобетонних балок, що зазнають дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень	224
<i>Гапонова Л. В., Резник П. А., Калмыков О. А., Гребенчук С. С.</i> Напряжено-деформируемое состояние архитектурно-композиционного комплекса в форме ленты Мебиуса	229
<i>Головка Т. В., Кудрява В. В.</i> Підвищення якості обслуговування пасажирів за рахунок впровадження швидкісного руху на залізничному напрямку	237

УДК 692.231.3

ТВЕРДІННЯ ЦЕМЕНТНИХ РОЗЧИНІВ З ЗОЛОШЛАКАМИ КОТЛІВ З ЦИРКУЛЯЦІЙНИМ КИПЛЯЧИМ ШАРОМ

Канд. техн. наук Р. М. Ахмеднабієв, аспірант Р. Р. Ахмеднабієв

ТВЕРДЕНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ С ЗОЛОШЛАКАМИ КОТЛОВ С ЦИРКУЛЯЦИОННЫМ КИПЯЩИМ СЛОЕМ

Канд. техн. наук Р. М. Ахмеднабиев, аспирант Р. Р. Ахмеднабиев

HARDENING OF CEMENT MORTARS WITH THE ASH AND SLAGS OF BOILERS WITH CIRCULATING FLUIDIZED BED

Phd. techn. R. M. Akhmednabiev, post-graduate R. R. Akhmednabiev

Наведено результати досліджень гідратації портландцементу за наявності золошлаків котлів із циркулюючим киплячим шаром. Золи характеризуються тим, що вони не містять незгорілих частинок вугілля, що знижує негативний вплив на формування структури і довговічність цементного каменю. Виявлено, що в золі наявні сульфатні солі, які можуть несприятливо впливати на формування структури цементного каменю. Результати досліджень кінетики твердіння цементно-золошлакових сумішей і рентгеноструктурний аналіз свідчать про відсутність слідів вторинного еtringіту в продуктах гідратації сумішей.

Ключові слова: золошлаки, хімічний і мінералогічний склади, рентгеноструктурний аналіз, електронна мікроскопія, кінетика твердіння.

Представлены результаты исследований гидратации портландцемента в присутствии золошлаков котлов с циркулирующим кипящим слоем. Зола характеризуется тем, что они не включают несгоревшие частицы угля, которые снижают негативное влияние на формирование структуры и долговечность цементного камня. Обнаружено, что в золе присутствуют сульфатные соли, которые могут неблагоприятно влиять на формирование структуры цементного камня. Однако исследования кинетики твердения цементно-золошлаковых смесей и рентгеноструктурные исследования показали, что следы образования вторичного этtringита в продуктах гидратации отсутствуют.

Ключевые слова: золошлаки, химический и минералогический состав, рентгеноструктурный анализ, электронная микроскопия, кинетика твердения.

Properties of ash and slag waste in boilers with circulating fluidized bed are under consideration. Several new generations of boilers are operated in the Donetsk region, thus permitting to burn poor coal. Ashes and slag, obtained in this case, have somewhat other properties different from those obtained at a traditional waste fired CHP plant.

Models of cement hydration with blast furnace slag were studied. Hydration of two components (slag and Portland cement) was studied individually, although they can be uniformly mixed in cement and interact with each other. However, cement obtained by mixing Portland cement clinker and steel slag known as Portland slag cement. The chemical composition of blast-furnace slag for mixing with Portland cement clinker is adjusted to be identical to the chemical composition of the clinker.

Chemical composition of ashes and slags in power plants is not regulated as that of steel slag because they are after coal combustion waste. Their chemical composition depends on coal deposits. But because fossil fuels are accompanied by clay rocks, chemical composition of ashes and slags in power plants is similar to the chemical composition of argillaceous rocks with minor variations in the number of major oxides. The most dangerous oxides in the chemical composition of waste are considered to be sulfates, gypsum or anhydrite.

Some harmful oxides in ash and slag are known to be able to react with minerals of the Portland cement clinker or with hydration products. Portland cement is gaining strength mainly due to the hydration of calcium silicate C3S and C2S. As a result of hydration, calcium hydrosilicates of C-S-H type and calcium hydroxide CH are formed. Calcium hydroxide is able to react with the silicon oxide contained in the ash and slag in thermal power plants, and to form calcium silicate. However, calcium aluminate may interact with calcium sulfate contained in ash and slag of TPP and form secondary ettringite that can cause destruction of the cement stone.

The aim of this study is to determine the effect ash and slag boilers with circulating fluidized bed on the process of Portland cement hydration and on the kinetics of ash and slag cement mixtures thickening.

Key words: *ash and slag, chemical and mineralogical composition, X-ray diffraction analysis, electron microscopy, hardening kinetics.*

Вступ. Людство потребує енергії, життєвого простору та природних і штучних матеріалів, але ці потреби спричиняють, як правило, появу відходів. Деякі відходи утворюються в процесі виробництва енергії, наприклад при спалюванні вугілля в котлах теплових електростанцій. За останні 15 – 20 років з'явилися котли з циркуляційним киплячим шаром, у яких вугілля спалюється довше, ніж у традиційних котлах, тому воно згоряє повністю. Подібні котли експлуатуються в Україні з 2001 року на одній з найбільших теплових електростанцій у Європі – Старобешівській ТЕС.

Дотепер у відвалах ТЕС України на площі понад 3200 га накопичено близько 360 млн т золошлаків. Середньорічний вихід шлаків сягає 14 млн т і у зв'язку з погіршенням якості палива має тенденцію до зростання. Це створює технологічні та екологічні проблеми, оскільки збільшуються виробничі витрати і вартість природоохоронних заходів. Актуальність проблеми накопичення золошлаків визначається ще й тим, що в енергетичній стратегії держави частка теплових електростанцій зростає [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процесам гідратації портландцементу присвячено багато робіт. Однак дослідники досі не втратили інтерес до процесів гідратації мінералів клінкеру портландцементу за наявності інших мінералів, наприклад таких, які містяться в промислових відходах [2-5]. З метою утилізації металургійних відходів склад доменних шлаків регулюють таким чином, щоб він був ідентичним з хімічним складом клінкеру портландцементу. Проте в процесі виробництва електроенергії на ТЕС утворюється значна кількість паливних зол і шлаків. Незважаючи на те, що науковці систематично досліджують різноманітні фактори, які впливають на реакційну здатність золошлаків ТЕС у цементі [6, 7], це питання досі залишається актуальним. Було зроблено багато спроб дослідити вплив оксидного складу золошлаків на процес гідратації [8], але з часом з'являються відходи ТЕС із властивостями, відмінними від традиційних.

Метою дослідження є визначення впливу золошлаків котлів із циркуляційним киплячим шаром на процес гідратації портландцементу і на кінетику твердіння цементно-золошлакових сумішей.

Основні результати досліджень і їх обговорення. У роботі досліджено золошлакові суміші котлів із циркуляційним киплячим шаром Старобешівської ТЕС. За кількістю вмісту CaO золошлаки належать до висококальцієвих із ($\text{CaO} > 20$ мас.%), тобто основних, а за вмістом SO_3 — до сульфатних ($\text{SO}_3 > 5$ мас.%) [7, 9].

У складі золошлаків відсутня частина незгорілого вугілля, що знімає обмеження щодо застосування їх у важких бетонах. Найбільш шкідливим компонентом є

сірчаний газ, який може бути з'єднаний з іншими оксидами у вигляді ангідриду або гіпсу. В обох випадках сірчані сполуки можуть призвести до утворення вторинного еtringіту, що може спричинити руйнування структури затверділого цементного каменю.

Мінералогічний склад золошлаків був досліджений за результатами рентгеноструктурного аналізу. Рентгенограму золошлаків наведено на рис. 1.

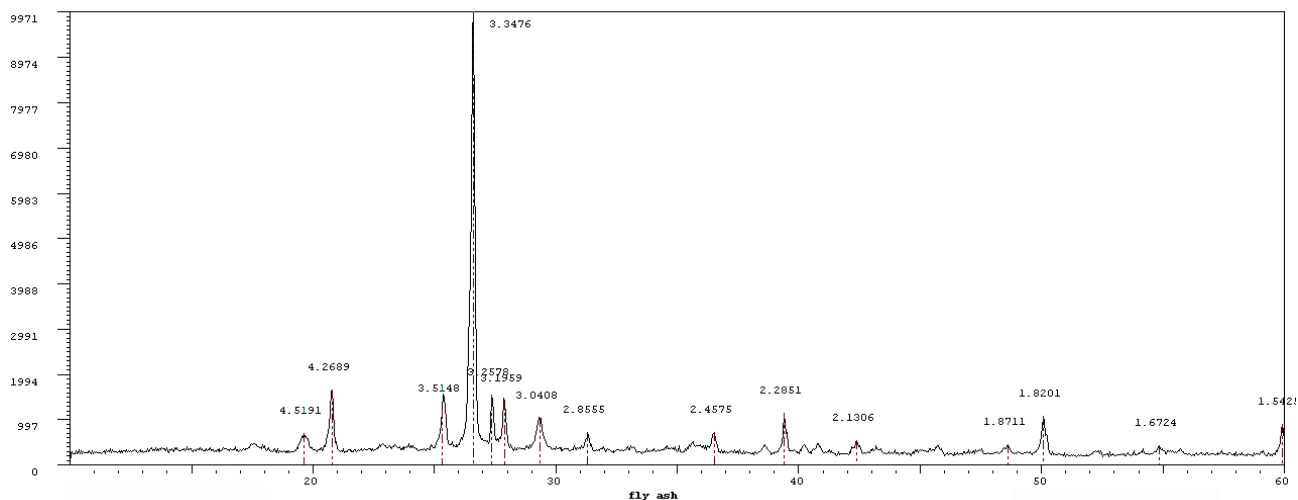


Рис. 1. Рентгенограма золошлаків

Розшифрування рентгенограми свідчить про те, що піки 4,2689, 3,0408 належать мінералу гіпсу і відповідають хімічній формулі $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; піки 3,5149, 3,1959, 2,578, 1,8711 належать мінералу ангідрид, що відповідає формулі CaSO_4 ; піки з вершинами 30,3476, 2,4575, 2,2851, 2,1306, 1,9201, 1,6724 — оксиду кремнію та відповідають формулі SiO_2 . Таким чином, кристалізована частина золошлаків складається з кальцієвмісних мінералів і оксиду кремнію. Із рентгенограми також видно, що більша частина золошлаків представлена аморфними структурами, які можна об'єднати під назвою склоподібної фази. Склоподібна фаза сприяє гідратації золошлаків, а кристалічна практично залишається інертною. Гідралічну активність золошлаків пов'язують із

наявністю таких сполук, як вапно у вільному стані або ангідрид, здатними реагувати з водою з утворенням водостійкого каменю без уведення додаткових активаторів [7]. За даними роботи [10], для зол і золошлаків киплячого шару, якими і є випробувані золошлаки, більш характерним є прояв гідралічних властивостей, ніж пуцоланових, завдяки наявності у складі вільного оксиду кальцію. Достатньо активним компонентом залишається CaSO_4 , що ізотермічно реагує з водою.

Цементно-золошлакові суміші створені з використанням ПЦ 1-500 Н виробництва компанії «Хальдебергцемент-Україна» у співвідношенні 1:3. Зразки були попередньо прокип'ячені у воді протягом чотирьох годин, потім вони тверднули в

умовах відносної вологості повітря 65-80 % і температури 18-24 °С.

За результатами рентгенофазового аналізу, рентенограму якого наведено на рис. 2, цемент належить до низькоалюмі-

натних. Основними мінералами є трикальцієвий і двокальцієвий силікати. Наявність алюмінатних мінералів виявити не вдалось. Очевидно, що їх вміст не перевищує рівень чутливості апарата.

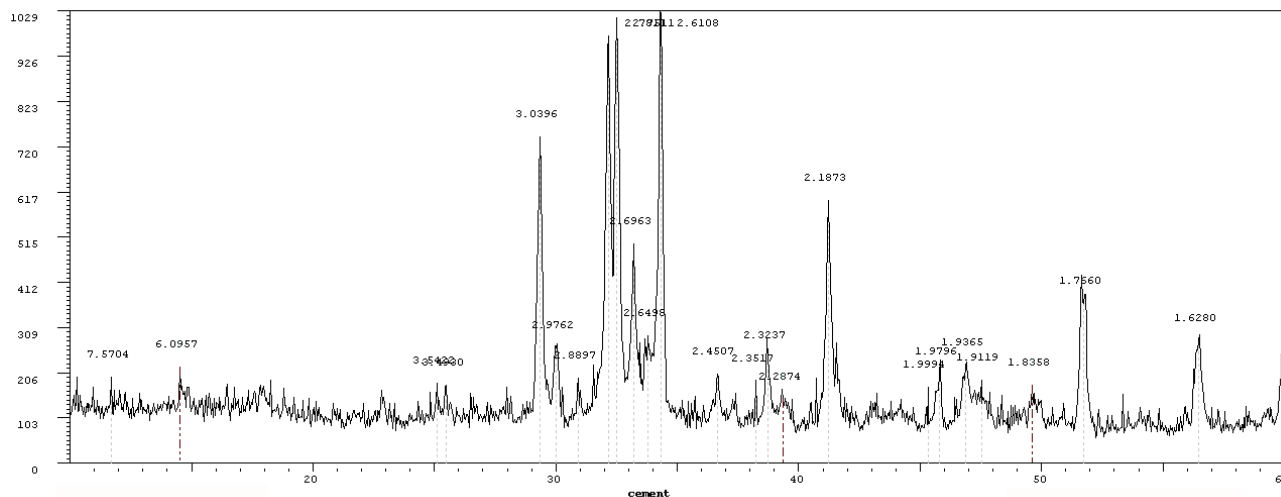


Рис. 2. Рентгенограма цементу

Піки з вершинами 6,0957-2,9363 та 1,9119-1,6280 належать аліту C_3S , 2,8967, 1,9786 — беліту C_2S , а найвищі піки — суміші аліту й беліту $C_3S + C_2S$.

Рентгенограма цементного каменю, наведена на рис. 3, свідчить про те, що основні мінерали цементу гідратовані за відомою теорією твердіння цементів.

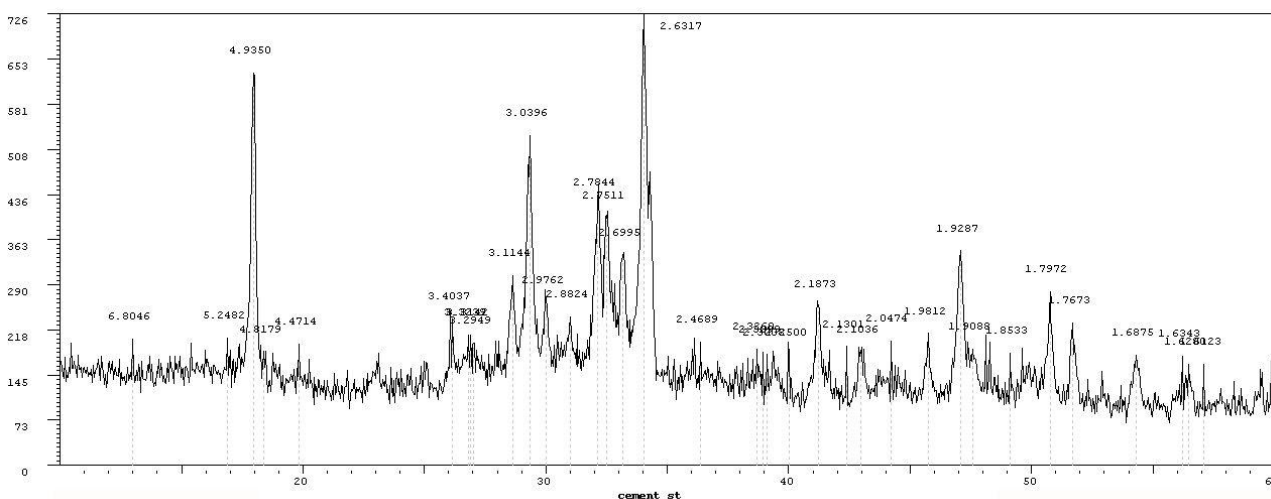


Рис. 3. Рентгенограма цементного каменю

Як і слід було очікувати, крім гідросилікатів кальцію типу CSH , на рентгенограмах спостерігається $Ca(OH)_2$ з

вершинами у 4,9350, 3,1143, 2,6317, 1,9267 та 1,7972; також $CaCO_3$ з вершинами 3,4037, 2,6995, 2,4689, 1,9918. Наявність у

продуктах гідратації цементу значної кількості $\text{Ca}(\text{OH})_2$ підтверджує, що цемент дійсно є низькоалюмінатним, а наявність CaCO_3 свідчить про те, що за 60 діб зберігання відбувалася карбонізація вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$ за відомою реакцією.

На рис. 4 наведено рентгенограму цементно-золошлакового каменю у віці 60 діб твердіння.

Аналіз рентгенограми показує наявність додаткових компонентів у складі цементного каменю. Піки з вершинами 4,2689, 3,3527, 2,4657 належать кварцу SiO_2 . Крім того, слід визначити, що піки вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$ стали дещо меншими.

Можна припустити, що вапно починає реагувати з кремнеземом, що входить до складу золошлаків. Але підтвердження такого феномену потребує подальших досліджень каменю впродовж більших термінів твердіння.

Можливість утворення еtringіту в процесі гідратації цементно-золошлакових сумішей стала причиною того, що затверділий цементно-золошлаковий камінь був досліджений методами електронної мікроскопії. Електронно-мікроскопічні фотографії поверхонь відколу штучного каменю досліджуваних сумішей наведено на рис. 5 і 6.

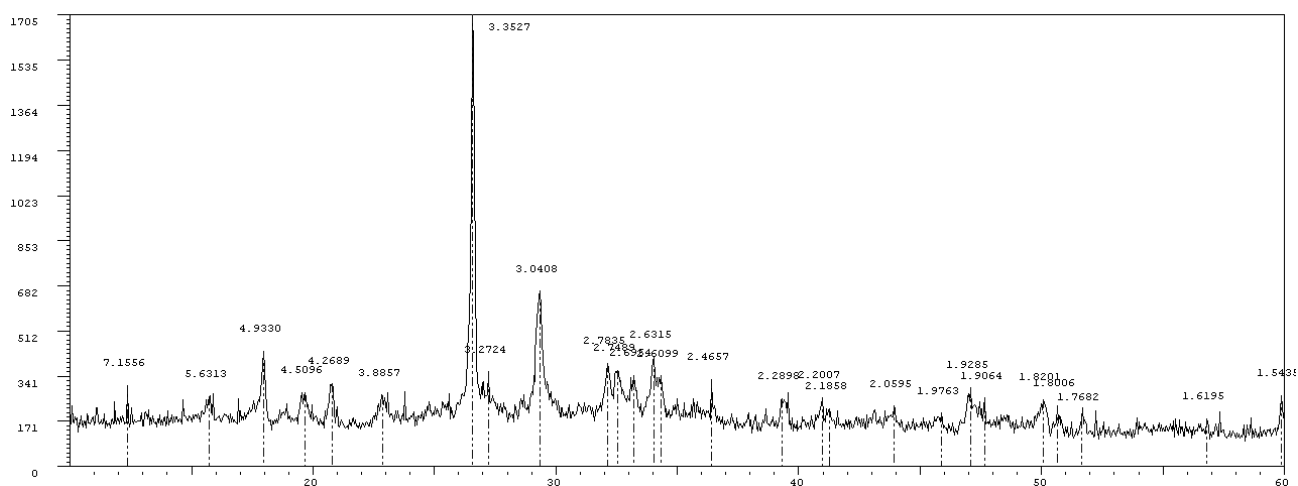


Рис. 4. Рентгенограма цементно-золошлакового каменю у віці 60 діб

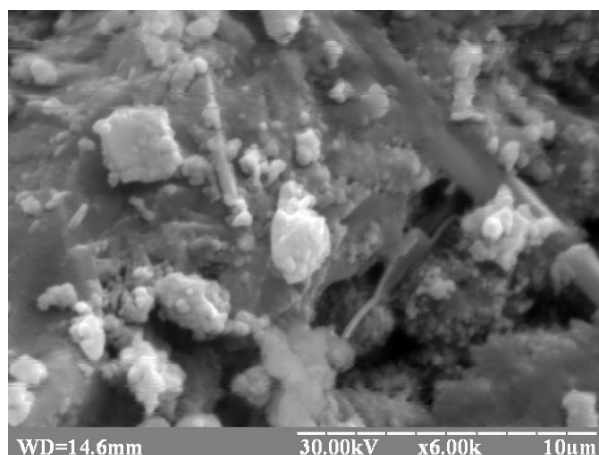
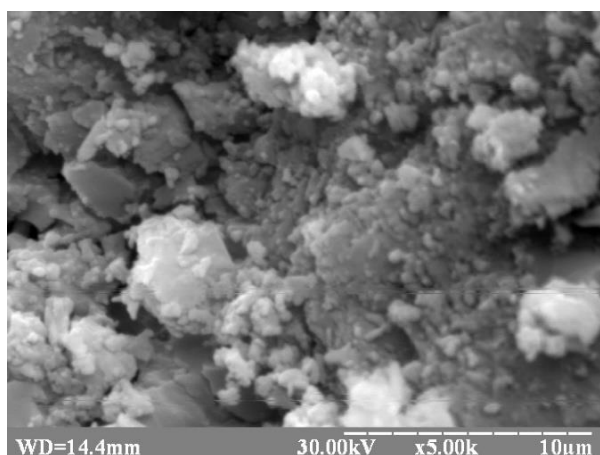


Рис. 5. Електронно-мікроскопічні фотографії поверхні відколу цементного каменю

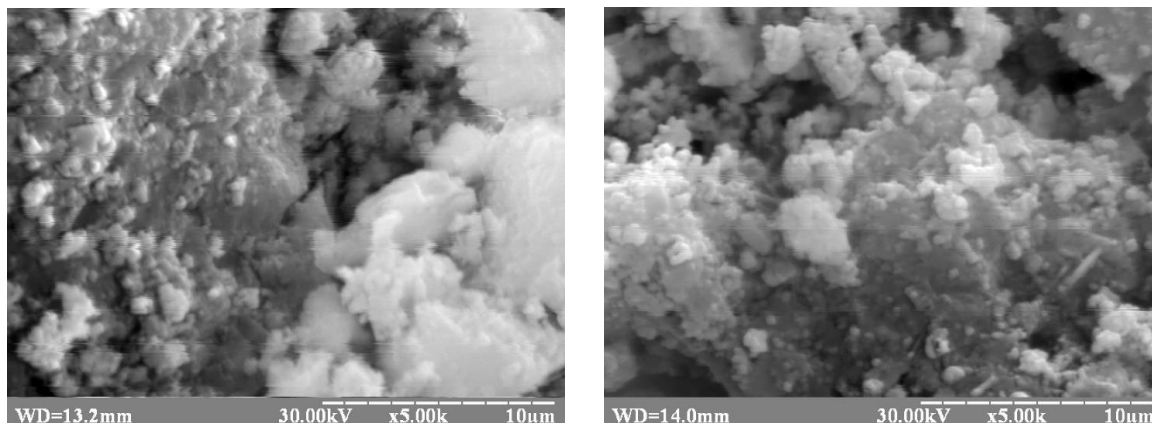


Рис. 6. Електронно-мікроскопічні фотографії поверхні відколу цементно-золошлакового каменю

Аналіз фотографій показує, що в цементно-золошлаковому камені з'явилися нові компоненти, вони більш світлі. Очевидно, що ці компоненти являють собою гідрооксид $\text{Ca}(\text{OH})_2$ та карбонат CaCO_3 кальцію.

Аналізуючи результати рентгено-структурного аналізу та електронно-мікроскопічних досліджень, можемо констатувати, що фазовий склад новоутворень у цементно-золошлаковому камені при використанні досліджуваних золашлаків представлено в основному гідросилікатами кальцію. Відомо, що наявність гіпсу та ангідриду в складі золашлаків повинна була призводити, як правило, до утворення гідросульфоалюмінатів кальцію (етрингіту)

при твердінні з клінкером портландцементу [11]. Але результати досліджень у рамках цієї роботи не підтверджують такі висновки. Очевидно, це пов'язано з тим, що у складі клінкеру портландцементу низький вміст алюмінатів кальцію або термін твердіння розчину в рамках експерименту занадто малий для утворення вторинного еtringіту.

Висновки. Результати досліджень свідчать про те, що золашлаки котлів з циркуляційним киплячим шаром за вмістом основних оксидів належать до висококальцієвих і сульфатних.

У межах експерименту не виявлено факт утворення еtringіту ні на стадії тужавіння портландцементу з золашлаками, ні при подальшому твердінні у воді.

Список використаних джерел

1. Вдосконалення системи поводження з відходами теплових електростанцій [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://donntu.edu.ua/russian/strukt/kafedrs/os/konk/Prjimer%20ofornlen%20raboty%20na%20konkurs.pdf>.
2. Brouwers, H. J. H. The work of Powers and Brownyard revisited // *Cement and Concrete Research*. — 2005. — 35(10), Part 2. — P. 1922-1936.
3. Brouwers, H. J. H. and Van Eijk, R. J. Fly ash reactivity: extension and application of a shrinking core model and thermodynamic approach // *Journal of Materials Science*. — 2002. — 37(10). — P. 2129-2141.
4. Glukhovskiy, V. Soil silicates. Gosstroizdat Publish. — Kiev, Ukraine (in Russian). 1959. — 301 p.
5. Glukhovskiy, V. D. High strength slag-alkaline cements // *Proc. 7th ICCS*. — 1980. — Vol. III, Paris, France. — P. 164-168.
6. Гоц, В. І. Ефективні будівельні матеріали та виробни на основі активованих паливних зол і шлаків [Текст]: дис... д-ра техн. наук / В. І. Гоц. — К., 2009. — 397 с.

7. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков [Текст] / П. В. Кривенко, Е. К. Пушкарева, В. И. Гоц, Г. Ю. Ковальчук. – К.: КНУБА. 2012. – 225 с.
8. Smolczyk, H. G. Slag structure and identification of slags // Proc. 7th ICCS. – 1980. – Vol. I, Paris, France. – P. III 1–III 3.
9. Ахмеднабиев, Р. Р. Свойства золы-унос и золошлаков котлов с циркуляционным кипящим слоем Старобешевской ТЭС Донецкой области [Текст] / Р. Р. Ахмеднабиев, Р. М. Ахмеднабиев // Сб. статей по материалам ЛП междунар. науч.-практ. конф. — Новосибирск, 2015. – С. 144-152.
10. McCathy G.I., Solem D.N., Manz O.E, and Hassett D.I. Use of a Database of Chemical Mineralogical and Physical Properties of North American Fly Ash to Study the Nature of Fly Ash and its utilization as a Mineral Admixture in Concrete // Proc. MRS Symposium “Material Research Society”, Pittsburg, 1999, V. 178. – P. 3-33.
11. Wei Chen. Hydration of slag Cement. Theory, modeling and application Dissertation of doctor’s degree. — Twente, 2007. – 241 p.

Ахмеднабієв Расул Магомедович, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Полтавського технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел. (067)532-36-40. E-mail: akhmednabiev4@gmail.com.

Ахмеднабієв Расул Расулович, аспірант кафедри технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Полтавського технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел. (050) 999-59-67. E-mail: bimconstructio@gmail.com.

Akhmednabiyev Rasul, PhD. Sc. Associate Professor, Department of building constructions, Products and Materials of Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Tel. (067)532-36-40. E-mail: akhmednabiev4@gmail.com.
Akhmednabiyev Rasul, post-graduate student, Department of building constructions, Products and Materials of Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Tel. (050) 999-59-67. E-mail: bimconstructio@gmail.com.

Стаття прийнята 03.04.2017 р.

УДК 625.142:625.098

ЕЛЕКТРО- ТА ВІБРОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ЗАЛІЗНИЦІ. МОЖЛИВОСТІ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ В УКРАЇНІ

Д-р техн. наук Д. А. Плугін, аспіранти О. М. Савченко, О. В. Палант

ЭЛЕКТРО- И ВИБРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ. ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЕ В УКРАИНЕ

Д-р техн. наук Д. А. Плугин, аспиранты А. М. Савченко, Е. В. Палант

ELECTRIC- AND VIBRATION INSULATION MATERIALS ON THE RAILWAY. THE POSSIBILITY OF THEIR PRODUCTION IN UKRAINE

D.Sc. D.A. Plugin, pg. A.M. Savchenko, pg. O.V. Palant

У статті розглянуто актуальні проблеми та методи захисту будівель від впливу вібрації, шуму, блукаючих струмів і струмів витоку, які виникають внаслідок руху рейкового транспорту в міській забудові. Виконано аналіз можливості виробництва захисних матеріалів з використанням вітчизняної хімічної промисловості.

Ключові слова: рейковий транспорт, струми витоку, шум, вібрація, електро-, вібро-, шумоізоляційні матеріали.

В статье рассмотрены актуальные проблемы и методы защиты зданий от воздействия вибрации, шума, блуждающих токов и токов утечки, возникающих вследствие движения рельсового транспорта в городской застройке. Выполнен анализ возможности производства защитных материалов с использованием отечественной химической промышленности.

Ключевые слова: рельсовый транспорт, токи утечки, шум, вибрация, электро-, вибро-, шумоизоляционные материалы.

In the article the problems and methods of protecting buildings from the effects of vibration, noise and stray and leakage currents that arise as a result of the movement of rail transport in urban development. Presents contemporary articles from polymer materials which are used abroad for the protection of buildings during the construction or upgrading of Railways. The analysis of the materials of chemical industry, which are used in the manufacture of such products. The analysis of the possibility of production of protective materials using domestic chemical industry was carried out.

Keywords: rail transport, leakage currents, noise, vibration, electrical insulating, anti-vibration, noise insulation materials.

Вступ. Джерелами вібрації в житлових і громадських будівлях є інженерне й санітарно-технічне обладнання, а також промислові установки і транспортні засоби (метрополітен неглибокого закладення, важкі вантажні автомобілі, залізничні поїзди, трамваї), що створюють при роботі великі динамічні навантаження, які викликають поширення вібрації в ґрунті і будівельних конструкціях будинків. Ці вібрації часто є також причиною виникнення шуму в приміщеннях будівель.

Метрополітен, трамваї та залізниця – невід’ємна частина сучасної транспортної системи. У щільній міській забудові колії рейкового транспорту, що є джерелом інтенсивних вібрацій, прокладають все ближче до житлових будинків. Рух такого транспорту викликає появу в будівлях наднормативних рівнів вібраційних коливань і повітряних шумів, а також блукаючих і струмів витоку, які негативно впливають на здоров’я людей, які проживають у них, мають руйнівний вплив на будівельні конструкції, порушують роботу різноманітного устаткування і приладів, призводячи до їх раннього виходу з ладу [7, 9].

Електрокорозія, вібрація та шум значною мірою обумовлені недосконалістю традиційної конструкції верхньої будови колії, яка складається з рейок і підрейкової основи (шпал, плит і т. п.). Такі конструкції, як правило, жорсткі, добре передають вібрацію і створюють шум, швидко втрачають електроізоляційні властивості.

На сьогодні дуже актуально стоїть завдання щодо зниження струмів витоку, шуму та вібрації, особливо в населених пунктах.

Для житлових і громадських будівель найнесприятливішим зовнішнім джерелом вібрацій є рейкові транспортні магістралі: метрополітен, трамвайні лінії і залізниця. Дослідження [6] показали, що коливання з віддаленням на різну відстань від метрополітену загасають, однак цей процес немонотонний, він залежить від складових ланок на шляху поширення вібрації: рейка – стіна тунелю – ґрунт – фундамент будинку – будівельні конструкції. У тих випадках, коли будівлі розташовуються в безпосередній близькості від рейкової колії, вібрації в них можуть перевищувати гранично допустимі значення, встановлені

ДБН 360-92**. Містобудування. Планування та забудова міських і сільських поселень [3], у 10 разів (на 20 дБ). У спектральному складі вібрації переважають октавні смуги з середньгеометричними частотами 31,5 і 63 Гц. Зараз регламентована захисна зона залізниці становить 100 м, а захисна зона трамвайної лінії [3] досягає 50 м від крайньої колії.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою дослідження є виявлення можливостей виробництва електро- та віброізоляційних матеріалів для захисту будівель від наднормативних рівнів вібраційних коливань і струмів витоку, викликаних рухом рейкового транспорту, можливість розвитку їх на території України, використовуючи вітчизняну сировинну базу.

Аналіз останніх досліджень. Боротися з негативним впливом вібрацій рейкового транспорту можна двома способами: захищаючи об'єкти – приймачі вібрацій, тобто самі будівлі, у т. ч.

влаштовуючи на шляху розповсюдження хвиль вібрації захисні екрануючі споруди [10, 11] або ізолюючи безпосередньо джерело вібрації – рейкові колії. У більшості випадків саме віброізоляція рейкових колій є найбільш раціональним варіантом вирішення проблеми [1, 2].

На сьогодні набули поширення декілька методів віброізоляції рейкових колій [2, 8]:

- пружні опори для колій на бетонних плитах (реалізують систему «маса-пружина»);
- підбаластні мати;
- підрейкові і нашпальні прокладки;
- підшпальні прокладки.

Пружні опори для колій на бетонних плитах (система «маса-пружина»)

Даний метод застосовується в разі висування найжорсткіших вимог щодо захисту від структурного шуму і вібрацій $f \geq 6$ Гц – власна частота коливань верхньої будови колії під осьовим навантаженням (рис. 1).

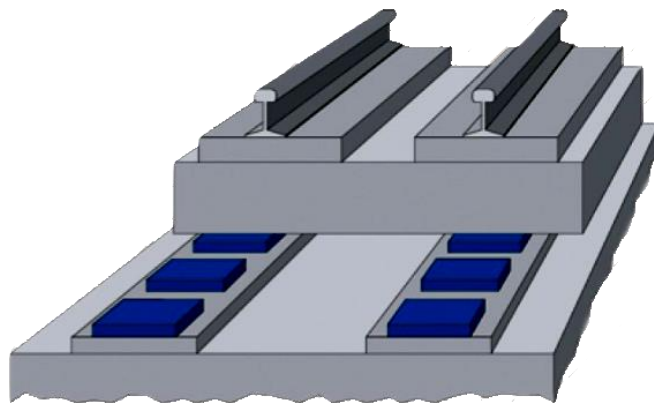


Рис. 1. Пружні опори для колій на бетонних плитах

Конструкція на рис. 2 дозволяє обмежити статичні і динамічні навантаження в баластному шарі $f \geq 15$ Гц – власна частота коливань верхньої будови колії під осьовим навантаженням.

Конструкція на рис. 3 застосовується в якості пружних віброізолюючих компонентів для рейкових скріплень. Дозволяють знизити навантаження на

верхню будову колії і зменшити вторинні повітряні шуми $f \geq 25$ Гц – власна частота коливань верхньої будови колії під осьовим навантаженням.

Конструкція на рис. 4 використовується для запобігання розповсюдження вібрацій, захисту баласту від динамічних навантажень і поліпшення стійкості верхньої будови колії.

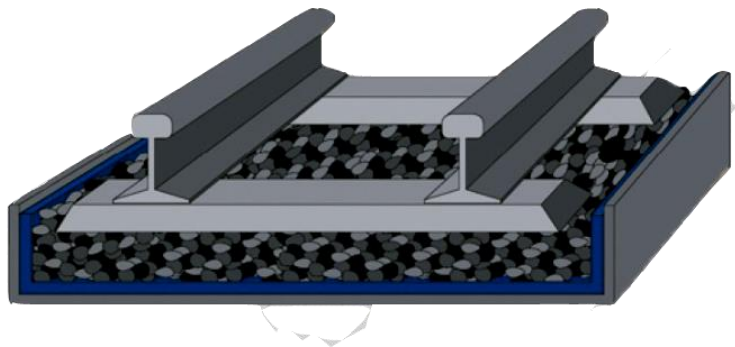


Рис. 2. Підбаластні мати

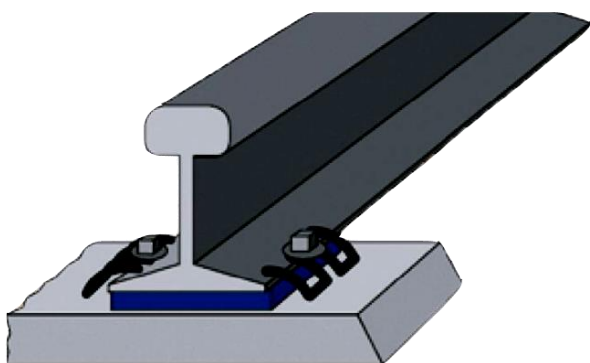


Рис. 3. Підрейкові і нашпальні прокладки

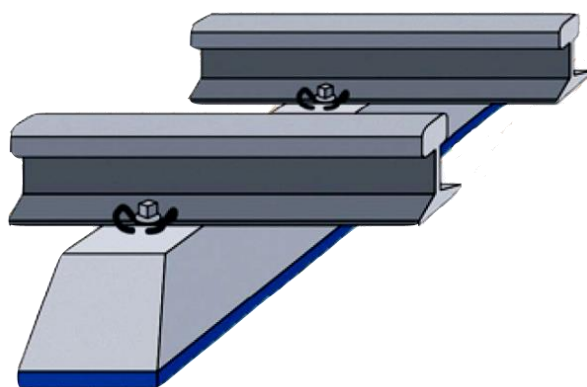


Рис. 4. Підшпальні прокладки

Дані матеріали належать до гумової промисловості, зокрема до виробництва вібродемпфувальних еластомірних матеріалів, які застосовуються для зменшення або усунення вібраційних коливань у промислових установках, електронних приладах, у будівництві. Вібродемпфувальний еластомірний матеріал містить сополімер бутадієн-нітрильного каучуку з вмістом нітрилу акрилової кислоти і полівінілхлориду, бутадієн-нітрильний каучук з вмістом нітрилу акрилової кислоти, вулканізуючу систему, наповнювач, пом'якшувач і технологічні добавки. Матеріал має високі фізико-механічні та експлуатаційні властивості, термін експлуатації перевищує 50 років, поглинання до 85 % енергії вібрації в діапазоні частот від 2 до 10000 Гц, робоче навантаження до 700 т/м², висока стійкість виробів до впливів нафтових і тваринних масел, бензину і палив, лугів і кислот, озоностійкість,

стійкість до гідролізу, а також високі електроізоляційні характеристики.

Основна частина досліджень. Сьогодні на ринку вібродемпфувальних еластомірних матеріалів відомі такі імпорتنі матеріали, як Sylomer® і Sylodyn® виробництва австрійської фірми Getzner Werkstoffe GmbH, як віброізолюючі матеріали, що являють собою мікропористий поліуретановий еластомір зі змішаною відкрито-закритою структурою. На їх основі виготовляють віброізолюючі опори для застосування в будівництві, на транспорті і в різних галузях промисловості, у пружних опорах для віброізоляції інженерного та промислового обладнання, фундаментів будівель і споруд, залізничних рейкових колій і метрополітену тощо. [4].

Демпфувальні матеріали працюють, змінюючи частоту власних коливань віброуючої поверхні, тим самим знижуючи рівень викликаного ними шуму і

збільшуючи втрати енергії при проходженні коливальних у середині матеріалу.

Найпоширенішим механізмом демпфірування вібрації є в'язкопружне демпфірування. Термін «в'язкопружне» означає, що демпфірувальний матеріал має як еластичну, так і пластичну складові поведінки. Ізолюючі коливання елементів при подібному використанні можуть бути отримані з поліуретанових (ПУР) матеріалів. Поліуретани отримують при використанні поліізоціанату, більшості випадків діізоціанату, поліолу з довгим ланцюгом, у більшості випадків діолу і органічної сполуки з коротким ланцюгом з кінцевими гідроксильними або аміногрупами та/або води.

У подальшому в дослідженнях буде вдосконалюватися демпфірувальний матеріал, з включенням до нього синтетичних каучуків загального і спеціального призначення (бутилкаучук, уретани, бутадиєн-нітрильний каучук), які виробляються в нашій країні.

На сьогодні український виробник не представлений у даному сегменті ринку, проте в нас є вся необхідна сировинна база для виробництва, про це свідчать такі дані [5].

Українська хімічна промисловість є експортноорієнтованою. Основними експортними продуктами є мінеральні добрива й неорганічна хімія, основними імпортованими продуктами – полімери та пластмаси (46 % імпорту у 2007 р.). У споживанні хімічної продукції товари групи «полімери і пластмаси» займають трохи менше половини ринку хімічної продукції (42-43 % у 2007 р.). Це найдинамічніше зростаюча група хімічних товарів.

В Україні недостатньо освоєних власних запасів нафти, що позначилося на відсутності сировини для нафтохімічного виробництва, виробництва пластмас і полімерів. Як наслідок, темпи зростання виробництва полімерної продукції значно менші за темпи зростання імпорту полімерів і пластмас.

До хімії полімерів належить виробництво хімічних волокон і ниток, синтетичних смол, пластмас, каучуку. Центрами виробництва штучних і синтетичних волокон є збудована ще в 1936 р. велика фабрика віскозного шовку в Києві, Сокальський (Львівська обл.) і Житомирський заводи хімічного волокна, а також виробничі об'єднання «Хімволокно» в Черкасах і Чернігові. Спеціалізовані підприємства, які виробляють синтетичні смоли і пластичні маси, знаходяться в Донецьку, Прилуках (Чернігівська обл.), Запоріжжі, Луцьку, в інших містах.

В Україні можна виділити три райони територіальної концентрації хімічної та нафтохімічної промисловості: Донбас, Придніпров'я і Передкарпаття. На Донбасі зосереджено близько третини випуску продукції галузі, причому більше її виробляється на Луганщині. У межах цієї області сформувалися найбільші в Україні вузли хімічної спеціалізації – Лисичансько-Рубіжанський (Севродонецькі виробничі об'єднання «Азот» і «Склопластик», Лисичанський содовий завод, Рубіжанське виробниче об'єднання «Барвник»), а також Горлівсько-Донецький (Горлівське виробниче об'єднання «Стирол», Слов'янське виробниче об'єднання «Хімволокно», Донецький завод хімреактивів).

Високий рівень концентрації продукції цієї галузі у Дніпропетровській області (понад 10 %), де діє Дніпропетровсько-Дніпродзержинський вузол (Дніпропетровський лакофарбовий завод, Дніпродзержинське об'єднання «Азот»). На заході України виробляється близько 8 % продукції хімічної галузі країни. Тут функціонують Львівський, Новояворівський, Сокальський, Калуський та інші центри.

Для успішного функціонування підприємства галузі потребують залучення інвестицій. Обсяг інвестицій має вкрай нестабільний характер і вибірковість.

Загальну картину інвестицій в основний капітал всього хімічного комплексу показано на рис. 5.

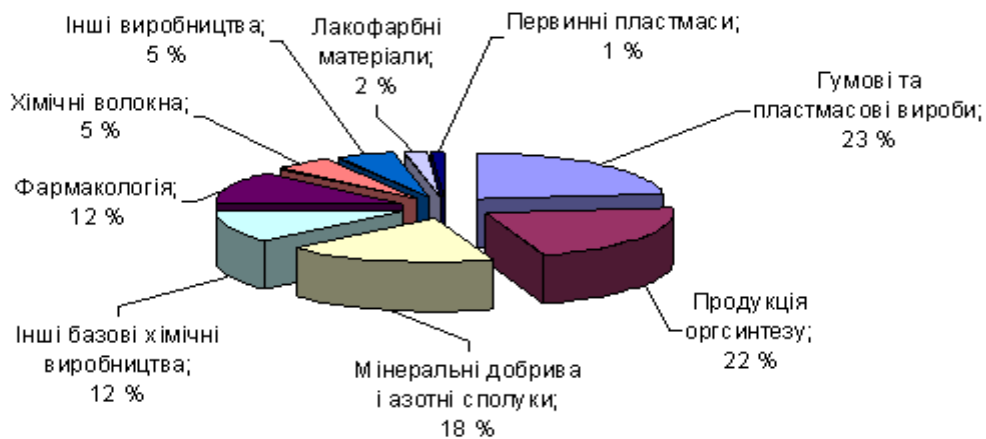


Рис. 5. Структура інвестицій в основний капітал хімічного комплексу України

Слід зазначити, що виробництво гумових і пластмасових виробів отримали 23 % капіталовкладень у загальній структурі інвестувань у хімічний комплекс України. Фактори, що перешкоджають розкриттю інвестиційної привабливості

галузі виробництва виробів з полімерів, наведено на рис. 6. Фактори, що формують інвестиційну привабливість галузі виробництва виробів з полімерів, наведено на рис. 7.

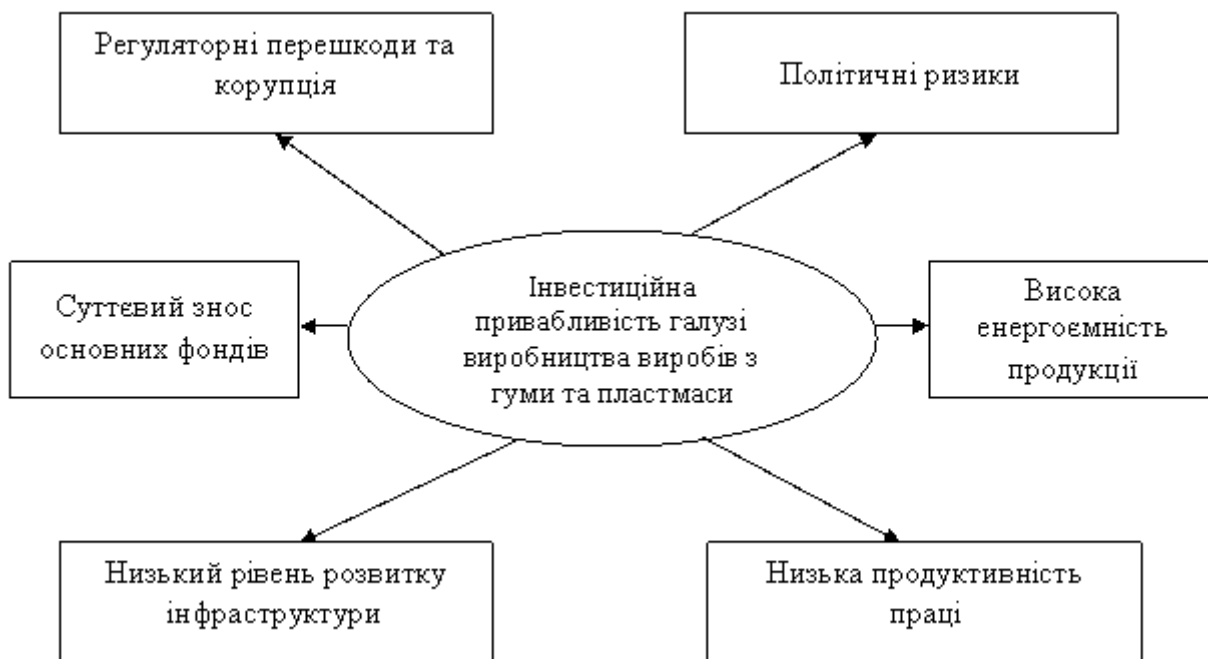


Рис. 6. Фактори, що перешкоджають розкриттю інвестиційної привабливості галузі виробництва виробів з гуми та пластмаси



Рис. 7. Фактори, що формують інвестиційну привабливість галузі виробництва виробів з гуми та пластмаси

Із наведених на рис. 7 факторів значну увагу слід приділити невисоким екологічним стандартам, що існують в Україні. Вся хімічна промисловість є екологічно небезпечною і багато розвинених країн розміщують і розвивають виробництво хімічних товарів у країнах, що розвиваються. Саме з таких позицій Україна є привабливою для іноземних інвесторів [5].

Висновки. На сьогодні дуже актуально стоїть завдання щодо зниження

шуму, вібрації та струмів витоку з рейкового транспорту, особливо в населених пунктах. В Україні електро-, вібро-, звукопоглинальних матеріалів для залізничного транспорту не виробляється, а використовуються імпорتنі матеріали та вироби. Проте перспективи розвитку виробництва такого типу матеріалів дуже великі, цьому сприяють у першу чергу різноманітна сировинна база і розвиток хімічної промисловості, а також великий науковий потенціал.

Список використаних джерел

1. Шуба, Т. Досвід застосування нових конструкцій безбаластного залізничного полотна у Польщі та оцінка перспектив їх застосування в Україні [Текст] / Т. Шуба, В. Чистяк, В. Перестук [та ін.] // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 122. – С. 201-221.
2. Рельсовий транспорт [Електронний ресурс] // Sylomer – Виброізоляційні матеріали нового покоління. – Режим доступу: URL: http://www.sylomer.ua/relsovyu_transport.html.
3. ДБН 360-92**. Містобудування. Планування та забудова міських і сільських поселень. Захист від шуму, вібрації, електричних і магнітних полів, випромінювань і опромінення [Текст] : ДБН 360-92 ** є перевиданням ДБН 360-92* з урахуванням змін № 4 – № 10 з дозволу Держбуду України (Лист від 19.03.2002 р № 1 / 52-170). – К., 2002. – 64 с.
4. Getzner Products [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://www.getzner.com/en/products>.

5. Вознюк, О. М. Тенденції розвитку галузі виробництва виробів з гуми та пластмаси в Україні [Електронний ресурс] / О. М. Вознюк // Ефективна економіка. – 2010. – № 7. – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=263>.
6. Виброизоляциянные маты USM[®] для рельсовых путей [Электронный ресурс] // Calenberg Ingenieure GmbH. – Режим доступа: <http://www.calenbergingenieure.ru/downloads/info-lmss-usm-g-1015.pdf>.
7. Nelson, J. A prediction procedure for rail transportation groundborne noise and vibration [Електронний ресурс] / J. Nelson, H. Saurenman // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1143 (1987). – P. 26–35. – Режим доступу: http://www.adc40.org/docs/paper_award/1988%20Paper%20Award.pdf.
8. Виброизоляция трамвайных и железнодорожных путей [Електронний ресурс] // Звукоизоляция и акустика помещений. – Режим доступу: <http://soundoff.com.ua/index.php?page=vibroizolyatsiya-tramvajnyh-i-zheleznodorozhnyh-putej>.
9. Connolly, D. P. Assessment of railway vibrations using an efficient scoping model [Електронний ресурс] / D.P. Connolly, G. Kouroussis, A. Giannopoulos, O. Verlinden, P.K. Woodward, M.C. Forde // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – Vol. 58, March 2014, P. 37-47. – Режим доступу: http://ac.els-cdn.com/S0267726113002662/1-s2.0-S0267726113002662-main.pdf?_tid=13354d60-0d78-11e7-a6e6-00000aab0f02&acdnat=1490019682_03a2cc89160e44e3dacde539b25373e1.
10. Beskos, D. E. Vibration isolation using open or filled trenches – Part 1 : 2-D homogeneous soil [Електронний ресурс] / D.E. Beskos, B. Dasgupta, I.G. Vardoulakis // Computational Mechanics. – Vol. 1 (1). – 1986, P. 43-63. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/225967543_Vibration_isolation_using_open_or_filled_trenches_-_Part_1_2-D_homogeneous_soil.
11. Kattis, S. E. Modelling of pile wave barriers by effective trenches and their screening effectiveness [Електронний ресурс] / S.E. Kattis, D. Polyzos, D.E. Beskos // Soil Dynamics and Earthquake Engineering/ – Vol. 18 (1). – 1999, P. 1-10. – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0267726198000323>.

Плугін Дмитро Артурович, д-р техн. наук, доцент, професор кафедри будівельних матеріалів конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. +38 057 730-10-63.
E-mail: plugin.da@gmail.com.

Савченко Олександр Михайлович, аспірант кафедри будівельних матеріалів конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (097) 010-83-12.
E-mail: savcenkoa285@gmail.com.

Палант Олена Валентинівна, аспірант кафедри будівельних матеріалів конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (066) 538-05-41. E-mail: elyakina.elena@rambler.ru.

Dmytro A. Plugin, D.Sc. Associated Professor, Professor of Building Materials, Constructions and Buildings Department Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38 057 730-10-63. E-mail: plugin.da@gmail.com.
Alexander Savchenko, graduate student of Building Materials, Constructions and Buildings Department Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (097) 010-83-12. E-mail: savcenkoa285@gmail.com.
Olena Palant, graduate student of Building Materials, Constructions and Buildings Department Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (066) 538-05-41. E-mail: elyakina.elena@rambler.ru.

Стаття прийнята 04.04.2017 р.

УДК 624.138.4

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГРУНТА, ЗАГРЯЗНЕННОГО ПЕРУКСУСНОЙ КИСЛОТОЙ

Ассист. А. М. Левенко (ХНУГХ имени А. Н. Бекетова)

ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАСИВУ ҐРУНТУ, ЗАБРУДНЕНОГО ПЕРОЦТОВОЮ КИСЛОТОЮ

Асист. Г. М. Левенко (ХНУМГ імені О. М. Бекетова)

ESTIMATION OF THE STRESS-DEFORMED STATE OF GROUND, POLLUTED BY PEROXIC ACID

Levenko Ganna (O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)

Проведена оцeнка напpяженно-деформированного состояния массива грунта, загрязненного перуксусной кислотой. Определены напряжения, возникающие в массиве грунта в естественном состоянии, после попадания в него кислоты и химического закрепления его силикатом натрия. Получены все параметры напряженно-деформированного состояния грунтового массива при различных физико-механических условиях. Определено, что после проведения работ по закреплению силикатизацией грунтового массива, загрязненного растворами перуксусной кислоты, величина деформаций уменьшается на 26,11-48,9 %, а напряжения в грунтовом массиве снижаются в 1,8-2,6 раза.

Ключевые слова: силикатизация, химическое набухание, напряженно-деформируемое состояние грунта, перуксусная кислота.

Проведено оцінку напружено-деформованого стану масиву ґрунту, забрудненого пероцтовою кислотою. Визначено напруги, що виникають у масиві ґрунту в природному стані, після потрапляння в нього кислоти і хімічного закріплення його силікатом натрію. Отримано всі параметри напружено-деформованого стану ґрунтового масиву при різних фізико-механічних умовах. Визначено, що після проведення робіт з закріплення силікатизацією ґрунтового масиву, забрудненого розчинами пероцтової кислоти, величина деформацій зменшується на 26,11-48,9 %, а напруги в ґрунтовому масиві знижуються в 1,8-2,6 рази.

Ключові слова: силікатизація, хімічне набрякання, напружено-деформований стан ґрунту, пероцтова кислота.

Existing norms regulate only design rules for swelling soils, but do not provide an opportunity to predict the further behavior of the substrate in the case of chemical contamination. In addition, the process of behavior of swelling soils after their chemical fixation and the stress-strain state (VAT) of the system "fixed base - foundation - construction" The stress-strain state of a soil massif contaminated with peracetic acid was estimated. Stresses appearing in the soil massif in the natural state are determined after acid enters it and after chemical fixation with sodium silicate. All the parameters of the stress-strain state of the soil massif are obtained under various physical and mechanical conditions. It was determined that after the work on silicate consolidation of the soil mass, contaminated with solutions of peracetic acid, the magnitude of deformations decreases 26.11-48.9%, and the stresses in the soil massif decrease 1.8-2.6 times.

Key words: silicization, chemical swelling, stress-strain state of soil, peracetic acid.

Вступ. В последнее время возникла проблема загрязнения промышленными стоками грунтов непосредственно под промышленными зданиями, что в свою очередь приводит к набуханию оснований, перемещениям фундаментов и разрушению строительных конструкций [1, 2, 5]. Поэтому при проектировании следует учитывать влияние набухания на всю систему «основание – фундамент – сооружение» для более надежной работы конструкции. Существующие нормы [3, 4] регламентируют лишь правила проектирования на набухающих грунтах, но не дают возможности прогнозировать дальнейшее поведение основания в случае химических загрязнений. Кроме того, мало изучен процесс поведения набухающих грунтов после их химического закрепления и напряженно-деформируемое состояние (НДС) системы «закрепленное основание – фундамент – сооружение».

Анализ последних исследований и публикаций. Решение проблемы с учетом совместной работы системы «основание – фундамент – сооружение» предложено в работе [9]. Предлагается представлять массив грунта, состоящий из набухающих грунтов, в виде линейно-деформируемой среды, набухание основания учитывать как дополнительное влияние, близкое по природе к температурному, а набухающий грунт рассматривать как материал, обладающий ортотропными свойствами.

Некоторые авторы [8] считают, что наиболее подходящим для оценки напряженно-деформируемого состояния (НДС) системы «основание – фундамент – сооружение» является метод конечных элементов. При этом рекомендуется моделировать каждую из частей системы отдельно, что позволяет увидеть изменения в НДС системы и в процессе производства работ корректировать принятые решения.

В работах [6, 7] представлены методики учета влияния набухания грунтового основания на НДС системы «основание – фундамент – сооружение» в условиях

плоской деформации. Дополнительное давление от набухания грунта рекомендуется учитывать как внешнюю нагрузку, приложенную на фундаменты в участках влияния бугра набухания.

Однако ни одна из описанных ранее методик не дает решения проблемы оценки НДС состояния грунтовых массивов под влиянием химически активных веществ, в частности перексусной кислоты.

Определение цели и задачи исследования. Целью исследования является оценка напряженно-деформируемого состояния массива грунта, загрязненного перексусной кислотой.

Основная часть исследования. Настоящее исследование реализовано в виде численного эксперимента, состоящего из серии расчетов для различных грунтовых состояний; проводились расчеты четырех типов грунтовых оснований, для которых рассматривались четыре расчетные схемы поведения.

Основные гипотезы и допущения: в качестве модели основания принята модель линейно-деформируемого полупространства.

Задаваемые жесткостные характеристики: E_i – модуль деформации, ν_i – коэффициент Пуассона (табл. 1), P_i – нагрузка, передаваемая на основание.

Рассматривается плоская задача, грунтовый массив находится в условиях плоской деформации и имеет размеры 10 x 10 м. По центру массив воспринимает нагрузку от фундамента шириной 1 м (зона 3). Внутри массива находится зона 1 с размерами 5 x 5 м, подверженная закислению и в дальнейшем закреплению. Остальная часть массива представляет зону 2.

Во внимание принимались следующие расчетные схемы:

- расчетная схема 1. Зона I, II – грунт с нормальными (естественными) характеристиками. Зона 3 – фундамент, бетон С16/20. Нагрузка на зону 3 – сосредоточенная сила 100 т;

- расчетная схема 2. Зона II – грунт с нормальными (естественными) характеристиками. Зона I – грунт с закисленными характеристиками. Зона III – фундамент, бетон C16/20. Нагрузка на зону III – сосредоточенная сила 100 т;

- расчетная схема 3. Зона II - грунт с нормальными (естественными) характеристиками. Зона I – грунт с закисленными

характеристиками. Зона III – фундамент, бетон C16/20. Нагрузка на зону III – сосредоточенная сила 125 т;

- расчетная схема 4. Зона II – грунт с нормальными (естественными) характеристиками. Зона II – грунт с уплотненными характеристиками. Зона III – фундамент, бетон C16/20. Нагрузка на зону III – сосредоточенная сила 125 т.

Таблица 1

Значения характеристик модуля деформации и коэффициента Пуассона

Наименование грунтов	Коэффициент Пуассона			Модуль деформации, МПа		
	до закрепления в естественном состоянии	после закисления	после закрепления	до закрепления в естественном состоянии	после закисления	после закрепления
Песок пылеватый, кварцевый	0,30	0,35	0,27	31,5	21,5-22,03	38,9
Супесь буровато-жёлтая, пластичная	0,34	0,39	0,30	22,6	19,9-21,9	42
Суглинок тяжелый, тугопластичный	0,36	0,41	0,30	26,7	16,9-24,8	38
Глина полутвердая, серая	0,42	0,50	0,36	22,4	18,9-21,9	37,9

Координаты узлов модели задавались из результатов расчета деформаций расчетной схемы 2.

Моделирование производилось в «Лире САПР». Конечноэлементная модель (рис. 1) формировалась из КЭ-21 – прямоугольный элемент плоской задачи (балка-стенка). Модель включала 1686 узлов и 1604 элемента. Толщина элементов условно назначалась равной 1 м.

В результате были получены характеристики напряженно-деформированного состояния основания при четырех различных условиях загрязнения и нагружения.

Основным критерием для сравнения были приняты значения перемещений вдоль осей X, Y и Z, а также величины напряжений, возникающих в грунтовом массиве.

В табл. 2 также представлены напряжения, возникающие в массиве грунта для четырех групп грунтов в условиях, заданных расчетными схемами РС-1, РС-2, РС-3 и РС-4.

Из результатов расчетов наглядно видна картина (рис. 2) изменения величины деформации грунтового массива при четырех заданных условиях. После проведения работ по закреплению грунтового массива, загрязненного растворами перуксусной кислоты, величина деформаций уменьшается:

- на 48,9 % для грунтов с параметром $L < 3$ %;
- на 26,11 % для грунтов с параметром $L 3-10$ %;
- на 32 % для грунтов с параметром $L 10-30$ %;

- на 33,4 % для грунтов с параметром $L > 30$ %.

Результаты расчета иллюстрируются полями вертикальных перемещений грунтового массива (рис. 3) и в табличном виде (табл. 2).

Это наглядно указывает на качественное улучшение состояния грунтового

массива после закрепления его рекомендуемыми в работе рецептурами. После проведения работ по улучшению строительных свойств массивов грунта, загрязненных промышленными стоками перуксусной кислоты, деформации грунтов практически равняются деформациям в их естественном состоянии.

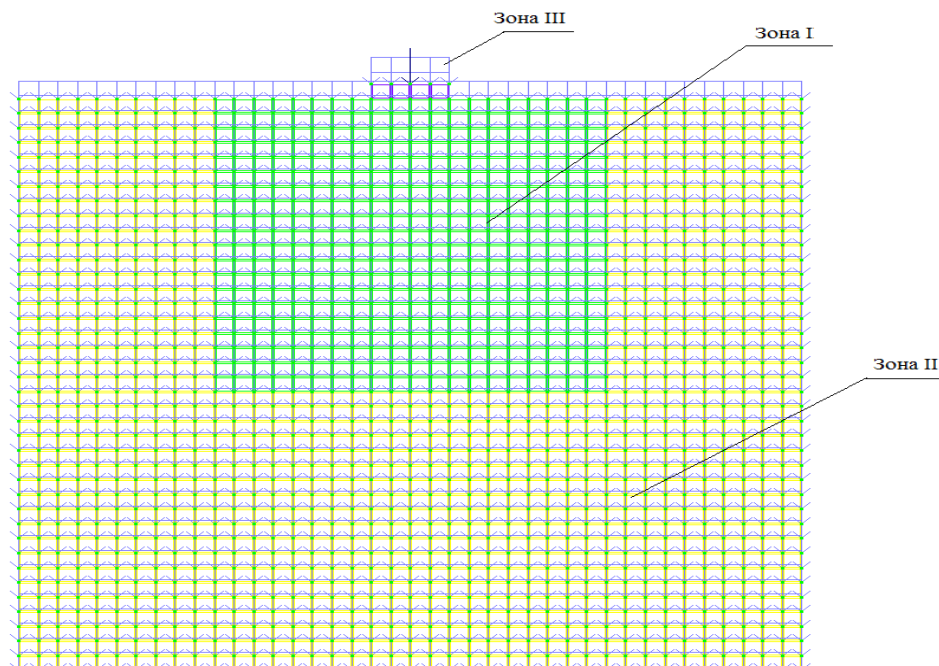


Рис. 1. Конечноэлементная модель: зона I – грунт с закисленными (закрепленными) характеристиками; зона II – грунт с естественными характеристиками; зона III – фундамент

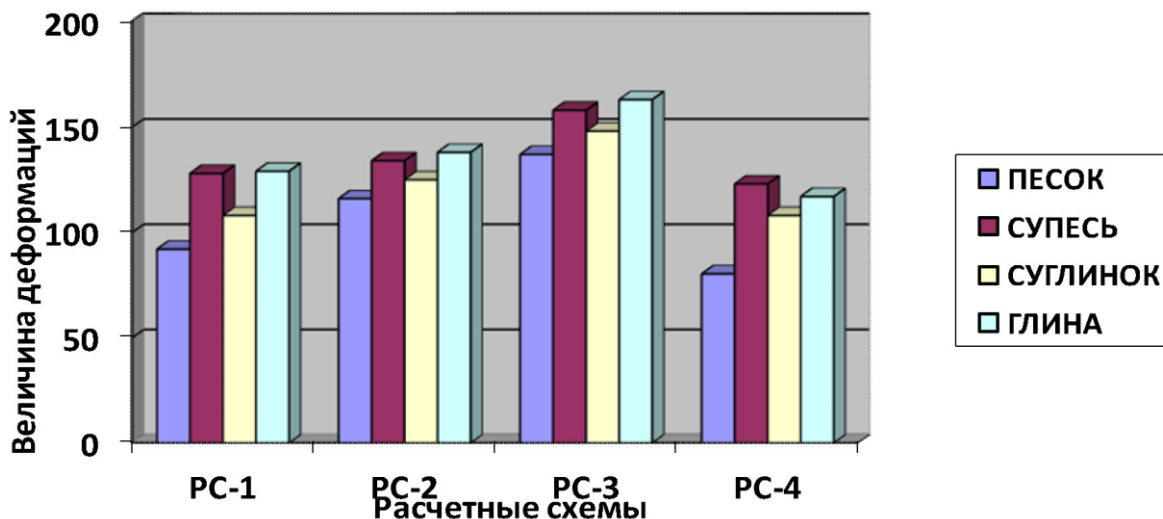


Рис. 2. График изменения величины деформаций грунтового массива при различных расчетных схемах

Напряжения и вертикальные перемещения грунтовых массивов

Исследуемый параметр		Грунт				
		Песок пылеватый, кварцевый	Супесь буровато-жёлтая, пластичная	Суглинок тяжёлый, тугопластичный	Глина полутвердая, серая	
Вертикальные перемещения массива грунта, мм	РС-1	92	128	108	129	
	РС-2	116	134	125	138	
	РС-3	137	158	148	138	
	РС-4	80,3	123	108	117	
Напряжения в массиве грунта, кН/см ²	РС-1	σ_x	-0,0377	-0,0369	-0,0366	-0,355
		σ_z	-0,101	-0,101	-0,101	-0,1
		τ_{xz}	-0,0679	-0,0679	-0,0678	-0,0678
	РС-2	σ_x	-0,37	-0,036	-0,357	-0,0339
		σ_z	-0,101	-0,101	-0,1	-0,0998
		τ_{xz}	-0,0679	-0,0678	-0,678	-0,0676
	РС-3	σ_x	-0,0462	-0,045	-0,447	-0,0424
		σ_z	-0,126	-0,0126	-0,125	-0,125
		τ_{xz}	-0,0849	-0,0847	-0,847	-0,845
	РС-4	σ_x	-0,0373	-0,0368	-0,369	-0,0357
		σ_z	-0,101	-0,101	-0,101	-0,1
		τ_{xz}	-0,0832	-0,0833	-0,833	-0,0832

Выводы:

1. Выполнена оценка напряженно-деформированного состояния массива грунта, загрязненного перуксусной кислотой.

2. В результате компьютерного моделирования массивов грунтов, загрязненных растворами перуксусной кислоты, определено, что после проведения

закрепления грунтов силикатизацией величина деформаций уменьшается на 26,11-48,9 % в зависимости от разновидности грунта основания.

3. Сопоставление результатов расчетов напряжений указывает на то, что после проведения закрепления напряжения в грунтовом массиве снижаются в 1,8-2,6 раза.

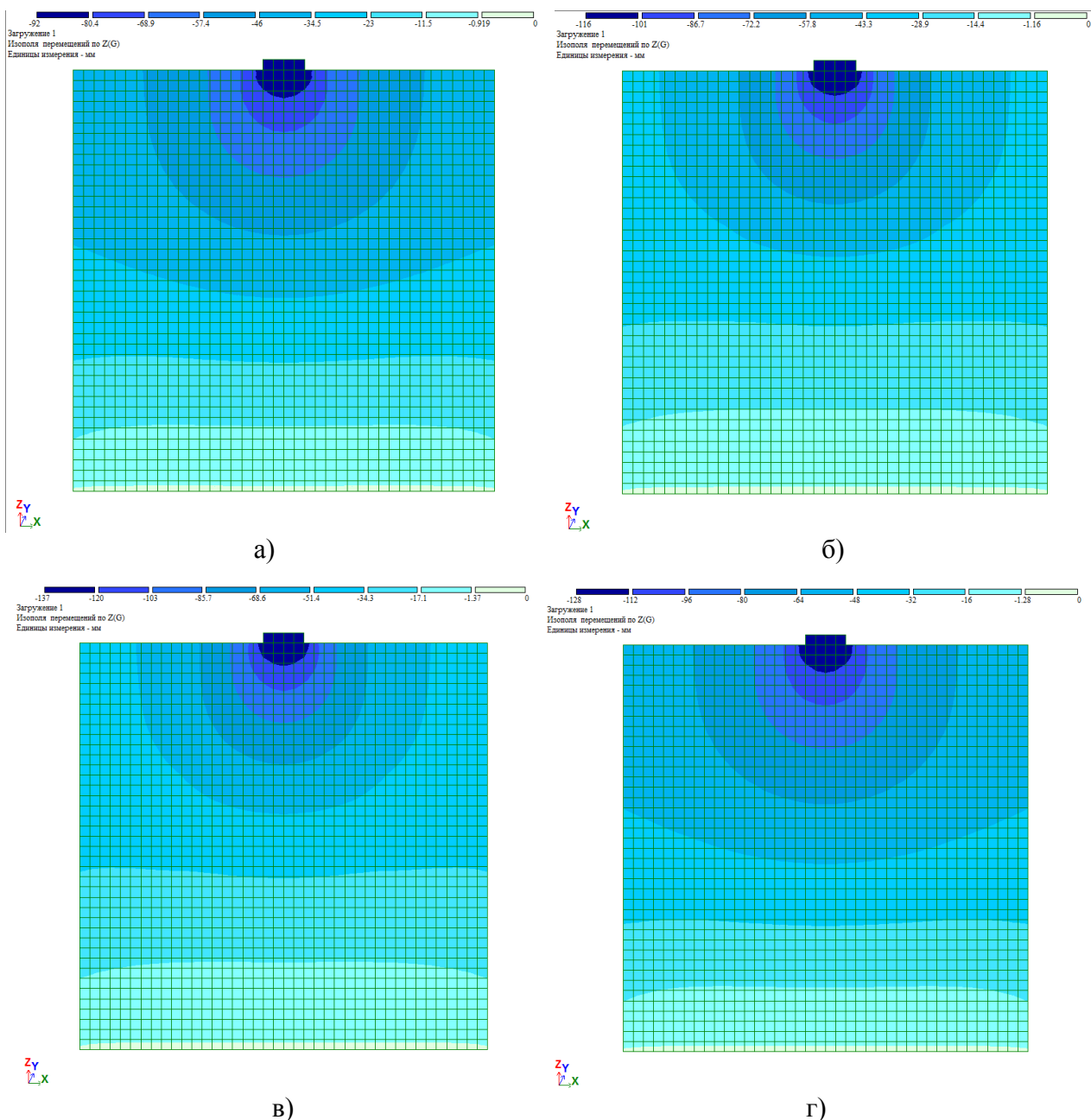


Рис. 3. Вертикальные перемещения массива грунта: а – РС-1; б – РС-2; в – РС-3; г – РС-4

Список использованных источников

1. Radhakrishnan G., Anjan Kumar Dr M., Dr GVR Prasada Raji. Swelling properties of expansive soils treated with chemicals and flash. American Journal of Engineering Research (AJER). – volume 03, issue – 04, 2014. – P. 245-250.
2. Patil B.M., Patil K.A. Effect of industrial waste and RBI Grade 81 on swelling characteristics of clayey soil. Facta Universitatis Series : Architecture and Civil Engineering. – 2013. – 11(3). – P. 231-236.
3. ДБН А.2.1-1-2008. Инженерные изыскания для строительства [Текст]: чинний з 2008-08-01. – К., 2008. – 78 с.
4. ДСТУ Б В.2.1-3-96 (ГОСТ 30416-96). Грунти. Лабораторні випробування. Загальні положення [Текст]: чинний з 1996-05-15. – К., 1997. – 24 с.

5. Takahashi A., D. W. H. Fung, R. J. Jarsine. Swelling effects on mechanical behaviour of natural London clay // Proc. 16th Intern. Conf. Soil Mecg. And Geot. Engng. – Osaca, 2005. – P.443-446.

6. Винников, Ю. Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі [Текст]: монографія / Ю.Л. Винников. – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2004. – 237 с.

7. Габибов, Ф. Г. Проблемы регулирования свойств структурно-неустойчивых глинистых грунтов в основаниях сооружений [Текст] / Ф.Г. Габибов. – Баку: «ЭЛМ», 1997. – 287 с.

8. Воблых, В. А. Моделирование грунтового основания из набухающих грунтов при определении напряженно-деформированного состояния системы «основание – фундамент – сооружение» [Текст] / В.А. Воблых, О.В. Кичаева // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХГТУСА, 2003. – Вип. 23. – С. 55-59.

9. Храпатова, И. В. Учет влияния набухания грунтового основания на НДС системы «основание – фундамент – сооружение» в условиях плоской деформации [Текст] / И.В. Храпатова // Світ геотехніки: наук.-техн. журнал. – Запоріжжя, 2008. – Вип. 2. – С. 26-29.

Левенко Гнна Михайлівна, асистент кафедри механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. Тел.: (057) 707 31 12. E-mail: levenkoanna@mail.ru.

Levenko Ganna, assistant of department of Soil Mechanics, Foundation and Geology O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (057) 707 31 12. E-mail: levenkoanna@mail.ru.

Стаття прийнята 04.04.2017 р.

УДК 656.2

УДОСКНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗАЛІЗНИЧНИХ ШВИДКІСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНИХ КОМПЛЕКСІВ (ХАБІВ)

В. Ю. Резник

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОК В УКРАИНЕ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ (ХАБОВ)

В. Ю. Резник

IMPROVEMENT OF HIGH-SPEED RAILWAY TRANSPORT IN UKRAINE THROUGH USING OF TRANSPORT INTERCHANGE SYSTEMS (HUBS)

V. Y. Rezyk

У даній роботі розглянуто вирішення актуальної проблеми щодо впровадження в Україні принципово нової комплексної моделі організації пасажирських перевезень у внутрішньому сполученні для забезпечення транспортного поєднання обласних і великих промислових центрів.

З цією метою проаналізовано світовий досвід організації роботи вокзальних комплексів, внаслідок чого сформульовано основні напрямки організації перевезень на далекій відстані переважно швидкісним денним рухомим складом при поступовій відмові від традиційної системи організації пасажирського руху та організації місць пересадки пасажирів на основі створення пересадочних центрів (хабів) перерозподілу пасажиропотоків.

Ключові слова: транспортно-пересадочні комплекси (хаби), залізничні вокзали, пасажирські перевезення, високошвидкісна магістраль, швидкісний рух.

В данній роботі рассмотрено рішення актуальної проблеми о внедрении в Украине принципиально новой комплексной модели организации пассажирских перевозок во внутреннем сообщении для обеспечения транспортного соединения областных и крупных промышленных центров. С этой целью проанализирован мировой опыт организации работы вокзальных комплексов, в результате чего сформулированы основные направления организации перевозок на дальние расстояния предпочтительно дневным подвижным составом при постепенном отказе от традиционных систем организации пассажирского движения и организации мест пересадки пассажиров на основе создания пересадочных центров (хабов) перераспределения пассажиропотоков.

Ключевые слова: транспортно-пересадочные комплексы (хабы), железнодорожные вокзалы, пассажирские перевозки, высокоскоростная магистраль, скоростное движение.

In this paper, there is a solution of actual problems with implementation in Ukraine fundamentally new model of integrated passenger transport in domestic traffic transport to provide a connection of regional and major industrial centers.

To this end, analyzes the international experience of the work of station complexes, thus formed the main directions of the organization of transport over long distances mainly by fast day rolling stock, the gradual rejection of the traditional system of passenger traffic and the organization of passenger interchange places through the creation of interchange centers (hubs) of redistribution of passenger flow.

Keywords: transport interchange systems (hubs), railway stations, passenger transportation, high-speed railway, high-speed movement.

Вступ. Інтеграційні процеси у світі та участь у них України створюють прийнятні умови для подальшого розвитку єдиного європейського ринку товарів і послуг, у тому числі і транспортного комплексу, який служить основою до зростання обсягів як вантажних, так і пасажирських перевезень.

У зазначених умовах принципово новими вимогами до якості транспортного обслуговування є в першу чергу підвищення швидкості і комфорту доставки пасажирів.

У той же час внаслідок жорсткої конкуренції з боку інших видів транспорту (особливо авіаційного) радикальним і

ефективним заходом з прискорення перевезень пасажирів у внутрішньому та міжнародному сполученнях є вдосконалення мережі швидкісних (у перспективі високошвидкісних) залізничних магістралей із з'єднанням їх з європейськими залізницями і країн СНД.

Так, завдяки розвитку інфраструктури та забезпеченню якості, точності, надійності і комфорту масових перевезень зі збільшенням швидкості руху від 160 до 200 км/год і вище на міжнародних напрямках, а також удосконаленню системи внутрішніх пасажирських перевезень на магістралях, що з'єднують місто Київ з більшістю обласних центрів і

великих індустріальних регіонів та останніх між собою, при скороченні тривалості поїздки значно зростає конкурентоспроможність в умовах ринку залізниць України.

У зазначених умовах вітчизняні залізниці можуть стати основним видом транспорту при перевезенні пасажирів територією України та в міжнародному сполученні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасний досвід організації пасажирських перевезень та технології роботи вокзалів досліджуються в багатьох працях закордонних і вітчизняних науковців, зокрема в роботах Ф.П. Кочнева, В.А. Федорова, Г.Н. Плахова, Б.Є. Марчука [4, 5, 6].

У рамках зазначених дослідницьких робіт доведено необхідність наукового обґрунтування вирішення технологічних завдань щодо моделювання і прогнозування пасажирських і поїзних потоків за напрямками їх руху, складання плану формування і схем обігу пасажирських поїздів, проведення аналізу завантаження залізничних вокзалів та ув'язки розкладу поїздів у вузлах між собою і з іншими видами транспорту.

Також закладено основи функціонування єдиної системи управління продажем квитків на мережі залізниць, що дає можливість створення ідеологічної основи сучасної автоматизованої системи управління (АСУ) пасажирськими перевезеннями.

У дослідженнях Ф. П. Кочнева [4] запропоновано спосіб розрахунку плану формування пасажирських поїздів (ПФПП) для полігону мережі з семи станцій на основі техніко-економічних розрахунків. Подальший розвиток поставлене завдання отримало в роботах [7, 8], у яких дана функція виконується за допомогою ЕОМ, що дозволило здійснювати розрахунки для великих полігонів залізничної мережі. Однак зазначені розрахунки не

передбачали можливість обліку пасажирів з урахуванням пересадки.

Розрахунки ПФПП в межах залізничної мережі з урахуванням пересадки пасажирів виконано в роботі [9], а саме професор Ю. О. Пазойський запропонував вирішення завдання побудови ПФПП з одночасним розподілом пасажиропотоків по поїздах та обліком оцінок різних варіантів пересадок пасажирів. Однак застосування даного методу є досить складним при розв'язанні задачі великої розмірності.

Також вченими Сеульського національного університету [10] для аналізу варіантів стикування в залізничній мережі високошвидкісних поїздів (від англ. High Speed Railroad, HSR) із звичайними поїздами розроблено модель цілочисельного нелінійного програмування. Дані дослідження вказують на вдосконалення пасажирських перевезень за рахунок планування типових варіантів пересадки пасажиропотоків. Китайськими розробниками [14] застосовано комплексний підхід при роботі взаємопов'язаних пересадочних комплексів на залізничному транспорті з урахуванням взаємодії пасажирських станцій з прилеглими дільницями.

У роботі [3] сформовано математичну модель, що відтворює рух пасажиропотоку по вокзалу з урахуванням пересадок.

Аналіз науково-дослідної діяльності вказує на важливість реалізації завдань комплексного розвитку вокзальних комплексів у єдиній системі пасажирських перевезень високошвидкісного, швидкісного і звичайного руху поїздів. Вказані теоретичні питання для їх практичної реалізації вимагають системного підходу до організації роботи пересадочних комплексів на основі реалізації новітніх технологій.

Дані нововведення сприятимуть моделюванню різних варіантів проїзду пасажирів у поїздах декількох категорій з урахуванням пересадок, що в перспективі надасть змогу реалізувати концепцію

трансферних пасажирських перевезень, регулювати завантаженість вокзалів і підвищувати точність планування перевезень на залізницях України.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою дослідження є виявлення нової моделі організації залізничного сполучення у внутрішньому та міжнародному напрямку для забезпечення транспортного поєднання промислових центрів і великих міст, що дозволить зберегти і поступово нарощувати рівень та обсяги пасажирських перевезень в Україні та за її межами.

Об'єктом дослідження є пасажирські комплекси і транспортно-пересадочні вузли. Предметом дослідження є пасажиро-потоки та закономірності їх формування.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

1. Дослідити значення і роль вокзалів у пасажирському секторі залізничних перевезень і житті суспільства в цілому та принципи їх організації в країнах світу.

2. Виявити світові тенденції розвитку та ефективного управління роботою вокзалів.

Основна частина дослідження. За п'ять років існування в Україні швидкісного руху філією «Українська залізнична швидкісна компанія» (дата створення 22.02.2012 р. згідно наказу Міністерства інфраструктури України №116) здійснено перевезення понад 12,1 мільйонів пасажирів. Узагальнені обсяги перевезення пасажирів у період 2013-2017 рр. наведено в таблиці та на рис. 1.

Таблиця

Кількість пасажирів, перевезених швидкісними поїздами УЗШК категорії Інтерсіті+ та Інтерсіті

Рік	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	Всього тис. пас.
2013	178	169	201	202	220	180	194	205	175	181	167	164	2 236
2014	149	54	20	26	68	127	159	194	176	203	203	225	1 604
2015	224	195	234	267	264	271	305,7	313,3	251	271,8	238,7	269,5	3 105
2016	270,1	232,3	262,4	278,8	308,5	319,2	382,4	398,1	308,5	345	323,0	379,0	3 807,3
2017	394,0	346,9											740,9
відхилення 2017 від 2016	124	115	-262	-279	-309	-319	-382	-398	-309	-345	-323	-379	-3 066
відхилення 2017 від 2015	170	152	-234	-267	-264	-271	-306	-313	-251	-272	-239	-270	-2 364

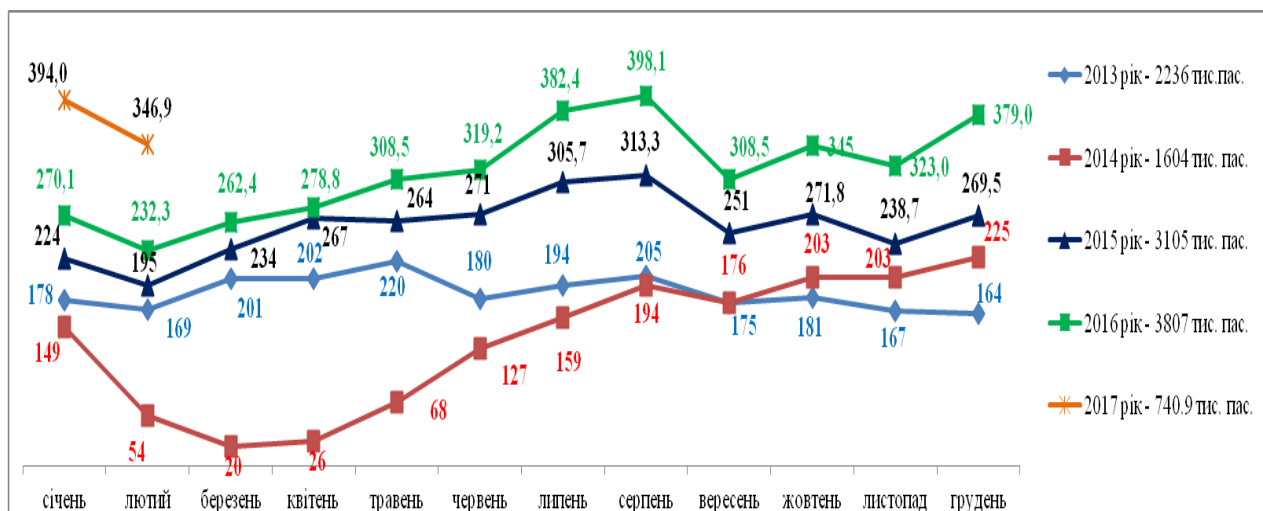


Рис. 1. Динаміка перевезення пасажирів по місяцях року

Також впроваджений з грудня 2016 р. міжнародний маршрут поїзда «Інтерсіті+» №705/706 сполученням Київ-Перемішль-Київ у складі електропоїзда HRCS2, розроблений з урахуванням можливості пересадки пасажирів по станції Перемішль на поїзд №3602 Перемішль – Краків - Вроцлав і у зворотному напрямку з №6302 Вроцлав - Краків - Перемішль, дає можливість значно збільшити обсяги пасажирообороту в міжнародному сполученні.

Крім того, відбулося зростання кількості пасажирських потоків у декілька разів під час проведення в Україні щорічного пісенного конкурсу Євробачення 2017 з подальшим прогностичним середньорічним темпом приросту на 2,8 % до 2025 р. Реалізація програми швидкісного руху вимагає перегляду зони покриття і системи організації маршрутів прямування пасажирських поїздів (схему розвитку швидкісного руху в Україні наведено на рис. 2). При цьому близько 60 % загального пасажиропотоку припадає саме на обласні центри України. Тобто основний пасажиропотік зосереджений у даних міських агломераціях, і переміщення пасажирів відбувається між зазначеними центрами.

З метою оптимального використання рухомого складу, зменшення часу прямування поїздів необхідно розглянути

питання щодо впровадження принципово нової комплексної моделі організації пасажирських перевезень у внутрішньому та міжнародному сполученні для забезпечення транспортного поєднання обласних і великих промислових центрів України та інших держав.

Так, враховуючи позитивний результат курсування швидкісних поїздів категорії «ІС+» та «ІС», а також економічні переваги використання денних поїздів перед нічними, з метою імплементації норм ЄС у сфері транспорту і підвищення ефективності пасажирських перевезень вважається доцільним здійснення переходу нічного руху на денний рух пасажирських поїздів з реалізацією концепції створення транспортно-пересадочних комплексів, так званих хаб-центрів у великих містах (залізничних вузлах).

Слово «хаб» має багато економічних смислових відтінків, воно було запозичено з англійської мови в середині ХХ ст. спочатку як авіаційний термін, а потім загальний транспортний термін.

Хаб в авіації – це аеропорт, що відрізняється від інших значним обсягом пересадочних і перевантажувальних робіт. Такий обсяг був обумовлений зручним просторовим положенням – перетином вантажних і пасажирських потоків.

Пізніше це значення перейшло і на інші види транспорту. Як загальний

транспортний термін хаб – це пересадочний і перевантажувальний вузол.



Рис. 2. Подальший розвиток топології мережі швидкісної магістралі України

З огляду на географічне та геополітичне положення Україна може стати вагомим, у т.ч. на міжнародному рівні, пасажирським транспортно-пересадочним хабом, оскільки через неї проходять транспортні шляхи Європи, Азії та Близького Сходу. По її території пролягає Пан'європейський коридор Берлін - Вроцлав - Львів - Київ, міжнародні транспортні коридори Гданськ - Одеса, Гельсінкі - Санкт-Петербург - Вітебськ - Київ - Одеса - Пловдив - Будапешт - Олександрополіс.

Таке географічне положення дає унікальні можливості як для українських перевізників, так і для іноземних компаній для створення пасажирських транспортних хабів, що значно посилить економічну потужність і роль України в Євразійському союзі, а також зацікавить глобальних інвесторів до втілення даних проєктів.

Для реалізації зазначеної схеми необхідно виділити 5 рівнів хабів:

- хаби I рівня: пасажирські транспортно-пересадочні вузли великих міст мегаполісів перевезень швидкісними денними поїздами ІС +, нічними – нічний експрес (Київ, Харків, Львів, Одеса, Дніпро, Донецьк);

- хаби II рівня: пасажирські транспортно-пересадочні вузли міст обласного значення відповідно до адміністративно-територіального устрою України (крім хабів I рівня), організація перевезень денними поїздами класу ІС; нічними – нічний швидкий (Вінниця, Хмельницький, Тернопіль, Полтава, Суми, Запоріжжя, Миколаїв та ін.);

- хаби III рівня: пасажирські генеруючі та пересадочні пункти транспортних вузлів і промислових центрів, організація перевезень денними поїздами класу Регіональний експрес; нічними – нічний

пасажирський (Синельникове, Знам'янка, ім. Т.Шевченка, Конотоп, Козятин, Фастів та ін.);

- хаби IV рівня: пасажирські генеруючі та пересадочні пункти міських агломерацій, портів, аеропортів, туристичних і рекреаційних центрів, курортів, у т. ч. тих, які мають сезонність зміни пасажиропотоків, перевезення денними поїздами класу Регіональний поїзд та приміським МВРС;

- хаби V рівня: інші пасажирські станції і зупиночні пункти, які генерують економічно виправдані та стабільні пасажиропотоки, перевезення денними поїздами класу Регіональний поїзд і приміським МВРС.

Організація руху поїздів між хабами однакового рівня, а також до найближчого хабу більш високого рівня здійснюється характерним для хабу рухомим складом більш низького рівня.

Рівень хабу визначається на основі методики з урахуванням таких факторів: адміністративний та територіальний статус населеного пункту; чисельність населення в місті; величина міської агломерації; обсяги пасажиропотоку транспортно-пересадочного вузла; класність вокзального комплексу; станційний розвиток транспортно-пересадочного вузла; частка економічно активного населення та бізнесового розвитку регіону; науково-культурний і туристично-рекреаційний потенціал; міграційний обмін (всіма видами транспорту); рівень розвитку мережі (суміжним транспортом).

Реалізація даного проекту в Україні забезпечить конкурентоспроможність пасажирських перевезень у короткостроковій перспективі та їх розвиток у довгостроковій, а також передбачить визначення принципово нової моделі забезпечення далеких, регіональних і приміських пасажирських перевезень; організацію руху пасажиропотоків між пересадочними центрами переважно швидкісними денними поїздами; оновлення

рухомого складу шляхом придбання пасажирських вагонів, локомотивів і моторвагонного рухомого складу, який відповідає сучасним вимогам безпеки, комфорту і швидкості перевезень; поступове списання вагонів нічних поїздів зі зміною співвідношення на користь денних; організацію сучасних пересадочних центрів відповідно до комплексної моделі, розвиток залізничної інфраструктури для забезпечення пасажирських перевезень, у т. ч. шляхом розподілу і спеціалізації вантажного і пасажирського рухів тощо.

У той же час зазначена система організації перевезень призведе до збільшення навантаження на інфраструктуру залізничних вокзалів, що в перспективі потребує ефективного вирішення питання перевезення пасажирів з урахуванням пересадки та мінімізації загального часу прямування.

За отриманими даними в останні 10-15 років зведення великих логістичних парків - хабів у країнах Західної Європи та Азії перетворилося в закономірну тенденцію, яка спостерігається в багатьох країнах світу.

Усі ці хаби є важливою складовою логістичної системи. Мультиmodalні центри, що слугують домом для людини й техніки, сьогодні поєднують у собі три функції: новий тип суспільного простору, парадні ворота міста й храм новітнього індустріального століття, що прямує шляхом науково-технічного прогресу. Вигідне розташування вокзалів у центральній частині великих міст залишається однією з головних причин їх збереження та подальшого розвитку.

Пріоритетне розташування й постійно зростаючі швидкості рухомого складу роблять залізничні магістралі конкурентоспроможними з аеропортами, які знаходяться за межами міста й транспортний зв'язок із якими переважно не найкращий.

Отже, на сьогодні оптимальним варіантом є розвиток уже існуючого залізничного фонду шляхом переходу на новий рівень розуміння транспортних проблем.

Подальша реконструкція вокзалів стає можливою за рахунок освоєння підземного й надземного простору, раціонального використання територій над залізничними коліями, створення багаторівневих комплексів з інтеграцією різних видів транспорту.

Останнім часом у містах України, СНД та Європи окреслилася тенденція до відносного зменшення зведення нових вокзалів, більшу частину будівельних робіт становлять модернізація та реконструкція діючих станцій і вокзалів шляхом підвищення пропускної спроможності, покращення якості обслуговування пасажирів та умов праці обслуговуючого персоналу.

Таким чином, разом із кількісними змінами відбуваються зміни якісні: замість однофункціональних комплексів з'являються багатофункціональні, що виконують різні додаткові функції та все більше нагадують футурологічні містобудівні проекти. У зв'язку з цим вокзал стає частиною великого комплексу, у якому його функції є основними, але не єдиними у своєму роді.

Розміщені поблизу центра міста й ділових кварталів великі транспортно-комунікаційні вузли стали місцями надмірної концентрації транспорту і людських мас, підвищення щільності забудови. Прикладом можуть служити площі вокзалів Курський у Москві, Ватерлоу й Вікторія в Лондоні, Гельсінкі у Фінляндії, Цюрих у Швейцарії, Шанхайський хаб у Китаї, у перспективі може стати Київ-Пасажирський в Україні.

У цих умовах необхідним є застосування таких прийомів: раціональне використання привокзального простору; організація багаторівневого руху людських потоків і транспорту; побудова

багатоярусних автомобільних стоянок; використання простору над залізничними коліями; включення нових функцій з обслуговування пасажирів і міського населення до складу вокзалів; створення комфортних пересадочних вузлів міського й залізничного транспорту; організація транспортування багажу від поїздів до місць стоянки автомобілів і метрополітену.

Суттєвим поштовхом до появи та розвитку подібних комплексів стала програма розвитку й об'єднання центральної Європи, створення Транс'європейської мережі швидкісних поїздів Eurostar, запропонована ЄС.

У багатьох країнах Європи повним ходом здійснюється будівництво нових високошвидкісних магістралей, перевезення якими відбувається спеціальним рухомим складом зі швидкістю понад 300 км/год. Так, у Німеччині це поїзди ICE (зафіксована швидкість до 430 км/год), у Франції — TGV (на спеціально підготовленій ділянці досягнута швидкість у 574,8 км/год), у Японії — поїзд на магнітному підвісі «магльов» (581,3 км/год).

Вже сьогодні дані поїзди на багатьох дільницях існуючих ліній перевершують за швидкістю поїздки літаком і легковим автомобілем. Так, Транс'європейська високошвидкісна залізнична магістраль стає конкурентоспроможною з літаками на континентальних маршрутах довжиною до 1000 км.

Також сильною стороною залізниць є перевезення пасажирів із центра одного міста до центра іншого. Тому виходячи з того, що багато пасажирів-бізнесменів, які сьогодні при переміщеннях на короткі відстані користуються літаками та автомобілями, у майбутньому перейдуть на поїзди. Передусім велику роль тут відіграє розвиток транспортно-пересадочних вузлів, що відповідають сучасним вимогам потреб суспільства.

Аналіз створення вокзалів світу вказує, що основними тенденціями їх розвитку є:

- перетворення традиційних залізничних вокзалів у термінали (від англ. terminal), що координують системи транспортних коридорів із забезпеченням найбільш швидкої компактною пересадки пасажирів і наданням різних видів товарів і послуг, не пов'язаних з основною діяльністю, а також забезпечують взаємодію різних видів транспорту: залізничного, авіаційного, міського, приміського – на всіх територіальних рівнях; широко розвинена інтеграція залізничного транспорту з системою метрополітену шляхом розміщення платформ метро всередині вокзалу;

- будівництво пасажирських терміналів уніфікованих, компактних, що враховують сучасні тенденції об'єктів транспорту.

Для більш ефективної пропускної спроможності вокзалів у світовій практиці значну увагу приділяють досконалості функціонування простору приміщень на основі принципів зонування, які поділяються на системи з вертикальним або горизонтальним розташуванням функціональних зон.

Прикладами вокзалів із вертикальним розташуванням є Dhoby Ghaut, Сінгапур; Кіото, Японія, створення яких сприяє більш ефективному розташуванню в межах міста і забезпечує значне скорочення відстані при пересадці пасажирів.

До вокзалів з горизонтальним розташуванням зон належать Авіньоні, другий Шанхайський вокзал, які розташовуються переважно за межами міста, оскільки потребують значно більшої площі.

Аналогом даної моделі є суміщений вокзал-аеропорт Шарль де Голль, який знаходиться в передмісті Парижа і має дві залізничні станції “Aeroport Charles-de Gaulle 1” і “Aeroport Charles-de Gaulle 2-TGV”, де здійснюється пересадка пасажирів з поїзда на літак або навпаки.

Для покращення рівня обслуговування пасажирів за необхідності отримують роздрукований п'ятьма мовами план аеропорту з позначеною схемою

пересадки з одного терміналу на інший. Площі терміналів розподіляються за призначенням послуг, що надаються. Касові зони розташовуються поблизу руху основних потоків (входів до вокзалів) і передбачають виділення зони накопичення пасажирів. Цікавим підходом щодо зменшення зони накопичення пасажирів перед касами є впровадження так званої електронної системи управління чергою.

Аналіз зонування вокзалів Західної Європи та Японії свідчить, що вкрай мало виділяється площі вокзалу для зони очікування пасажирів. Зокрема зал очікування на вокзалі Берлін-Центральний є тільки на четвертому ярусі і займає лише близько 1 % загальної площі та являє собою приміщення з робочими місцями, де можна працювати з документами, використовуючи комп'ютер.

На сучасних вокзалах класичні функції залів очікування виконують виділені зони багатоматричних площ сервіс-центрів, де розташована значна кількість магазинів, офісів і місць харчування (кафе, ресторани).

Японський вокзал Нагоя включає 53-поверховий готель, офіси, музей, ресторани, торговельні центри, спортклуб та інші зали, що виконують суспільно-ділові функції.

У приміщеннях головного вокзалу Рима – Терміні (від італ. Stazione Termini) проводяться концерти, виставки та інші культурні заходи, підземний рівень займає великий торговельний центр Forum Termini.

З метою покращення організації руху пасажиропотоків на платформах і прискорення пересадки пасажирів на залізницях Європи здійснюється розподіл площ платформ на сектори – від 2 до 6 залежно від країни. Розповсюдженим варіантом є рівень шести секторів (А, В, С, D, Е, F), при цьому поїзди далекого прямування зупиняються певними категоріями вагонів навпроти відповідного сектора. Так, вагони I-го класу – біля

секторів А і В, вагони II-го класу – С, D і Е. Порядок розташування вагонів у секторах для кожного поїзда вказаний на спеціальній діаграмі, що вивіщується у приміщеннях вокзалу.

На міжнародних залізничних вокзалах виділяються зони для проведення митних операцій [27]. Окремо існують зони безпеки в місцях накопичення пасажирів із встановленням технічних засобів для обмеження доступу до посадочних платформ.

Аналіз досвіду організації роботи інтегрованих пересадочних комплексів Великобританії, Нідерландів, Німеччини, США, Франції, Японії і багатьох інших держав [16, 17, 18] свідчить, що пасажирів при плануванні поїздки, як правило, використовують декілька поїздів або різні види транспорту, що обумовлює організацію перевезень з пересадками за єдиним проїзним документом – трансферні перевезення пасажирів.

Так, кардинальними змінами організації руху пасажирських перевезень є введення в Нідерландах у 2006 р. нового розкладу руху, що дало змогу скоротити кількість поїздів далекого прямування, а замість них запропоновано трансферні перевезення з організованим швидким стикуванням поїздів на одній платформі.

Даний підхід дозволив реалізувати курсування поїздів однієї категорії з поїзним інтервалом 15 хв, а інших категорій – до 30 хв [19]. При цьому було зменшено навантаження центрального вокзалу Амстердама за рахунок організації пересадок пасажирів у приміській зоні столиці при прямуванні на схід і захід країни.

На Європейських залізницях використовують регулярний розклад (циклічний), у якому поїзди прибувають і відправляються через чітко визначені інтервали, що обумовлено високим попитом на перевезення та спрощенням при виконанні регулювання руху диспетчерськими службами.

За таких умов більшість вокзалів ЄС обслуговують 80-90 % загального пасажиропотоку, що припадає на локальні поїздки з тривалістю подорожі декілька годин, і лише 10-20 % – це прямі перевезення з тривалістю подорожі 10-15 год [20]. Інтенсивність руху поїздів залежить від густоти населеності і економічного розвитку країни.

Для вокзалів Німеччини, Швейцарії, Австрії, Бельгії, Нідерландів, Данії, Італії, Великобританії, Чехії, Угорщини, Польщі характерний розклад руху поїздів з інтервалом півгодини або 10-15 хв. Поступово на схожий ритм переходить і Франція.

У Швеції, Фінляндії, Норвегії, Іспанії, Португалії, Словаччині такий інтенсивний рух існує тільки в щільно населених районах біля міст-мільйонників.

У Німеччині при реалізації циклічного розкладу руху пасажирських поїздів організовано трансферні перевезення. При цьому графіки руху поїздів далекого сполучення (Deutsche Bahn, DB) і приміських поїздів (S-Bahn) об'єднані в єдину систему, що дозволяє мінімізувати час поїздки за рахунок організації типових пересадок за 3-4 хв.

Однією з важливих умов організації таких перевезень є високий рівень інформування пасажирів. При плануванні поїздки завжди існує варіант отримання маршруту з докладним зазначенням часу і місця пересадок і навіть номера колії. Таку інформацію можна отримати у вигляді роздруківки в касира на залізничному вокзалі або через веб-сайт залізниць Німеччини. У цьому випадку існує можливість встановити запит на час пересадки (трансфера) – «стандартний» або 15, 30 і 45 хв і є можливість отримання інформації про маршрут і час пересадки від одного вокзалу до іншого при переміщенні пішки або громадським транспортом. Окремо на веб-сайті кожного вокзалу міститься інформація щодо запізнь поїздів і змін у розкладі.

Залізничні вокзали Німеччини залежно від рівня обслуговування поділяються на шість категорій. Основні обсяги роботи виконуються на вокзалах I та II категорій (20 вокзалів), які розташовані в мегаполісах із функціями транспортних вузлів (Берлін-Центральний, Франкфуртський, Майнц, Штутгарт-Центральний). Близькі за функціями, але з меншими обсягами роботи 63 вокзали II категорії, на яких проводяться пересадки між поїздами далеких сполучень [21].

З метою розвантаження вокзалів великих міст у розкладі руху поїздів далекого сполучення передбачають зупинку на приміській станції, де можна здійснити пересадку на міський, приміський або регіональний транспорт (Берлінський вузол) [22].

Технологічний процес роботи вокзалу Берлін-Центральний передбачає не більше 8 хв нормативного часу [23] на пересадку пасажирів з одного поїзда на інший із використанням сучасної системи орієнтування.

Особливу увагу приділено організації руху маломобільних груп пасажирів, а саме на входах до приймально-відправних колій для сліпих пасажирів у підлогу вмонтовано ребристі орієнтири, на поручнях ескалаторів передбачено спеціальні таблички з позначенням цифри або шрифтом, за якими пасажир на дотик визначає номер колії.

Топологія високошвидкісної магістралі Франції (TGV) розбита на чотири сектори та об'єднує 230 залізничних вокзалів, які сполучені між собою курсуванням близько 400 поїздів, що виконують щоденно 650 рейсів при швидкості до 300 км/год [24]. Значною перевагою залізниць перед авіаційним транспортом є розташування вокзалів, що обслуговують поїзди TGV, у центрі міста.

Однією з особливостей Ліонського вокзалу (від англ. Gare de Lyon) є організація системи орієнтування пасажирів, де два зали пофарбовані в синій

і жовтий кольори і мають окремі виходи до платформ, що враховано в розкладі прибуття та відправлення поїздів, а в останній колонці вказано колір залу, через який можна пройти до посадки.

Для залучення додаткових пасажирів до користування поїздами з пересадкою на вокзалах Франції компанією SNCF впроваджена гнучка система знижок на квитки.

Також на Європейських залізницях при організації руху пасажирських поїздів застосовується система комбінованої мобільності, яка передбачає взаємодію різних видів транспорту з залізничним для оптимізації перевезень «від дверей до дверей».

Зазначена схема діє за цільовим принципом, інфраструктура вокзалів забезпечена системою інформування пасажирів при пересадці по всьому транспортному ланцюгу, а інтегрована плата за проїзд здійснюється за принципом розподілу доходів. Зокрема у Швейцарії при здійсненні пасажирських перевезень впроваджено взаємопов'язаний розклад руху пасажирських поїздів і міського транспорту, для чого задіяна відповідна система оповіщення пасажирів, а оплата проїзду проводиться за єдиною смарткарткою.

За аналогічною схемою при організації перевезень за принципом єдиного квитка працюють більше 200 транспортних компаній. Щорічно близько 250 тис. пасажирів користуються комбінованими перевезеннями, купуючи при цьому наскрізний квиток.

На залізницях Фінляндії при організації перевезень з іншими видами транспорту на базі вокзалів створено мережі центрів комплексного обслуговування пасажирів із можливістю придбання «єдиного квитка».

У рамках здійсненого аналізу функціональності вокзальних комплексів Кембриджу (США), Сеулу (Південна Корея), Пекіну (Китай), Берліну (Німеччина), Нагоя (Японія), Ватерлоу

(Великобританія) [25, 26] та інших встановлено, що однією зі спеціалізацій є обслуговування транзитних пасажирів і пасажирів, що здійснюють подорож декількома видами транспорту.

Аналіз технології пасажирських перевезень на залізницях України свідчить, що при організації подорожі з пересадкою пасажирів нею користуються лише частково. Відповідно до правил [27] зручним є оформлення проїзного документа з пункту пересадки – станції відправлення, при цьому неможливо оформити проїзд із пересадкою єдиним проїзним документом. Проїзд з пересадкою здійснюється на основі оформлення квитка від станції початкового відправлення до станції пересадки і від станції пересадки до кінцевої станції.

При реалізації таких проїзних документів квитковий касир зобов'язаний узгодити з пасажиром інтервал між часом прибуття поїзда до пункту пересадки за розкладом і часом відправлення з пункту пересадки.

Оскільки на сьогодні не існує порядку визначення нормативного часу на пересадку, квитковому касиру при оформленні такого варіанта поїздки дуже складно визначити мінімальний час, за який пасажир встигне здійснити пересадку.

У випадку спізнення пасажир залізниця має відправити його наступним поїздом без сплати проїзду за умови найменшого запізнення на кінцеву станцію.

Пасажир, що здійснює поїздку з пересадками, називається транзитним, а поїзди, на які оформлено проїзні документи до пункту пересадки і від пункту пересадки, називаються погодженими. Також майже не враховуються варіанти проїзду пасажирів з пересадкою при розробленні графіка руху поїздів. Ув'язка розкладу прибуття і відправлення поїздів із пересадкою виконується для незначної кількості поїздів. При цьому в диспетчерського персоналу відсутня інформація щодо поїзда, який є

погодженим для пасажирів, і якщо пасажир не заявить про себе провіднику вагона (машиністу) і відповідно поїзному диспетчеру, то ув'язки часу прибуття, затримки і відправлення погодженого поїзда не відбудеться.

За таких умов організації перевезень дуже низький попит на подорож з пересадкою, і пасажирів надають перевагу проїзду в безпересадочному сполученні.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Узагальнення світового досвіду ефективності створення та управління вокзалів дозволило сформулювати значення сучасних вокзалів як сукупність окремих елементів, які, якщо їх поєднати, дають синергетичний ефект функціонування вокзалів, наслідком чого буде підвищення їх доходності.

Сучасні вокзали пропонуються розглядати як елемент залізничної інфраструктури (на якому зосереджується та акумулюється значний пасажиропотік), елемент міської інфраструктури (кооперування комерційної діяльності окремих суб'єктів господарської діяльності, інтересів галузей народного господарства, соціальних інтересів населення призводить до надання вокзалам властивостей локального блага), елемент сучасного мистецтва (яке дає нове життя залізничним вокзалам, які по суті є пам'ятками архітектури та являють собою історичну цінність). Все це сприяє збільшенню відвідувачів вокзалів, туристів, мешканців міста, які забезпечують збільшення дохідних надходжень на вокзалах від додаткових послуг.

У той же час стимулювання розвитку залізничного транспорту вимагає розроблення економічно обґрунтованої тарифної політики і не виключає можливості залучення приватних перевізників і надання рівних умов доступу до користування транспортною інфраструктурою для всіх компаній-операторів пасажирських перевезень.

Таким чином, реалізація в Україні вищезазначеної моделі пасажирських перевезень у внутрішньому та міжнародному сполученні з використанням хабів створить сприятливі умови для залучення інвестицій, необхідних для оновлення та модернізації виробничо-технічної бази як пасажирського господарства ПАТ «Укрзалізниця», так і незалежних перевізників.

Також доцільним є застосування стратегії обмеженого економічного зростання, яка передбачає позбавлення від збиткових видів і напрямків діяльності, відмову від неперспективних маршрутів,

зупинок, повну компенсацію пільгових перевезень, передачу непрофільної неприбуткової діяльності на аутсорсинг і пошук інших варіантів скорочення непродуктивних витрат.

Виходячи з наведених вище висновків, у подальших дослідженнях необхідним є розроблення комплексу математичних моделей, що дасть можливість визначити варіанти проїзду пасажирів з урахуванням пересадок між швидкісними і звичайними поїздами на залізничних вокзалах України і дозволить підвищити рівень планування пасажирських перевезень.

Список використаних джерел

1. Малахова, О. А. Удосконалення перевезення пасажирів із застосуванням логістичних підходів [Текст] / Т.О. Лінецька, О.А. Малахова // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 140. – С. 66-71.
2. Константинов, Д. В. Формування актуальних напрямків розвитку пасажирських приміських перевезень залізниць України [Текст] / Д.В. Константинов, С.М. Ватраль // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 140. – С. 14-22.
3. Бутько, Т. В. Формування моделі організації пасажиропотоків при здійсненні пересадок на залізничному вокзалі з використанням колективного інтелекту [Текст] / Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко, О.О. Журба // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – №2. – С. 57-61.
4. Кочнев, Ф. П. Пассажи́рские перевозки на железных дорогах [Текст] / Ф.П. Кочнев. – М.: Трансжелдориздат, 1959. – 351 с.
5. Плахов, Г. Н. Прогнозирование и планирование пассажирских перевозок [Текст] / Г.Н. Плахов // Железнодорожный транспорт. – 1972. – № 7. – С. 23-25.
6. Марчук, Б. Е. Типовая АСУ “Экспресс-2” [Текст] / Б.Е. Марчук // Железнодорожный транспорт. – 1976. – № 11. – С. 59-62.
7. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок [Текст] / под ред. П.С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994. – 544 с.
8. Шубко, В. Г. Разработка оптимальной схемы обращения пассажирских поездов на заданном полигоне сети железных дорог [Текст] / В.Г. Шубко, Ф.С. Гоманков // Тр.МИИТ. – 1973. – Вып. 420. – С. 117-129.
9. Пазойский, Ю. О. Организация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте (в примерах и задачах) [Текст] / Ю.О. Пазойский, Л.С. Рябуха, В.Г. Шубко. – М.: Транспорт, 1991. – 240 с.
10. Beligiannis, G., Moschopoulos, C.N., Kaperonis, G.P., Likothanassis, S.D., 2008, i Applying evolutionary computation to the school timetabling problem // The Greek case, Computers & Operations Research, Vol. 35. – P. 1265-1280.
11. Muller-Hannemann M. Timetable Information: Models and Algorithms / Matthias Muller-Hannemann, Frank Schulz, Dorothea Wagner, Christos Zaroliagis //F. Geraets et al. (Eds.):Railway Optimization 2004, LNCS 4359. – P. 67–90, 2007.

12. Yu Li Model and Algorithm for Passenger Station Task Allocation Problem in Railway Terminal / Yu Li, Jun Zhao, Jie Cheng // Conference Proceeding Paper. ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems–Green - Intelligent – Reliable. Public Transportation Technology and Systems. – P. 2590-2596
13. Goverde, R.M.P. (1998a), “Optimal Transfer Times in Railway Timetables”, paper presented at the 6th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, September 1998, Gothenborg, to appear in Transportation Research B.
14. Transfer Stations and Synchronization / Rob M.P. Goverde // TopTech Study “Rail Systems Engineering, Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geo Sciences, Transportation Planning and Traffic Engineering Section. – 1998. – 10 p.
15. Древаль, И. В. Градоформирующая роль железнодорожных вокзальных комплексов [Текст] / И.В. Древаль // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. – Вип. 47. – С. 115-119.
16. Heike Link PEP-A Yield-Management Scheme for Rail Passenger Fares in Germany /Heike Link // Japan Railway & Transport Review 38, March. – 2004. – P. 50-55.
17. Koichi Goto Passenger Service Technologies / Koichi Goto // Railway Technology Today 11 (Edited by Kanji Wako) Japan Railway & Transport Review 24 • July 2000. – P. 50-55.
18. В Нидерландах стало меньше прямых поездов и больше пересадок / Масс-медиа и новости / Новости туризма / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.travel.ru/news/2007/01/30/105821.html>.
19. График движения поездов [Электронный ресурс]: сайт travel.ru. – Режим доступа: http://rw.travel.ru/rw_europe/train_schedule.html.
20. "Die Sechs Bahnhofskategorien". DB Station&Service AG. Проверено 2007-03-12.
21. Boutatigkeit der Deutschen Bahn in Berlin / Feldwisch Wolfgang, Ruppert, Gunter // ETR: Eisenbahntechn. Rdsch. – 2000. – №6. – P.365-377.
22. Пасажирські перевезення (залізничний транспорт) [Текст]: навч. посібник / Т.В. Бутько, О.А. Малахова, А.В. Прохорченко [та ін.]. – Харків: Дім Райдер, 2014. – 259 с.
23. Высокоскоростной поезд TGV. История вещей от древности до наших дней [Текст] / Е. Н. Грицак, М. И. Ткач. — М.: «РИПОЛ классик», 2003. — С. 420-422.
24. Kande, S. A Prototype Intermodal Transportation Center: A New Approach to Interior Environments of transportation Centers. Unpublished manuscript, Virginia Commonwealth University. – 2001.
25. Мироненко, В. П. Архитектура современных железнодорожных вокзальных комплексов. Модернизация вокзалов и тенденции развития ЖВК [Текст] / В.П. Мироненко, О.М. Борзов // Вісник ХДАДМ. – 2009. – № 4. – С. 63-68.
26. Вокзал Лондон-Сент-Панкрас – все для пассажиров [Текст] / В. Perren // Железные дороги мира. – 2009.– № 11.– С. 17-19.
27. Правила перевезення пасажирів, багажу, вантажобагажу та пошти залізничним транспортом України [Текст]: наказ Міністерства транспорту та зв'язку України № 196 від 27.12. 2006 р.: зареєстр. в Міністерстві юстиції України 4.04.2007 р. за № 310/13577 із змін. і допов.

Резник Віталій Юрійович, магістрант Українського державного університету залізничного транспорту.
Тел. 095-381-11-35.

Vitaly Y. Resnick, undergraduate Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 095-381-11-35.

Стаття прийнята 06.04.2017 р.

УДК 625.151

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ДЛЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КИЇВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ

Кандидати техн. наук В. Д. Бойко, В. М. Молчанов, старш. викл. Т. Д. Артюхович

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КИЕВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Кандидаты техн. наук В. Д. Бойко, В. Н. Молчанов, старш. преп. Т. Д. Артюхович

SWITCH'S WEAR-RESISTANCE INVESTIGATION FOR OPERATING CONDITIONS OF KIEV UNDERGROUND RAILWAY

Ph.d. tehn. V. D. Boiko, V. M. Molchanov, engineer, pg. T. D. Artiukhovych

Представлено результати досліджень зносу основних металевих елементів стрілки і хрестовини стрілочних переводів для умов експлуатації в головних коліях Київського метрополітену. Дослідження дозволили встановити основні закономірності формування зносу стрілочних переводів для різного конструктивного оформлення та різних умов експлуатації, що надає можливість прогнозувати знос і обґрунтовано встановити нормативні строки служби основних елементів переводів метрополітену.

Ключові слова: стрілочні переводи, стрілка, гостряк, хрестовина, знос, умови експлуатації, строки служби.

Представлены результаты исследования износа основных металлических элементов стрелки и крестовины стрелочных переводов для условий эксплуатации в главных путях Киевского метрополитена. Исследования позволили установить основные закономерности формирования износа стрелочных переводов для разного конструктивного оформления и разных условий эксплуатации, что дает возможность прогнозировать износ и установить нормативные сроки службы основных элементов переводов метрополитена.

Ключевые слова: стрелочные переведы, стрелка, остряк, крестовина, износ, условия эксплуатации, сроки службы.

Maintenance of track and switches of differs significantly from main-line railway. This is caused by other operating conditions of rail track and switches. In underground railway used special project switches, also there is difference at the construction of rolling-stock chassis, slab track in tunnel, more frequently dynamic load on track. This difference significantly impacts on power dynamics of way's interaction (switches) with rolling-stock, and accordingly structural will be has other characteristics of abrasive resistance. Researches of abrasive resistance of railway constructions for underground railway operating conditions are almost absent. At the same time are not correctly used this results of researches for main-line railway.

That is why, the presented results of wear's researches main metal details switch's point and cross for operating conditions on the Kiev underground main-line railway is actual. Research should make it possible to achieve main regularities of configuring switches' wear for different switch's design patterns and different operating conditions, making it possible to highly predictive of depreciable life, and consequently makes it possible to more effectively allows using of financial and material resources.

Key words: switch, switch tongue, frogs, wear, working conditions, operating life.

Вступ. Стрілочні переводи, на відміну від звичайної колії, мають складнішу конструкцію і працюють у важчих умовах експлуатації, що призводить до підвищеної зношуваності їхніх окремих елементів. Зокрема для магістральних залізниць проблема зносу гостряків, рамних рейок і хрестовин досліджується досить широко як у вітчизняних, так і закордонних наукових колах, однак для метрополітенів подібні дослідження фактично відсутні. Метою даного дослідження безпосередньо і є прогнозування зносостійкості найбільш зношуваних елементів стрілочних переводів для можливості раціонального й ефективного ведення стрілочного господарства метрополітенів, особливо з урахуванням обмеженого фінансування колійної інфраструктури.

Аналіз попередніх досліджень. Найбільш широко робота стрілочних переводів у різних експлуатаційних умовах досліджувалася в Санкт-Петербурзькому університеті шляхів сполучення (раніше ЛПЗТ) науковою школою під керівництвом професорів С. В. Амеліна та В. Ф. Яковлева [1]; також значний внесок у створення концепції ведення стрілочного господарства зроблено ученими ВНДІЗТ. На сьогодні в Росії дослідженням стрілочних переводів займається Стрілочна лабораторія ВНДІЗТ під керівництвом професора Б. Е. Глюзберга [2], а в Україні визнаним фахівцем з даної проблематики є професор Е. І. Даніленко [3, 4]. За кордоном при вивченні процесів зносу елементів стрілочних переводів найчастіше застосовують методи математичного моделювання, зокрема метод скінченних елементів [5, 6]. Отримані в наведених джерелах результати і підходи можна прийняти за основу для дослідження зносостійкості стрілочних переводів в умовах метрополітенів.

Мета і задачі досліджень. Визначити зносостійкість поверхні кочення основних металевих елементів стрілочних переводів для умов експлуатації метрополітену. Встановити функціональні залежності

зносу від комплексу експлуатаційних факторів, що дозволить у подальшому прогнозувати знос основних елементів стрілочних переводів залежно від пропущеного тоннажу з урахуванням умов експлуатації, що у свою чергу дозволить обґрунтовано та якісно планувати роботи поточного утримання і заміну непридатних елементів переводів, а отже, давати можливість раціонально використовувати матеріальні і фінансові ресурси.

Актуальність. Конструкції залізничної колії і стрілочних переводів метрополітену мають відмінності порівняно з магістральними залізницями. Крім того, відрізняються умови експлуатації залізничної колії і стрілочних переводів, використовуються стрілочні переводи спеціальних проектів, а також є відмінність у конструкції ходових частин рухомого складу. Ці відмінності суттєво впливають на силову динаміку взаємодії колії (стрілочних переводів) з рухомим складом, а отже, елементи конструкцій колії будуть мати інші характеристики зносостійкості. Дослідження зносостійкості конструкцій залізничної колії для умов експлуатації метрополітенів практично відсутні. У той самий час використовувати результати подібних досліджень, що проводились для магістральних залізниць, некоректно.

Основний матеріал. Вертикальний знос поверхні кочення несучих металевих елементів стрілочних переводів є одним з двох головних критеріїв, що визначають термін працездатності конструкції (другий критерій – дефектність) [1, 3, 4]. У відсотковому співвідношенні вихід металевих елементів стрілочних переводів з тих чи інших причин на різних лініях і категоріях колій може бути різним і визначатись насамперед різницею в експлуатаційних умовах, у яких працюють дані конструкції, що підтверджено дослідженнями провідних вчених [1–5]. При цьому дефекти в масовому порядку починають розвиватися лише після зносу поверхні кочення на 4–6 мм, тобто фактично після реалізації

нормованої величини зносу. Практично проблема ураження дефектами стрілок і хрестовин більше пов'язана з якістю металу і особливостями конструкції та меншою мірою – з особливостями експлуатації.

Процеси і закономірності формування вертикального зносу поверхні кочення хрестовин достатньо добре вивчені та неодноразово викладені в наукових працях [1–4]. Зокрема встановлено, що для жорстких хрестовин, виготовлених з високоманганової сталі, втрата висоти елемента в процесі експлуатації, яка визначається як сумарний вертикальний знос, відбувається в результаті реалізації декількох одночасних процесів: за рахунок зминання металу – у результаті дії великих контактних тисків і за рахунок стирання металу – внаслідок фрикційної взаємодії між колесами та поверхнею кочення, а також за рахунок осідання конструкції в період припрацювання.

Існує декілька підходів до прогнозування зносостійкості стрілочних переводів, але найповніше процеси формування зносу залежно від умов експлуатації (крім пропущеного тоннажу) викладено в роботах [1, 3, 4], де за основу прийнята аналітична залежність

$$h = a\sqrt{T} + b \cdot T. \quad (1)$$

У виразі (1) позначено:

T – тоннаж, пропущений по конструкції хрестовини;

a і b – числові коефіцієнти, які мають конкретні значення для кожної конструкції, місця розміщення перерізу на хрестовині та експлуатаційних факторів [3, 4].

Перевага того чи іншого фізичного процесу визначає інтенсивність накопичення зносу поверхні кочення елементів стрілочних переводів за конкретний період експлуатації та відображується певними значеннями коефіцієнтів “ a ” і “ b ” формули (1).

Так, у початковий період експлуатації накопичення зносу відбувається внаслідок

інтенсивного зминання металу за рахунок пластичних деформацій. Цей період роботи переважно характеризується коефіцієнтом “ a ”. На наступному етапі інтенсивність нарощення зносу зменшується, а переважає стирання та винос частинок металу з поверхні кочення за рахунок фрикційних сил, які реалізуються при перекочуванні коліс по поверхні хрестовини. У цей період найбільше навантаження бере на себе коефіцієнт “ b ”. При цьому необхідно враховувати, що процес стирання і виносу частинок металу присутній на всіх стадіях роботи конструкції, і цей процес фізично пов'язаний зі зминанням металу, який також присутній на заключному етапі, але значно менше впливає на формування сумарної величини зносу. Обидва ці процеси взаємопов'язані до появи так званого «перенаклепу», який супроводжується дефектами контактнотомленого викришування металу на поверхні кочення.

За наведеною методикою проведено комплекс досліджень [1, 3, 4, 7] зносостійкості стрілочних переводів різних типів і марок на дерев'яних і залізобетонних брусах і для різних умов експлуатації магістральних залізниць. Ці дослідження дозволили прогнозувати зносостійкість металевих елементів стрілочних переводів, на основі чого були встановлені нормативні строки служби стрілочних переводів для різних умов експлуатації залізниць [7, 8].

На сьогодні фінансування колійної інфраструктури метрополітенів недостатнє, а пошук додаткових ресурсів для подовження строків експлуатації конструкцій потребує відповідних експериментальних і теоретичних досліджень. Одним зі шляхів обґрунтованого прогнозування зносостійкості є встановлення впливу експлуатаційних умов на формування зносу поверхні кочення металевих елементів стрілки й хрестовини.

Для встановлення зносостійкості основних металевих елементів стрілочних переводів були проведені комплексні

експлуатаційні дослідження зносостійкості стрілочних переводів головних колій Київського метрополітену залежно від умов експлуатації.

У дослідженні були задіяні стрілочні переводи, які експлуатуються в підземних і наземних ділянках на головних коліях Святошинсько-Броварської, Куренівсько-Червоноармійської та Сирецько-Печерської ліній. Дослідження зносостійкості проводились на 37 стрілочних переводах (62 % загальної кількості), у тому числі на 22 (52 %) стрілочних переводах типу Р50 марки 1/9 і 15 (83 %) переводах типу Р65 марки 1/9.

Досліджувані конструкції відрізнялися характеристиками пропущеного при експлуатації тоннажу, а також мали різні умови експлуатації (переважний напрямок руху поїздів – пошерсний (ПШ) або протишерсний (ПРШ), різні швидкості руху та ін.). Вихідні експлуатаційні дані були надані Службою колії, тунельних споруд і будівель Київського метрополітену.

На стрілочних переводах встановлена швидкість руху V по прямому напрямку складала $V_{max} = 80$ км/год, по боковому напрямку – до $V_{max} = 40$ км/год.

Вантажонапруженість G , млн т бруто/р., ділянок метрополітену складала: на Святошинсько-Броварській лінії – 25,23 млн т/р.; на Куренівсько-Червоноармійській лінії – 21 млн т/р.; на Сирецько-Печерській лінії – 17,1 млн т/р.

Пропущений тоннаж T з моменту вкладання до часу натурних досліджень по хрестовинах типу Р50 становив від 13,1 до 133,4 млн т, а по хрестовинах типу Р65 – від 24,6 до 106,2 млн т. Для елементів стрілки типу Р50 пропущений тоннаж становив від 31,3 до 367,4 млн т, а типу Р65 – від 224,7 до 397,7 млн т.

Розподіл стрілочних переводів за переважним напрямком руху був таким: з переважним ПШ напрямком руху для типу Р50 і Р65 – 13 і 10 відповідно, а з переважним ПРШ напрямком руху – 9 і 5 відповідно.

Для дослідження зносу елементів стрілочних переводів використана стандартна методика, що регламентована нормативними документами метрополітену та ПАТ «Укрзалізниця» [8–13]. При вимірюванні вертикального зносу вусовиків осердя хрестовин за початковий (розрахунковий) приймався рівень кочення колеса відповідно до робіт [8–11, 14], який знаходиться на незношуваних поверхнях вусовиків за лінією врізання.

Вимірювання вертикального зносу вусовиків і осердь виконувався в таких перерізах: для вусовиків – горло хрестовини (Г), математичний центр хрестовини (МЦХ), перерізи 12, 20 і 30 мм осердя; для осердя – у перерізах 12, 20, 30, 40 і 50 мм. Схема розмітки основних перерізів і відстані до місця вимірювання зносу на елементах хрестовини хрестовин стрілочних переводів типу Р65 і Р50 марки 1/9 прийняті відповідно до робіт [9, 12–14]. Вертикальний знос вусовиків і осердя хрестовини визначається як різниця між проектним (з урахуванням реального значення підвищення вусовика по лінії врізки у відповідних перерізах осердя) і фактичним вимірним підвищенням у відповідних перерізах.

Під час досліджень зносостійкості стрілки стрілочних переводів типу Р65 і Р50 марки 1/9 проводились вимірювання вертикального та бокового зносу окремо для прямого та бокового гостряків і рамних рейок за методикою [8–11]. Знос гостряків (прямолінійний і криволінійний) вимірювався в контрольних перерізах 5, 20, 50 і 65 мм, а знос рамних рейок вимірювався біля вістря гостряка за межами бокового стругання головки рейки (обидві рамні рейки). Основні розміри, схема розмітки перерізів гостряків ОР65 та ОР50 з характеристиками поздовжнього та поперечних профілів у контрольних перерізах прийнято відповідно до типових проектів [9, 13, 14]. Величини вертикального і бокового зносу гостряків і рамних рейок встановлювались за правилами, визначеними нормативними

документами [9–11]. При дослідженні також фіксувались дефекти на металевих елементах стрілочних переводів.

Результати натурних вимірювань вертикального зносу на вусовиках і осердях хрестовин дозволили провести апроксимацію та встановити аналітичні залежності у вигляді функції (1). Графічна інтерпретація результатів досліджень вертикального зносу на хрестовинах

стрілочних переводів типу Р50 і Р65 марки 1/9 для різних умов експлуатації (переважний ПШ і ПРШ рух поїздів) представлені на рис. 1 для вусовиків, а на рис. 2 – для осердь, де точково умовними позначеннями вказано розсіювання досліджуваних величин зносу у функції від пропущеного тоннажу для найбільш зношуваних перерізів.

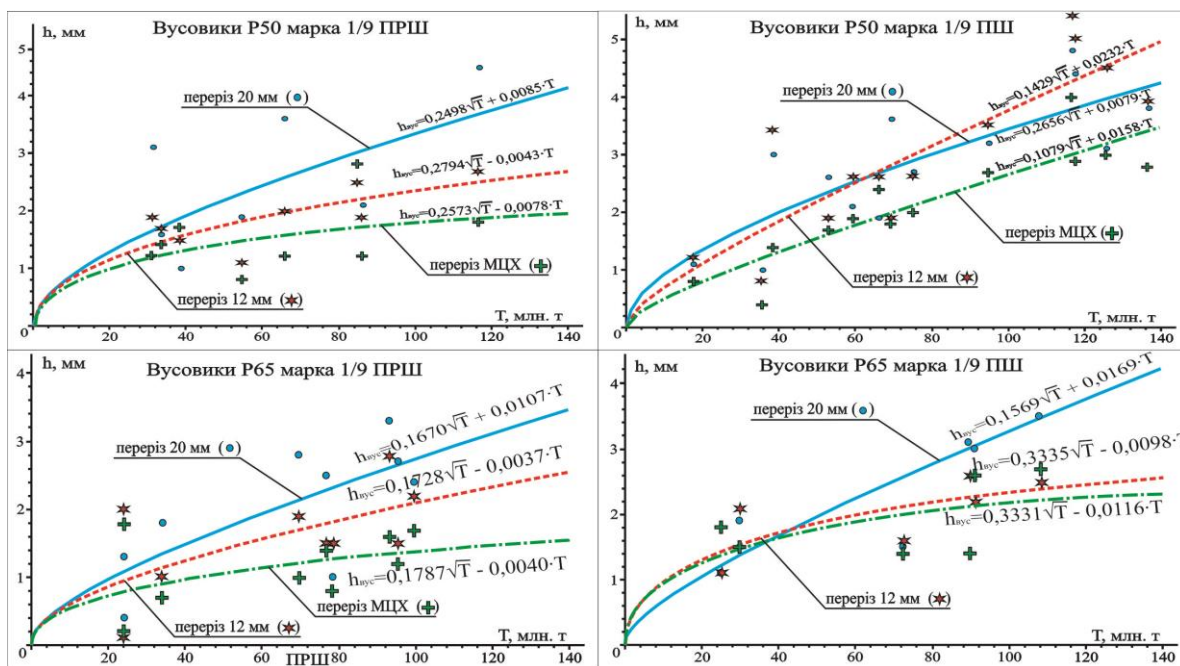


Рис. 1. Результати дослідження зносу вусовиків для хрестовин типів Р50 і Р65 марки 1/9 для головних колій Київського метрополітену

Аналіз зносостійкості елементів хрестовин проводився з урахуванням основних закономірностей формування зносу, які детально описані в роботах [1-5, 7, 8]. Отримані результати натурного зносу хрестовин розглядались окремо для хрестовин типу Р65 і Р50; різних перерізів вусовиків і осердь, переважних ПШ та ПРШ напрямків руху поїздів; різного діапазону значень пропущеного тоннажу.

Отримані аналітичні залежності $h = f(T)$ дають можливість прогнозувати формування зносу в зоні перекочування на вусовиках хрестовин від горла до перерізу

30 мм осердя та на осерді від перерізу 12 мм до перерізу 50 мм.

Враховуючи те, що нормативи зносу хрестовин встановлюються [9–11] по зносу осердя в перерізі 40 мм або зносу на вусовиках у перерізі навпроти 20 мм осердя, для проведення подальшого сумісного аналізу на рис. 3,а наведено залежності $h = f(T)$ для переводів типу Р50 марки 1/9 при переважних ПШ і ПРШ напрямках руху для вусовиків у перерізі 20 мм осердя та осердя в перерізі 40 мм, а на рис. 3,б наведено аналогічні залежності для хрестовин типу Р65 марки 1/9.

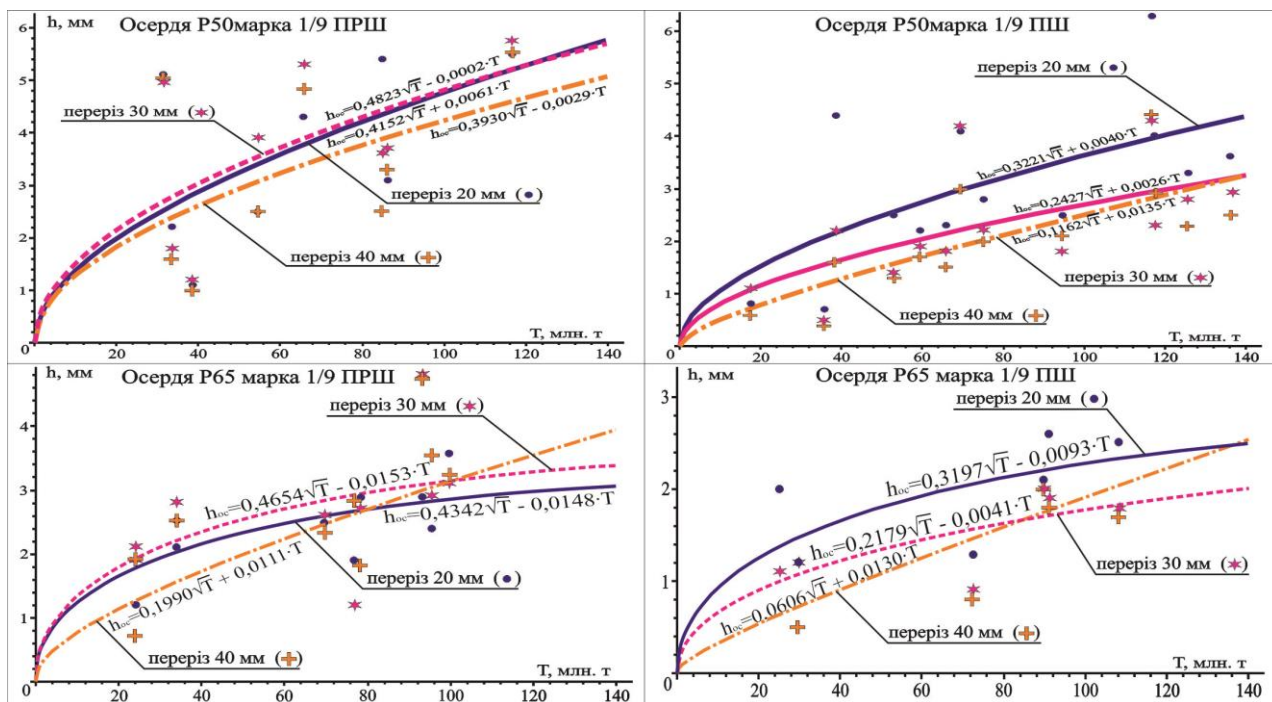


Рис. 2. Результати дослідження зносу осердь для хрестовин типів P50 і P65 марки 1/9 для головних колій Київського метрополітену

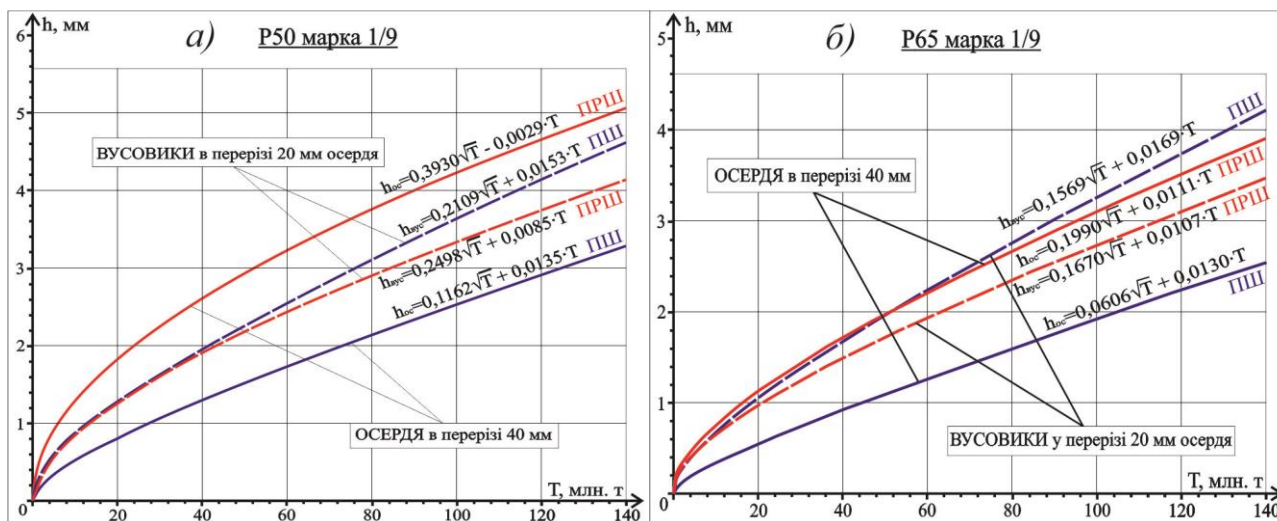


Рис. 3. Підсумкові залежності зносу від пропущеного тоннажу для осердь і вусовиків хрестовин типів P50 і P65 марки 1/9 у нормованих перерізах

Дослідження зносостійкості гостряків і рамних рейок стрілочних переводів проводилося на тих самих стрілочних переводах, що і для хрестовин.

Оцінки та аналіз результатів вимірювання зносостійкості гостряків і

рамних рейок виконувалися окремо для стрілочних переводів типу P65 і P50, окремо для переважних ПШ і ПРШ напрямків руху поїздів, а також окремо для прямого і бокового напрямів.

Обробка фактичних значень зносу гостряків при різних величинах пропущеного тоннажу в різних перерізах та апроксимація отриманих натурних значень зносу при відповідній вантажонапруженості дозволила встановити аналітичні залежності зносу елементів $h = f(T)$ у характерних перерізах.

Для оцінки можливого напрацювання тоннажу були встановлені значення інтенсивності формування вертикального і бокового зносу для рамної рейки та різних перерізів прямих і криволінійних гостряків. Інтенсивність, мм/1 млн т брутто, вертикального зносу елементів стрілки були отримані такі:

- *пошєрсні переводи типу P50*: для рамних рейок – 0,0009-0,0224; для прямих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,0003-0,0147; для прямих гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0004-0,0032; для кривих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,0007-0,0037; для кривих гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0003-0,0014;

- *протишєрсні переводи типу P50*: для рамних рейок – 0,0005-0,0115; для прямих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,0011-0,0065; для прямих гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0003-0,0016; для кривих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,0003-0,0033; для кривих гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0003-0,0008;

- *пошєрсні переводи типу P65*: для рамних рейок – 0,0013-0,0076; для прямих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,0009-0,0037; для прямих гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0004-0,0021; для кривих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,0003-0,00317; для кривих гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0003-0,0007;

- *протишєрсні переводи типу P65*: для рамних рейок – 0,0003-0,0062; для прямих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,0013-0,0023; для прямих гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0003-0,0008; для кривих гостряків у перерізі головки 50 мм – 0,001-0,0023; для кривих

гостряків у повному перерізі головки 65 мм – 0,0003-0,0008.

Висновки. Аналіз зносостійкості елементів хрестовин стрілочних переводів типу P65 і P50 марки 1/9 на дерев'яних брусах типової конструкції, що експлуатуються в головних коліях київського метрополітену, дозволив встановити таке:

1. Найбільш інтенсивне накопичення зносу поверхні кочення відбувається на початковій стадії експлуатації хрестовин у період пропускання перших 20-30 млн т брутто.

2. Осердя хрестовин найбільш інтенсивно зношуються в перерізі 20 мм.

3. Вусовики хрестовин найбільш інтенсивно зношуються в зоні напроти перерізів сердечника 20 мм і 12 мм і меншою мірою – у зоні математичного центра хрестовини.

4. Знос вусовиків у найбільш зношуваній зоні (від математичного центра хрестовини та перерізом 20 мм осердя) при ПШ русі відбувається більш інтенсивно порівняно зі зносом осердь. Така закономірність може змінюватись при ПРШ напрямку руху, коли починає викришуватися осердя.

5. Найбільший прогнозований вертикальний знос вусовиків у перерізі 20 мм осердя при пропусканні близько 140 млн т брутто може досягати для переводів типу P50 – 4,6 мм при ПШ і 4,1 мм при ПРШ русі поїздів; для переводів типу P65 – 4,2 і 3,5 мм відповідно.

Найбільший прогнозований вертикальний знос осердь у перерізі 40 мм при пропусканні близько 140 млн т брутто може досягати для переводів типу P50 – 3,2 мм при ПШ і 5,0 мм при ПРШ русі поїздів; для переводів типу P65 – 2,5 і 3,5 мм відповідно.

6. Порівняльний аналіз зносостійкості рейкових елементів стрілочних переводів типу P50 і P65, що експлуатуються в головних коліях Київського метрополітену, показав, що за інтенсивністю зносу гостря-

ків і рамних рейок стрілочні переводи обох типів працюють практично рівноцінно.

7. Отримані фактичні значення зносостійкості основних елементів стрілочних

переводів є основою для прогнозування нормативних строків їх служби залежно від пропущеного тоннажу та експлуатаційних умов.

Список використаних джерел

1. Совершенствование ведения стрелочного хозяйства [Текст] / под ред. С.В. Амелина. – М.: Транспорт, 1983. – 240 с.
2. Руководство по ведению стрелочного хозяйства [Текст] / ОАО «РЖД»; Департамент пути и сооружений; ОАО «ВНИИЖТ». – М., 2009. – 240 с.
3. Даниленко, Э. И. Прогнозирование износа элементов рельсовых нитей с учетом эксплуатационных факторов [Текст] / Э. И. Даниленко // Сб. науч. трудов ПИИЖТ. – С.Пб., 1992. – С. 80-85.
4. Стрелочные переводы железных дорог Украины (Технология производства, эксплуатация в пути, расчеты и проектирование) [Текст] / [Э.И. Даниленко, С.Д. Тараненко, А.П.Кутах]; под ред. д.т.н. профессора Э.И. Даниленко. – К., 2001. – 296 с.
5. Jingmang Xu, Ping Wang, Li Wang, Rong Chen. Effects of profile wear on wheel-rail contact conditions and dynamic interaction of vehicle and turnout. *Advances in Mechanical Engineering*. 2016, Vol. 8(1) 1–14.
6. M. Wiest, W. Daves, F.D. Fischer, H. Ossberger. Deformation and damage of a crossing nose due to wheel passages. *Original Research Article. Wear, Volume 265, Issues 9–10, 30 October 2008.* – P. 1431-1438.
7. Експлуатаційні випробування стрілочних переводів на залізобетонних брусах марки Р65 1/11 та 1/9 українського та російського виробництва [Текст]: звіт про НДР (заключний) / Київ. ун-т економ. і технолог. трансп. – №372/02-1027.02-Цтех. – К., 2003. – 150 с.
8. Даніленко, Е. І. Положення про нормативні строки служби стрілочних переводів у різних експлуатаційних умовах [Текст] / Е.І. Даніленко, М.І. Карпов, В.Д. Бойко. – К.: Транспорт України, 2003. – 30 с.
9. Даніленко, Е. І. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України [Текст] / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган [та ін.]. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 495 с.
10. Інструкція по текущему содержанию пути и контактного рельса метрополитенов [Текст]: Ц Метро/4013. – М.: Транспорт, 1984. – 152 с.
11. Технічні вказівки на експлуатацію рейок та елементів стрілочних переводів Київського метрополітену [Текст]: затв. 29.12.2001 р. наказом начальника КП “Київський метрополітен” № 289-Н.
12. ГОСТ 28370-89 Крестовины сборные марок 1/11 и 1/9. Основные размеры [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 9 с.
13. ДСТУ 4814:2007 Рейки вістрякові типів ОР50 і ОР65. Загальні технічні умови [Текст]: чинний з 2007-07-30. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 19 с.
14. Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів [Текст] / Е.І. Даніленко, А.М. Орловський, А.П. Татуревич [та ін.]. – Дніпропетровськ: Арт-Пресс, 2000. – 81 с.

Бойко Володимир Дмитрович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного економіко-технологічного університету транспорту. Тел.: (044)-5915147.

Молчанов Віталій Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного економіко-технологічного університету транспорту. Тел.: (044)-5915147.

Артюхович Тетяна Дмитрівна, старший викладач кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного економіко-технологічного університету транспорту. Тел.: (044)-5915147.

Boiko Volodymyr Dmytrovych, PhD in Engineering sciences, docent of the department «Railway and track facilities» State Economic-Technological University of Transport. Tel.: (044) 591-51-47.

Molchanov Vitalii Mykolaiovych, PhD in Engineering sciences, docent of the department «Railway and track facilities» State Economic-Technological University of Transport. Tel.: (044) 591-51-47.

Artiukhovych Tetiana Dmytrivna, senior lecturer of the department «Railway and track facilities» State Economic-Technological University of Transport. Tel.: (044) 591-51-47.

Стаття прийнята 06.04.2017 р.

УДК 625.143.5

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНОГО ОФОРМЛЕННЯ ВУЗЛА РЕЙКОВОГО СКРІПЛЕННЯ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЗДОВЖНЬОЇ СТІЙКОСТІ БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ

Канд. техн. наук В. М. Твердомед, старші викладачі С. Л. Карпінський, О. О. Сорока

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО ОФОРМЛЕНИЯ УЗЛА РЕЛЬСОВОГО СКРЕПЛЕНИЯ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Канд. техн. наук В. М. Твердомед,
старшие преподаватели С. Л. Карпинский, О. А. Сорока

INFLUENCE CONSTRUCTIONAL APPEARANCE ASSEMBLY OF RAIL FASTENING LONGITUDINAL STABILITY OF LONG-WELDED RAILS

Ph.d. tehn. V. M. Tverdomed, S.L. Karpinskyi, O. O. Soroka

У статті проведено теоретичні розрахунки поздовжніх сил уgonу, на основі яких побудовано графіки залежності їх значень від експлуатаційних умов, режимів ведення поїзда та конструкції верхньої будови колії. Аналіз проведених розрахунків дає змогу встановити вплив конструктивного оформлення вузла на забезпечення поздовжньої стійкості безстикової колії. Запропоновано методуку проведення експериментальних досліджень для визначення та перевірки поздовжньої жорсткості проміжних рейкових скріплень і погонного опору поздовжнім переміщенням рейки залежно від типу і конструктивного оформлення вузла.

Ключові слова: безстикова колія, рейкові скріплення, поздовжня стійкість, сили уgonу, умови експлуатації.

В статье проведены теоретические расчеты продольных сил угона, на основе которых построены графики зависимости их значений от эксплуатационных условий, режимов ведения поезда и конструкции верхнего строения пути. Анализ проведенных расчетов позволяет установить влияние конструктивного оформления узла на обеспечение продольной устойчивости бесстыкового пути. Предложена методика проведения экспериментальных исследований для определения и проверки продольной жесткости

промежуточных рельсовых скреплений и погонного сопротивления продольным перемещением рельса в зависимости от типа и конструктивного оформления узла.

Ключевые слова: бесстыковой путь, рельсовые скрепления, продольная устойчивость, силы угона, условия эксплуатации.

Abstract: Long-welded rails are the main construction of railway. For ensuring longitudinal stability of rails it is necessary to acting forces on rail string cannot exceed the resisting strength which are provided by rail fastening. The nature and meaning of track's force displacement are: longitudinal force from elastic bending of rail; even braking force, even longitudinal temperature force.

Displacement's of a track effect considering the addition for design model beam which laying on the solid and elastic base which deformable in vertical plane and not deformable in horizontal plane. Even braking force depends on the aspect of braking: service brake application, emergency brake application, regenerative braking. By temperature change of rail string in the temperature of their fixation longitudinal temperature forces is caused. The results of theoretical estimations performed on the basis of a diagrams of relationship between track's force displacement and operating condition, regimes of train handling, construction of permanent way. The proposed methodology by pursuance of experimental research for finding and testing for longitudinal hardness of rail fastening and resistance per unit length longitudinal travel according as type design pattern of fastening's assembly.

Key words: long-welded rails, rail fastenings, longitudinal stability, track's force displacement, operating condition.

Вступ. На залізницях України безстыкова колія є найбільш прогресивною і головною конструкцією колії [1, 2]. Основними напрямками подальшого підвищення ефективності безстыкової колії є збільшення довжини рейкових плітей, розширення полігону укладання безстыкової колії, подальше вдосконалення проміжних і стыкових скріплень, повторне використання старопридатних рейкових плітей без порушення їхньої цілісності. Переваги безстыкової колії роблять її основною конструкцією залізничної колії, незалежно від розмірів вантажонапруженості. Надійність залізничної колії в основному залежить від надійності роботи вузла проміжного рейкового скріплення для забезпечення безперебійності та безпеки руху поїздів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одними з основних завдань розрахунків колії на стійкість є [1, 3, 4, 5]: визначення поздовжньої стійкості колії при впливі на неї поїзного навантаження і температурних сил; визначення

температурних сил, які з'являються в рейкових плітях при змінах температурного режиму, визначення "критичних" станів рейкових плітей, за межами яких може відбуватись втрата стійкості колії.

Застосування температурно-напруженої конструкції безстыкової колії [5, 6, 9, 10] призводить до утворення великих поздовжніх температурних сил при зміні температури рейок відносно температури закріплення, які мають основний вплив на поздовжню стійкість колії. Умова забезпечення поздовжньої стійкості особливо важлива на безстыковій конструкції колії. Тому для даної конструкції колії до конструктивного оформлення вузла рейкового скріплення висуваються більш суворі вимоги [7, 8].

При виборі конструктивного оформлення вузла проміжного рейкового скріплення [1] в першу чергу необхідно знати величини діючих сил уgonу при заданих умовах експлуатації. Залежно від того, наскільки точно можуть бути визначені сили уgonу в рейкових плітях

безстикової колії та поздовжній опір переміщенню рейки, залежить точність визначення її стійкості, тобто точність визначення параметрів, що забезпечують безпеку руху поїздів.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою статті є аналіз забезпечення поздовжньої стійкості безстикової колії з різними конструкціями рейкових скріплень у поздовжній площині залежно від експлуатаційних умов, режимів ведення поїзда та конструкції верхньої будови колії. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- встановлення сил, що діють на рейку в поздовжньому напрямку;
- розрахунок значень поздовжніх сил угону, які діють на рейку;
- побудова графіків залежності поздовжніх сил угону від експлуатаційних умов, режимів ведення поїзда та конструкції верхньої будови колії;
- встановлення забезпечення поздовжньої стійкості рейкових плітей безстикової колії залежно від конструктивного оформлення вузла рейкового скріплення.

Також поставлено завдання розробити методику виконання експериментального

дослідження безпосередньо в колії поздовжньої жорсткості проміжних рейкових скріплень і погонного опору поздовжнім переміщенням рейки залежно від типу і конструктивного оформлення вузла.

Основна частина дослідження. Для забезпечення поздовжньої стійкості верхньої будови колії згідно з методиками [1, 2] необхідно виконання таких умов: 1) діючі на рейкову пліть поздовжні сили не повинні перевищувати сили опору переміщенню шпал у баласті; 2) ті самі сили не повинні перевищувати сили опору, що забезпечуються рейковими скріпленнями. Тобто поздовжня стійкість колії буде забезпечена, якщо не буде відбуватися спільне поздовжнє переміщення рейок з опорами і не буде мати місце поздовжнє проковзування підшви рейки по опорах.

Перша умова (поздовжня стійкість рейко-шпальної решітки) буде забезпечена в тому випадку, якщо пружна поздовжня реакція кожної опори не буде перевищувати допустимого опору переміщенню цієї опори вздовж колії, тобто повинна виконуватись нерівність

$$\max \left(p_{32}^{np} + p_{гальм}^{cp} \right) \cdot l_{ш} + p_t^{роз} \cdot l_{ш} \leq \frac{[W_0^{np}]}{K_3}, \quad (1)$$

де p_{32}^{np} – погонна поздовжня сила від пружного згину рейки, кН/м;

$p_{гальм}^{cp}$ – розподілена гальмівна сила, яка передається від коліс рухомого потяга на рейкову нитку, кН/м;

$l_{ш}$ – відстань між осями шпал (ширина l -го шпального прогону), м;

$p_t^{роз}$ – розподілена поздовжня температурна сила, що діє на рейку (при ланковій колії) або на рейкову пліть (при безстиковій колії), кН/м;

$[W_0^{np}]$ – допустимий опір переміщенню шпали вздовж колії (віднесений до однієї рейкової нитки), кН;

K_3 – коефіцієнт запасу на поздовжню стійкість (приймається $K_3=1,15$).

Величини допустимого опору переміщенню незавантаженої шпали вздовж колії $[W_0^{np}]$ віднесені до однієї рейкової нитки.

Друга умова (поздовжня стійкість рейкової колії) буде виконуватися в тому випадку, якщо сумарні поздовжні сили угону рейки (разом з температурними

поздовжніми силами) не будуть перевищувати сили опору поздовжньому

переміщенню, яка забезпечуються рейковими скріпленнями:

$$\sum p_{\text{угон+темп}} = \max(p_{\text{зг}}^{\text{np}} + p_{\text{гальм}}^{\text{сп}}) + p_t^{\text{роз}} \leq \left[r_{\text{скр}}^{\text{пог}} \right] + \frac{2 \cdot R_n}{K_3 \cdot l_{\text{он}}}, \quad (2)$$

де $\left[r_{\text{скр}}^{\text{пог}} \right] = \frac{r}{K_3}$ – допустимий погонний опір рейкової нитки, що забезпечується скріпленням, кН/м.

Величина r – розрахунковий погонний опір поздовжньому переміщенню підшви рейки по основі [3, 4].

Отримані результати розрахунку дають змогу побудувати графіки залежності поздовжніх сил угону від експлуатаційних умов, режимів ведення поїзда та конструкції верхньої будови колії (рис. 1-3).

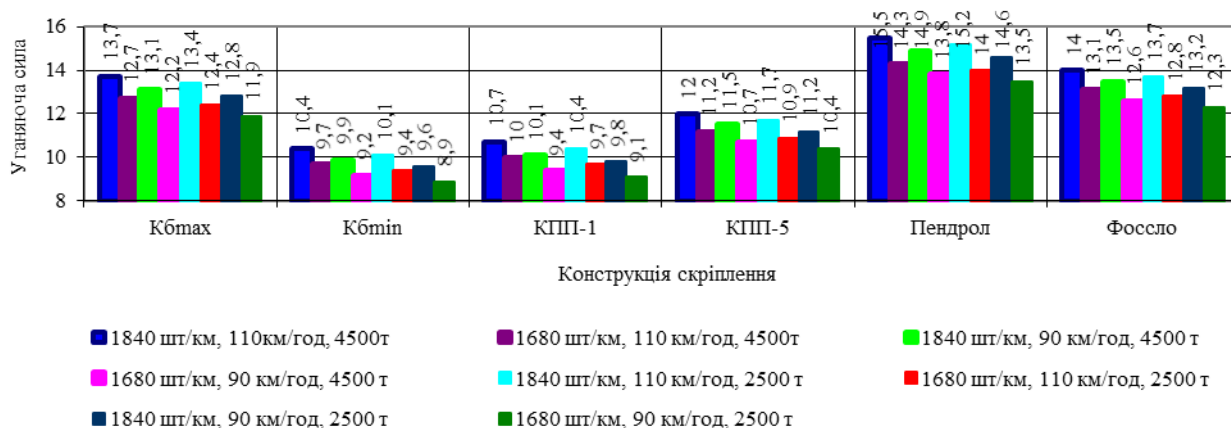


Рис. 1. Графіки значень діючих сил угону при службовому гальмуванні вантажного поїзда

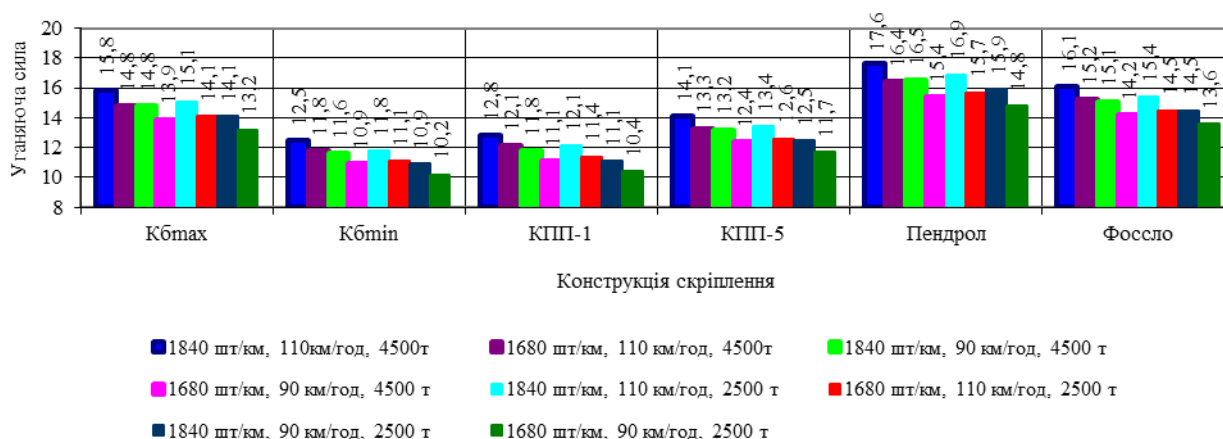


Рис. 2. Графіки значень діючих сил угону при екстремому гальмуванні вантажного поїзда

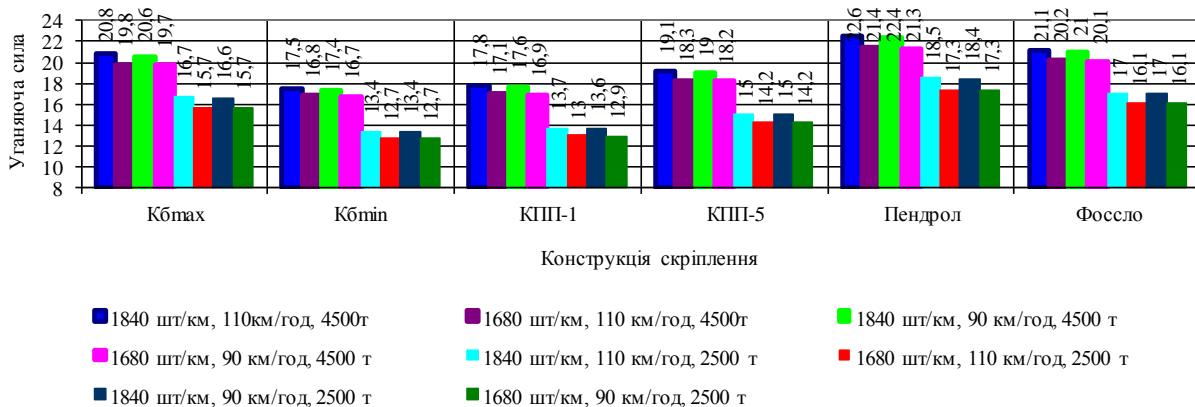


Рис. 3. Графіки значень діючих сил уgonу при рекуперативному гальмуванні вантажного поїзда

На основі проведених розрахунків можна встановити процентне співвідношення сил уgonу, які формують величину

сумарної поздовжньої сили уgonу при русі вантажного поїзда вагою 4500 т із швидкістю 90 км/год (рис. 4).

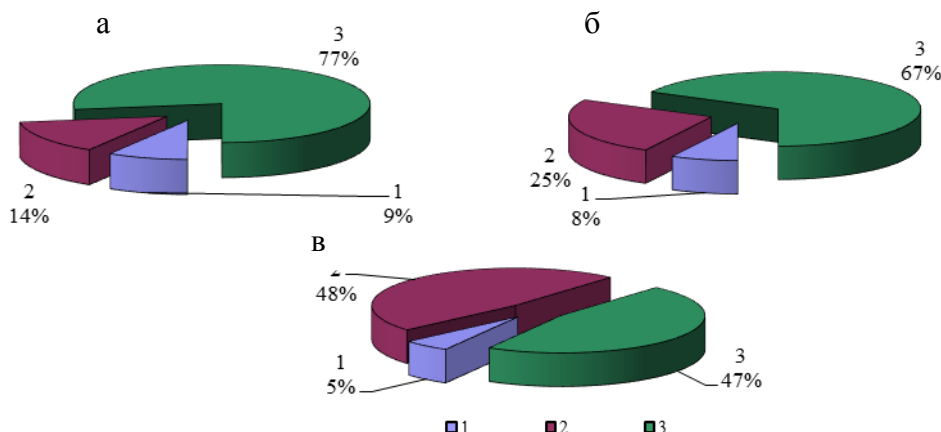


Рис. 4. Співвідношення формуючих сумарну поздовжню силу уgonу при безпідкладковій конструкції колії з рейковими скріпленнями КПП-5 та епюрою укладання шпал 1840 шт./км: а – при службовому гальмуванні; б – при екстреному гальмуванні; в – при рекуперативному гальмуванні; 1 – сила від пружного вигину рейки; 2 – гальмівна сила; 3 – температурна сила

Поздовжня сила уgonу від пружного вигину рейки має незначний вплив на формування величини сумарної поздовжньої сили та в процентному співвідношенні знаходиться в межах 5-9 %.

Поздовжні гальмівні сили більшою мірою впливають на формування величини сумарної поздовжньої сили уgonу та залежать від маси рухомого екіпажа і швидкості руху. Процентне співвідношення гальмівної сили від сумарної поздовжньої

сили уgonу залежить від режиму ведення поїзда та досягає найбільшого співвідношення – 48 % – при рекуперативному гальмуванні. При русі вантажного поїзда зі швидкостями 110 км/год, 90 км/год та масою 4500 т на спуск з крутим ухилом при застосуванні рекуперативного гальмування втрачається поздовжня стійкість рейкової колії при різній конструкції колії з епюрами укладання шпал 1840 шт./км, 1680 шт./км.

Найбільший вплив на формування величини сумарної поздовжньої сили уgonу має поздовжня температурна сила, яка є функцією від величини інтервалу зміни температури пліті відносно температури закріплення та поздовжньої жорсткості вузла рейкового скріплення $P_t = f(\Delta t, C_{uz})$.

У процесі експлуатації елементи проміжного рейкового скріплення зазнають

постійного динамічного навантаження, у процесі чого виникають залишкові деформації. Для встановлення забезпечення поздовжньої стійкості рейкових плітей безстикової колії в процесі експлуатації на кафедрі ЗККГ була розроблена методика для проведення експериментальних досліджень безпосередньо на діючих ділянках залізничної колії при різних умовах експлуатації (рис. 5).

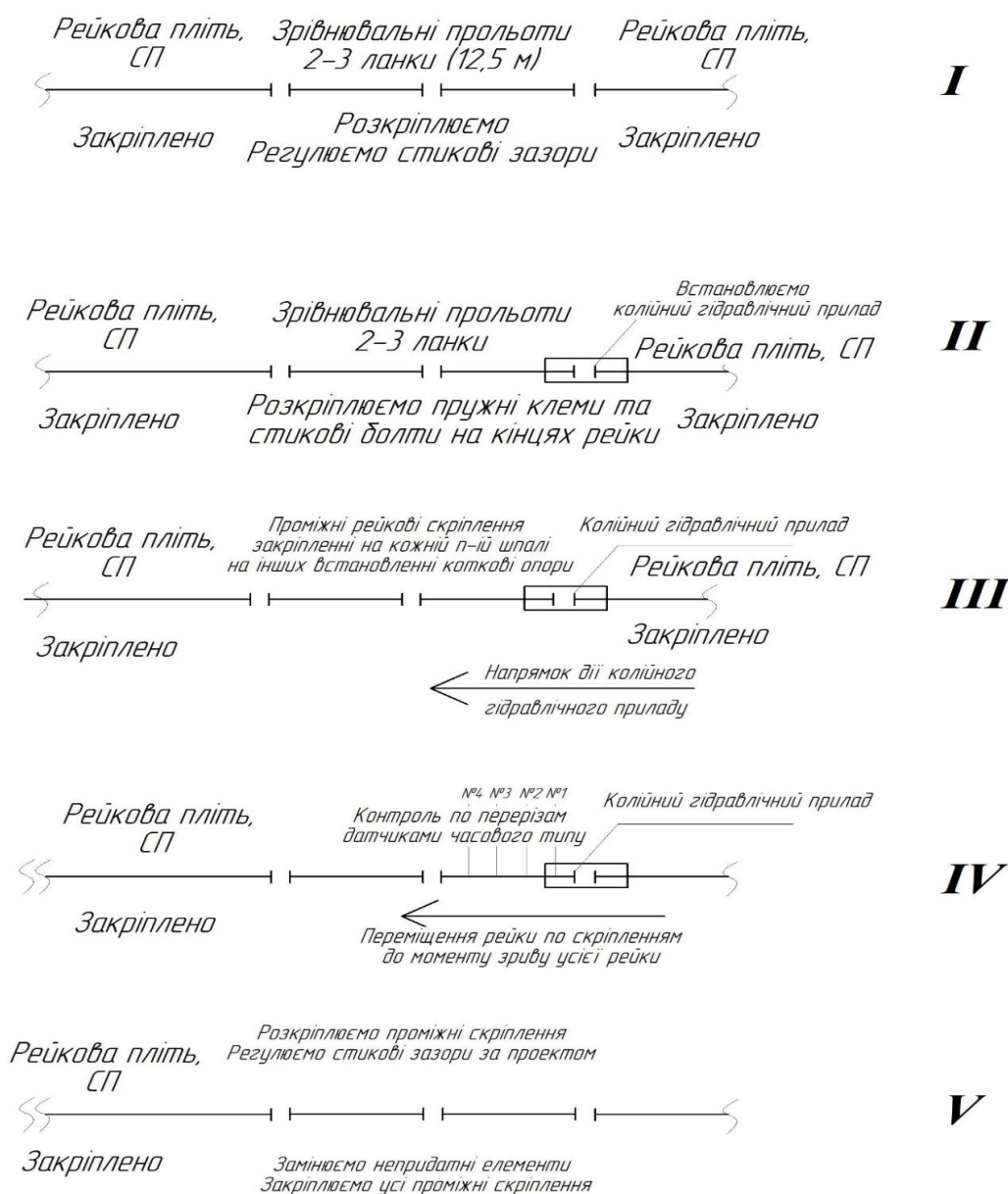


Рис. 5. Порядок виконання експериментального дослідження поздовжньої жорсткості проміжних рейкових скріплень

Для виключення впливу температурних зусиль, що виникають у рейках при зміні температури, експериментальні дослідження необхідно виконувати при температурі, яка відрізняється від температури закріплення рейкових плитей не більш ніж на 5 °С.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Аналіз порівняння характеристик дозволяє зробити такі висновки:

– поздовжня стійкість рейкової колії при безпідкладковій конструкції колії при русі вантажного поїзда масою 4500 т із швидкістю руху 90 км/год та різних режимах гальмування в цілому має більшу на 5 % забезпеченість порівняно з підкладковою конструкцією колії;

– величина погонного опору рейкових ниток при зміні епюри шпал з 1840 до 1680 шт./км зменшується при всіх видах скріплень приблизно на 8-9 %;

– сумарні діючі поздовжні сили уgonу рейкових ниток (температурні від вигину і гальмування) при службовому та екстремому гальмуванні пасажирських і вантажних поїздів вантажного поїзда

масою 2500÷4500 т не перевищують сил погонного опору, що забезпечуються скріпленнями при всіх конструкціях колії, які розглянуті в розрахунках. Поздовжня стійкість рейкової колії може бути втрачена при підкладковій конструкції рейкової колії зі скріпленням КБ з середнім зусиллям затискання клем і безпідкладковій конструкції колії зі скріпленням КПП-1 при русі пасажирського поїзда масою 1600 т із швидкістю руху 160 км/год при екстремому гальмуванні;

– пружна поздовжня реакція кожної опори, яка виникає при підкладковій і безпідкладковій конструкції рейкової колії при експлуатації вантажного та пасажирського поїзда для всіх розглянутих конструкціях рейкового скріплення з епюрами укладання шпал 1840 і 1680 шт./км значно менша від допустимого опору переміщення шпали вздовж колії;

– найгірші умови для рейкових ниток за діючими поздовжніми силами уgonу створюються в екстремальних умовах при спільній дії вигину рейок від колісного навантаження, температурних сил і рекуперативного гальмування.

Список використаних джерел

1. Даніленко, Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом [Текст]: підруч. для вищ. навч. закл. – у 2-х т. – К.: Інпрес, 2010.
2. Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України (ЦП/0266) [Текст]. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 107 с.
3. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [Текст] / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
4. Дослідження поздовжньої стійкості колії на залізобетонних шпалах при різних типах скріплень [Текст]: звіт про НДР кафедри РЕЗіС КУЕТТ / за ред. проф. Е.І. Даніленко). – № держ. реєстрації 0104U002380. – К., 2003. – 83 с.
5. Бесстыковой путь [Текст] / под ред. В.Г. Альбрехта, Е.М. Бромберга. – М.: Транспорт, 1982. – 206 с.
6. Альбрехт, В. Г. Угон железнодорожного пути и борьба с ним [Текст] / В.Г. Альбрехт, А.Я. Коган. – М.: Транспорт; ВНИИЖТ, 1996. – 160 с.
7. Твердомед, В. М. Вплив поперечних та поздовжніх сил горизонтальних сил на роботу без підкладкової та підкладкової конструкції рейкової колії [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.06 – Залізнична колія / В.М. Твердомед. – К.: ДЕУТ, 2010. – 21 с.

8. Просторова жорсткість проміжного скріплення типу КПП-5 [Текст] / О. М. Даренський, В. Г. Вітольберг, І. Л. Копилов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 144. – С. 113-118.

9. Lim N.-H., Park N.-H., Kang Y.-J. Stability of continuously welded track Computers Structs, 2003, 81 (22–23). – P. 2219–2236.

10. Luo Y. A model for predicting the effect of temperature force of continuous welded rail track Proc. Instn Mech. Engrs, Part F: J. Rail and Rapid Transit, 1999, 213 (F2). – P. 117–124.

Твердомед Володимир Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного економіко-технологічного університету транспорту. Тел.: (044)-5915147.

Карпінський Сергій Леонідович, старший викладач кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного економіко-технологічного університету транспорту. Тел.: (044)-5915147.

Сорока Ольга Олексіївна, старший викладач кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного економіко-технологічного університету транспорту. Тел.: (044)-5915147.

Tverdomeed Vladimir Nikolaevich, PhD in Engineering sciences, docent of the department «Railway and track facilities» State Economic-Technological University of Transport. Tel.: (044) 591-51-47.

Karpinskiy Sergei Leonidovich, senior lecturer of the department «Railway and track facilities» State Economic-Technological University of Transport. Tel.: (044) 591-51-47.

Soroka Olga Alekseevna, senior lecturer of the department «Railway and track facilities» State Economic-Technological University of Transport. Tel.: (044) 591-51-47.

Стаття прийнята 06.04.2017 р.

УДК 625.151

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНКІВ СИМЕТРИЧНИХ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ДЛЯ МАГІСТРАЛЬНОГО І ПРОМИСЛОВОГО ТРАНСПОРТУ

Старш. викл. О. А. Олійник

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТОВ СИММЕТРИЧНЫХ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА

Старш. преп. Е. А. Олейник

PECULIARITY OF PROJECT AND CALCULATION OF SYMMETRIC SWITCHES FOR RAILWAY AND INDUSTRIAL TRANSPORT

О. Оліінык

У навчальній і довідковій технічній літературі дуже коротко наводяться дані про методичні розрахунки та особливості проектування симетричних стрілочних переводів для різних експлуатаційних умов, у тому числі для магістрального і промислового транспорту. У даній статті наводяться деякі розробки з метою виправлення вказаного недоліку навчальної літератури.

Ключові слова: залізничний транспорт, промисловий транспорт, стрілочні переводи, розрахунки, проектування, гостряки, рейки.

В учебной и справочной технической литературе очень кратко приводятся данные о методических расчетах и особенностях проектирования симметричных стрелочных переводов для разных эксплуатационных условий, в том числе для магистрального и промышленного транспорта. В данной статье приводятся некоторые разработки с целью исправления указанного недостатка учебной литературы.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, промышленный транспорт, стрелочные переводы, расчеты, проектирование, остряки, рельсы.

Equilateral switch is switch with all elements are arranged symmetrically relative to the axis of the main path. Equilateral switches are widely used in marshalling-yard bays stations, because they work in cramped conditions.

Equilateral switch sometimes used when it is necessary to achieve higher speeds on both side of the track. For example, the symmetric transfer switch type R65 frog number 1/11 of the speed limit in the lateral direction 1,75 times greater than for an ordinary switch of the same brand and type.

Equilateral switch or applied straight, or with curved blades. Straight tongue to main station track of industrial transport. On the main paths in symmetric switches used curved tongues.

In educational and reference literature very briefly presents data on the methodological calculations and design features of symmetric switches for different operational conditions, including for the mainline and industrial transport. This article summarizes some of the developments to remedy this drawback of textbooks.

Keywords: railway transport, industrial transport, railway switches, calculations, switch tongue, rails.

Вступ. Розрахунки і проектування симетричних різносторонніх стрілочних переводів має суттєву різницю з розрахунками звичайних односторонніх переводів і є окремим підрозділом у розділі проектування з'єднань і пересічень рейкових колій. На жаль, викладення вказаного підрозділу в навчальній технічній літературі не є достатньо досконалим і в багатьох випадках потребує при проектуванні або пошуку спеціальної технічної літератури, або додаткових самостійних розрахунків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Мета та задачі досліджень. Вивчення і аналіз навчальної і довідкової технічної літератури [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] показали, що розрахунки симетричних різносторонніх стрілочних переводів наведені дуже коротко, в окремих частинах лише фрагментарно і, як правило, із

посиланнями на методику розрахунків звичайних стрілочних переводів, що не є зовсім ідентичними. Тим більше це стосується методик проектування конструктивних вузлів симетричних стрілочних переводів і особливостей їх проектування для різних експлуатаційних умов, у тому числі для магистрального і промислового транспорту. Такої літератури практично нема, а якщо і є [8, 6, 5], то в ній нема рішень вказаних питань.

У даній публікації зроблена спроба виправити вказаний недолік навчальної літератури стосовно розрахунків і проектування симетричних стрілочних переводів.

Основна частина дослідження. Відмінними особливостями одиночного різностороннього симетричного стрілочного переводу є:

- симетричність розташування всіх його елементів відносно осі прямої колії;

- за інших рівних умов кути удару коліс у гостряки значно менші, ніж у гостряки звичайних переводів;

- при однакових зі звичайними переходами радіусах перевідних кривих симетричні переходи виходять коротшими;

- при збереженні довжини кривої і радіуса можна застосувати хрестовини з більшим кутом, ніж у звичайному переході;

- при однаковій марці зі звичайними переходами симетричні дозволяють реалізувати суттєво більші швидкості руху поїздів боковими коліями.

Указані якості одиночних різносторонніх симетричних стрілочних переводів визначили собою і їх сферу розповсюдження:

1) симетричні стрілочні переходи дозволяють створювати компактні колійні схеми в стиснених умовах і тому широко застосовуються в сортувальних парках станцій і на коліях промислового транспорту;

2) симетричні стрілочні переходи іноді застосовують, коли потрібно досягти підвищених швидкостей руху на обидві бокові колії. Наприклад, по симетричному стрілочному переходу типу Р65 марки 1/11 допустима швидкість на боковий напрямок

складає $V_{дон}=70$ км/год, тобто в 1,75 рази більше, ніж для звичайного стрілочного переходу тієї самої марки і типу ($V_{дон}=40$ км/год).

Розрахунок основних геометричних параметрів симетричного стрілочного переходу з криволінійними гостряками. Усі геометричні параметри для симетричного стрілочного переходу (як і для звичайного) визначаються зі складання і розв'язання рівнянь проєкцій розрахункових контурів переходу на вертикальну і горизонтальну осі.

При криволінійних гостряках (рис. 1) криволінійна частина симетричного стрілочного переходу складається з двох радіусів: на початку від вістря гостряка до кореня гостряка крива окреслюється радіусом гостряка R_0 , потім від кореня гостряка до початку прямої вставки d перед хрестовиною крива окреслюється радіусом перевідної кривої $R < R_0$.

Початковий кут гостряка не дорівнює куту гостряка в корені $\beta_{н-1} \neq \beta_{повн-1}$, кут у кінці перевідної кривої радіуса R дорівнює $\frac{\alpha}{2}$.

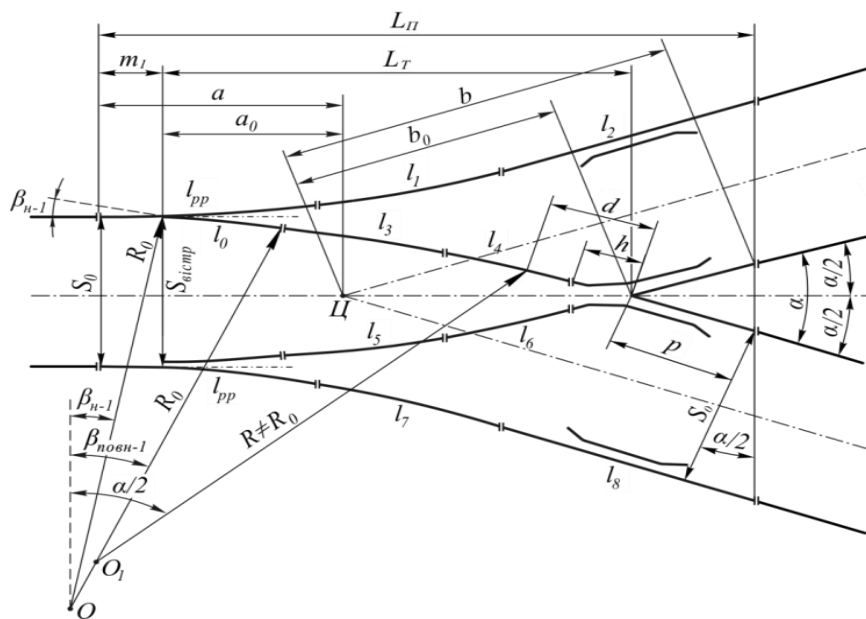


Рис. 1. Схема основних геометричних розмірів симетричного стрілочного переходу з криволінійними гостряками

Рівняння проєкцій розрахункових контурів при $R_0 \neq R$ мають такий вигляд:

$$\frac{S_0}{2} = R_0(\cos \beta_{n-1} - \cos \beta_{повн-1}) + R(\cos \beta_{повн-1} - \cos \alpha/2) + d \cdot \sin \alpha/2, \quad (1)$$

$$L_T = R_0(\sin \beta_{повн-1} - \sin \beta_{n-1}) + R(\sin \alpha/2 - \sin \beta_{повн-1}) + d \cdot \cos \alpha/2, \quad (2)$$

$$L_{II} = m_1 + L_T + p \cdot \cos \alpha/2. \quad (3)$$

Хід розв'язання задачі при криво-лінійних гостряках приймається таким.

Є, як правило, 2 випадки задавання вихідних даних. 1-й випадок задавання вихідних даних: задана марка хрестовини $1/N$ і кут α , початковий кут гостряка β_{n-1} ; 2-й випадок: крім усіх перерахованих параметрів, додатково задана ще теоретична довжина стрілочного перевалу L_T .

Радіуси гостряка R_0 і перевідної кривої R визначаються так.

Радіус гостряка R_0 (однаково для 1-го і 2-го випадків задавання вихідних даних) визначається за умови обмеження величини непогашених прискорень $[j_0]$,

що раптово з'являються при вході колісної пари на стрілку на боковий напрямок із заданою швидкістю $V_{бок}$, м/с [1]:

$$R_0 \geq \frac{V_{бок}^2}{[j_0]}, \quad (4)$$

де $[j_0]$ приймається за верхню межу, $[j_0]=0,65$ м/с²;

$V_{бок}$ – швидкість руху по боковій колії, м/с;

R_0 – початковий радіус гостряка, м.

Радіус перевідної кривої R (для 1-го випадку вихідних даних) визначається з 1-го рівняння проєкцій розрахункових контурів:

$$R = \frac{\frac{S_0}{2} - d \cdot \sin \frac{\alpha}{2} - R_0 \cdot (\cos \beta_{n-1} - \cos \beta_{повн-1})}{\cos \beta_{повн-1} - \cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (5)$$

де кут гостряка, рад, в корені $\beta_{повн-1}$ обчислюється за формулою

$$\beta_{повн-1} = \beta_{n-1} + \frac{l_0}{R_0}, \quad (6)$$

а довжина прямої вставки перед хрестовиною береться рівною

$$d_{\min} = h_{np} + l_n/2. \quad (7)$$

Для 2-го випадку вихідних даних радіус перевідної кривої R визначається з 2-го рівняння проєкцій розрахункових контурів

$$R = \frac{L_T - d \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - R_0 \cdot (\sin \beta_{повн-1} - \sin \beta_{n-1})}{\sin \frac{\alpha}{2} - \sin \beta_{повн-1}}. \quad (8)$$

Визначені за формулами (5), (8) величини радіуса R потрібно перевірити за умови обмеження величини непогашених відцентрових прискорень $\gamma_0^{розр}$, що діють при встановленому русі колісного екіпажа по стріліці при заданій швидкості руху $V_{бок}$ на боковий напрямок [1, 6]:

$$\gamma_0^{розр} = \frac{V_{бок}^2}{R} \leq [\gamma_0]. \quad (9)$$

Якщо умова $\gamma_0^{розр} \leq [\gamma_0]$ не виконується, то потрібно приймати рішення: 1) або

при тому самому розрахунковому значенні радіуса $R_{розр-1} = R$ зменшувати задану швидкість $V_{бок}$ на боковий напрямок; 2) або залишати задану швидкість $V_{бок}$, і тоді потрібно збільшувати величину розрахункового радіуса $R_{розр-2} > R$.

Після перевірки відповідності значення розрахункового радіуса умовам обмеження величини непогашених відцентрових прискорень довжину прямої вставки перед хрестовиною потрібно уточнювати за формулою

$$d = \frac{\frac{S_0}{2} - R(\cos\beta_{повн-1} - \cos\frac{\alpha}{2}) - R_0 \cdot (\cos\beta_{н-1} - \cos\beta_{повн-1})}{\sin\frac{\alpha}{2}}. \quad (10)$$

Примітка. Після визначення d за формулою (10) потрібно перерахувати значення радіуса R за формулами (5) або (8).

Осьові розміри симетричного стрілочного перевалу з криволінійними гостряками обчислюються за формулами

$$b = b_0 + p = \frac{S_0}{2 \operatorname{tg} \alpha / 2} + p, \quad (11)$$

$$a = m_1 + a_0 = m_1 + \left(L_T - \frac{S_0}{2 \sin \alpha / 2} \right). \quad (12)$$

На цьому закінчується розрахунок основних параметрів симетричного стрілочного перевалу з криволінійними гостряками.

Розрахунок довжини бокової строжки криволінійного гостряка симетричного стрілочного перевалу. Розрахунок довжини строжки криволінійного гостряка симетричного перевалу виконується відповідно до схеми і позначень рис. 2.

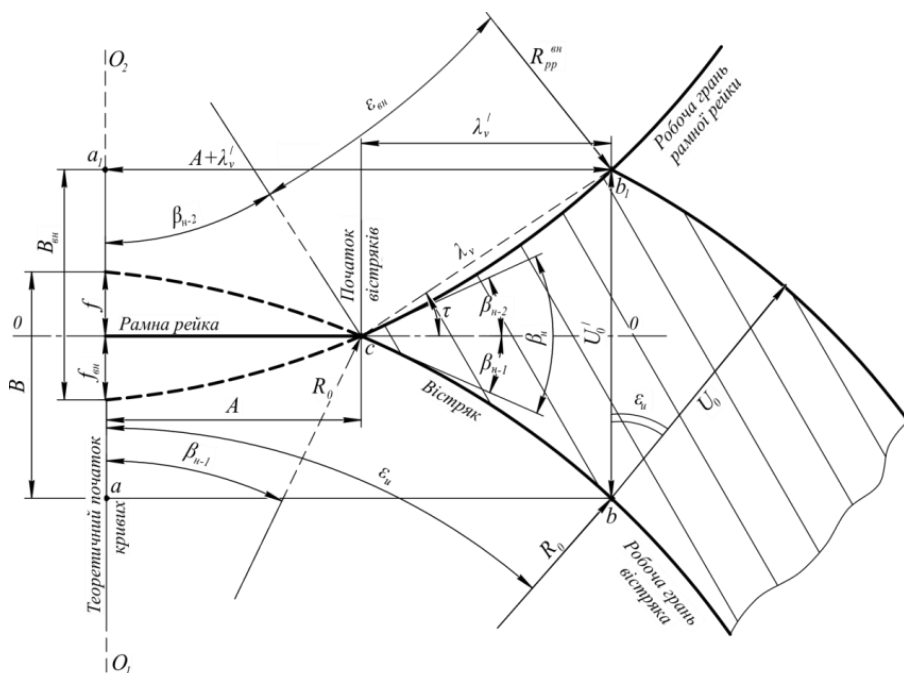


Рис. 2. Розрахункова схема довжини бокової строжки криволінійного гостряка симетричного перевалу

Шуканою величиною є довжина бокової строжки гостряка λ_v . Бокова строжка гостряка виконується на довжині λ_v від вістря до перерізу, де гостряк має повну ширину головки U_0 .

Для визначення довжини бокової строжки гостряка λ_v потрібно для початку розрахувати деякі допоміжні величини:

1. Повний початковий кут між робочою гранню гостряка і робочою гранню рамної рейки відповідно до схеми рис. 2 складається з двох кутів:

$$\beta_n = \beta_{n-1} + \beta_{n-2}. \quad (13)$$

2. У виразі (13) невідомим є початковий кут рамної рейки β_{n-2} , його можна визначити з виразу

$$\sin \beta_{n-2} = \frac{A}{R_{pp}^{6H}}. \quad (14)$$

3. Відстань A по горизонталі від вістря гостряка до розрахункового вертикального радіуса визначається з виразу

$$A = R_0 \cdot \sin \beta_{n-1}. \quad (15)$$

4. Стріли сегментів f і f_{6H} від хорди CO в колах з радіусами R_0 , R_{pp}^{6H} визначаються з виразів

$$f = R_0 \cdot (1 - \cos \beta_{n-1}), \quad (16)$$

$$f_{6H} = R_{pp}^{6H} - \sqrt{(R_{pp}^{6H})^2 - A^2}. \quad (17)$$

5. Для пошуку дійсної довжини строжки гостряка λ_v знайдемо спочатку довжину прямої $A + \lambda'_v$. З трикутників abo_1 і $a_1b_1o_2$ можна отримати

$$A + \lambda'_v = \sqrt{R_0^2 - (R_0 - B)^2} = \sqrt{(R_{pp}^{6H})^2 - (R_{pp}^{6H} - B_{6H})^2}, \quad (18)$$

де B і B_{6H} – стріли сегментів від хорди ab і хорди a_1b_1 в колах з радіусами R_0 і R_{pp}^{6H} (див. рис. 2).

6. Довжину B_{6H} можна знайти з рис. 2:

$$B_{6H} = U'_0 - [B - (f + f_{6H})] = U'_0 + (f + f_{6H}) - B. \quad (19)$$

У формулі (19) невідомими є довжина U'_0 – відстань між точками b і b_1 , а також довжина відрізка B .

Довжину U'_0 можна визначити за формулою

$$U'_0 = \frac{U_0}{\cos \varepsilon_u}, \quad (20)$$

де ε_u – кут у кінці бокової строжки гостряка.

Однак у зв'язку з тим, що кут ε_u є поки що невідомим, можна з достатньою точністю прийняти для 1-го етапу розрахунків довжину U'_0 рівною

$$U'_0 = \frac{U_0}{\cos(\beta_{n-1} + \beta_{n-2})}. \quad (21)$$

У подальшому після визначення довжини бокової строжки гостряка λ'_v слід уточнити значення U'_0 за формулою (20).

Кут ε_u в кінці бокової строжки гостряка визначиться з виразу

$$\sin \varepsilon_u = \frac{A + \lambda'_u}{R_0}. \quad (22)$$

Довжина відрізка B є стрілою сегмента від напівхорди ab в колі радіусом R_0 , де напівхорда $ab = A + \lambda'_v$. Тому довжину B можна знайти зі співвідношення, яке існує між стрілою сегмента і напівхордою ab :

$$\lambda'_v = \sqrt{R_0^2 - (R_0 - B)^2} - A = \sqrt{2R_0B - B^2} - A. \quad (25)$$

8. Дійсна довжина бокової строжки гостряка λ_v , що виконується по прямій cb_1 , визначається з виразу

$$\lambda_v = \frac{\lambda'_v}{\cos \tau}, \quad (26)$$

де кут τ визначається з виразу

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{B_{\text{вн}} - f_{\text{вн}}}{\lambda'_v}. \quad (27)$$

Таким чином знайдено всі необхідні величини для визначення шуканої довжини строжки λ_v .

Після визначення λ'_v і λ_v слід уточнити значення U'_0 за формулою (20) і значення кута ε_u за формулою (22) і після цього за необхідності (коли нове значення U'_0 буде відрізнятись від попереднього більш ніж на 1,0 %) потрібно зробити перерахунок λ'_v і λ_v при нових значеннях U'_0 .

$$\frac{B}{A + \lambda'_v} = \frac{A + \lambda'_v}{2R_0 - B}. \quad (23)$$

Звідси після підстановки $(A + \lambda'_v)$ з формули (18) і $B_{\text{вн}}$ з формули (19) і деяких спрощень отримаємо

$$B = \frac{(U'_0 + f + f_{\text{вн}}) \cdot (2R_{pp}^{\text{вн}} - U'_0 - f - f_{\text{вн}})}{2(R_0 + R_{pp}^{\text{вн}} - U'_0 - f - f_{\text{вн}})}. \quad (24)$$

7. Тепер довжина проекції бокової строжки гостряка λ'_v на горизонтальну вісь знайдеться після перетворень виразу (18)

Розрахунок довжини рамних рейок і величини переднього і заднього вильотів рамної рейки. Обидві рамні рейки в симетричному стрілочному переводі мають у плані складне окреслення (див. рис. 3): на 1-му відрізку від переднього стику рамної рейки до точки $(\cdot)c$ прилягання вістря гостряка рамна рейка прямолінійна і паралельна горизонтальній осі стрілочного переводу; на 2-му відрізку від вістря гостряка $(\cdot)c$ до кінця горизонтальної строжки гостряка $(\cdot)b_1$ рамна рейка вигинається по радіусу $R_{pp}^{\text{вн}}$ і має криволінійне окреслення, причому на відрізку cb_1 прилягання гостряка до рамної рейки, бокова робоча грань і підшва рамної рейки зістругуються по прямій (рис. 3).

З рис. 3 можна побачити, що загальна довжина рамної рейки складається з двох прямолінійних і двох криволінійних відрізків:

$$l_{pp} = m_1 + \lambda_v + l_{pp}^{kp-1} + l_{pp}^{kp-2}. \quad (28)$$

Знайдемо послідовно ці відрізки.

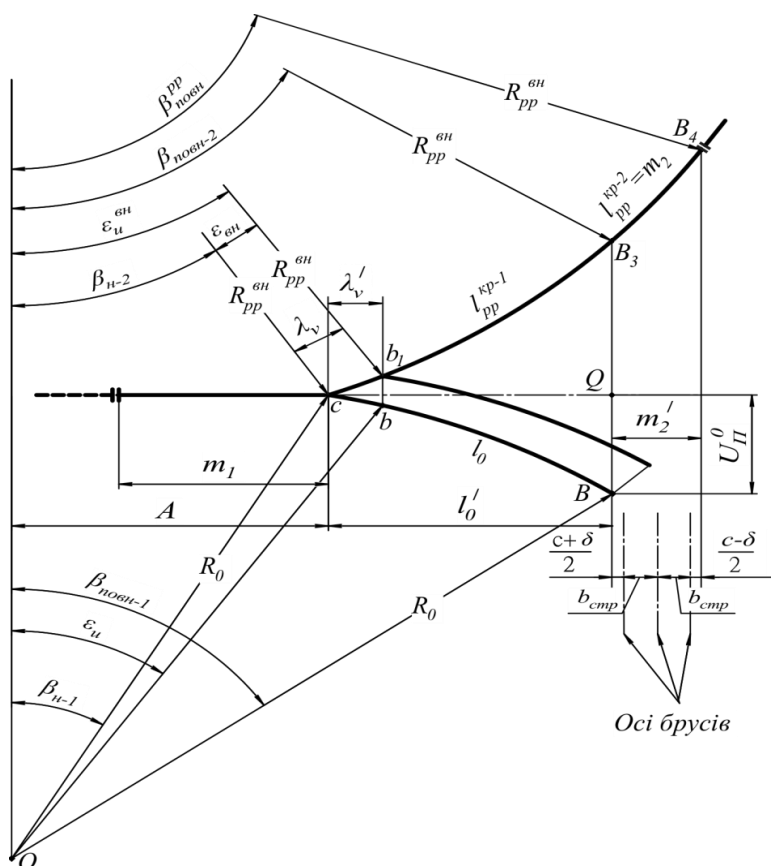


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення довжини рамної рейки симетричного стрілочного переходу з криволінійними гостряками

1. Довжина бокової строжки гостряка λ_v , вздовж якої гостряк прилягає до рамної рейки, вже визначена раніше.

2. Довжина 1-го криволінійного відрізка рамної рейки $b_1B_3=l_{pp}^{кр-1}$ (рис. 3) визначається з виразу

$$l_{pp}^{кр-1} = R_{pp}^{6H} \cdot (\beta_{повн-2} - \epsilon_u^{6H}). \quad (29)$$

Центральний кут $\beta_{повн-2}$ (від розрахункового вертикального радіуса до $(\cdot)B_3$) визначається з виразу

$$\sin \beta_{повн-2} = \frac{A + l_0'}{R_{pp}^{6H}}. \quad (30)$$

У рівнянні (30) невідома лише l_0' - проекція гостряка на горизонталь. Довжина l_0' (рис. 3) знаходиться з виразу

$$l_0' = R_0 \cdot \sin \beta_{повн-1} - R_0 \cdot \sin \beta_{н-1}, \quad (31)$$

де $R_0 \cdot \sin \beta_{н-1} = A$ і $\beta_{повн-1}$ визначено раніше (див. формули (6) і (15)).

Центральний кут ϵ_u^{6H} (від розрахункового вертикального радіуса до $(\cdot)b_1$ - кінця строжки гостряка) можна визначити з рис. 3:

$$\epsilon_u^{6H} = \beta_{н-2} + \epsilon_{6H}. \quad (32)$$

де кут ϵ_{6H} визначається з виразу

$$\sin\left(\frac{\epsilon_{6H}}{2}\right) = \frac{\lambda_v}{2R_{pp}^{6H}}. \quad (33)$$

Тут кут $\beta_{н-2}$ визначено раніше (див. формулу (14)).

Таким чином, визначено всі необхідні величини для розрахунку довжини 1-го

криволінійного відрізка рамної рейки l_{pp}^{kp-1} за формулою (29).

3. Довжина 2-го криволінійного відрізка рамної рейки $B_3B_4 = l_{pp}^{kp-2}$, що є довжиною заднього вильоту рамної рейки m_2 , визначається як

$$l_{pp}^{kp-2} = m_2 = R_{pp}^{gn} (\beta_{повн}^{pp} - \beta_{повн-2}). \quad (34)$$

У рівнянні (34) центральний кут $\beta_{повн}^{pp}$ у кінці рамної рейки визначається з розгляду схеми розкладання брусів (див. рис. 3):

$$\sin \beta_{повн}^{pp} = \frac{A + l_0' + m_2'}{R_{pp}^{gn}}. \quad (35)$$

З формули (35) знаходиться кут $\beta_{повн}^{pp}$, необхідний для формули (34). Після цього за формулою (34) визначається шукана довжина 2-ї криволінійної частини рамної рейки l_{pp}^{kp-2} .

$$l_2 = l_8 = m_1 - S_{вістр} \sin \beta_{n-1} + \left(R - S_{кр} - \frac{b_2}{2} \right) \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - \beta_{n-1} \right) + d + p + S_0 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - l_{p,p} - l_7 - 2\delta. \quad (36)$$

Довжини рейок l_4 і l_6 визначають виходячи з розгляду сумарної довжини по внутрішній нитці:

$$l_4 = l_6 = \left(R + \frac{b_2}{2} \right) \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - \beta_{n-1} \right) + d - l_0 - l_3 - h - 3\delta. \quad (37)$$

Ширина колії S_0 , $S_{вістр}$ приймається за «Інструкцією» [9].

Мінімальну довжину рейок не дозволяється приймати менше 4,5 м.

Висновки з дослідження і перспективи подальшого розвитку у даному напрямку. Викладена методика дає

4. Довжина переднього вильоту рамної рейки m_1 визначається за допомогою загального принципу розрахунку m_1 для стрілочних переводів: по-перше, з умови розкладання брусів на довжині від переднього стику рамної рейки до вістря гостряка; по-друге, з умови забезпечення плавності відводу розширення колії на довжині від початку гостряків до передніх стиків рамних рейок.

У кінцевому підсумку після визначення всіх необхідних складових визначається довжина рамної рейки l_{pp} за формулою (28).

Визначення довжини рейок, що входять до складу симетричного переводу з криволінійними гостряками. Розрахунки виконуються виходячи з рис. 1. Насамперед приймають довжини рейок

$$l_1 = l_3 = l_5 = l_7 = l_{н.р.} / 2 \text{ (або } l_{н.р.} / 4).$$

Довжини рейок l_2 і l_8 визначаються з урахуванням кривизни гостряка:

можливість детальніше і точніше розраховувати конструкції симетричних стрілочних переводів для магістрального та промислового транспорту. При цьому потрібно враховувати сучасні тенденції удосконалення конструкцій стрілочних переводів [10, 11].

Список використаних джерел

1. Даніленко, Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомих складом [Текст]: підруч. для вищ. навч. закл. – у 2-х т. – К.: Інпрес, 2010. – Т. 1. – 528 с.; Т. 2. – 456 с.
2. Шахунянц, Г. М. Железнодорожный путь [Текст] / Г.М. Шахунянц. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
3. Проектирование железнодорожного пути [Текст] / Г.М. Шахунянц, Ю.Д. Волошко, М.П. Смирнов [и др.]; под ред. Г.М. Шахунянца. – М.: Транспорт, 1972. – 320 с.
4. Основы устройства и расчетов железнодорожного пути [Текст] / В.Г. Альбрехт, М.П. Смирнов, В.Я. Шульга [и др.]; под ред. С.В. Амелина и Т.Г. Яковлевой. – М.: Транспорт, 1990. – 367 с.
5. Стрелочные переводы железных дорог Украины [Текст] / под ред. Э.И. Даниленко [Киев. ин-т ж.-д. трансп.]. – К., 2001. – 296 с.
6. Амелин, С. В. Соединения и пересечения рельсовых путей [Текст] / С.В. Амелин. – М.: Транспорт, 1968. – 268 с.
7. Басилов, В. В. Справочник инженера-путейца [Текст] / В.В. Басилов, М.А. Чернышев. – М.: Транспорт, 1972. – Т.1. – 768 с.; Т. 2. – 519 с.
8. Путь и путевое хозяйство промышленных железных дорог [Текст] / под ред. проф. В.Ф. Яковлева. – М.: Транспорт, 1990. – 344 с.
9. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП-0269) [Текст]: нормат.-техн. видання / Е.І. Даніленко, М.Б. Курган, М.І. Карпов [та ін.]. – К.: Укрзалізниця, 2012. – 456 с.
10. Басовский, Д. А. Оценка надежности эксплуатации типовых одиночных стрелочных переводов на железобетонных и деревянных брусках [Текст] // сб. науч. трудов Междунар. науч.-практ. семинара, 2010 г., Санкт-Петербург / под ред. Л.С. Блажко. – СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2010. – С. 150-155.
11. Говоров, В. В. Совершенствование стрелочных переводов для промышленного железнодорожного транспорта [Текст] / В.В. Говоров, Д.А. Басовский // Вестник науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп. – М.: ВНИИЖТ, 2011. – №4. – С. 29-32.

Олійник Олена Андріївна, старший викладач кафедри залізничної колії та колійного господарства Державного економіко-технологічного університету транспорту. Тел.: 0634431835.

Oliinyk Olena, senior lecturer of the department "Railway and track facilities" State Economic-Technological University of Transport. Tel.: (044) 591-51-47.

Стаття прийнята 06.04.2017 р.

УДК 666.972

ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТА РОЗСУНЕННЯ ЗЕРЕН ЩЕБЕНЮ РОЗЧИНОМ НА МІЦНІСТЬ ЦЕМЕНТНИХ БЕТОНІВ ПРИ ЗГІНІ

Аспіранти Д. С. Захаров, О. В. Палант,
доктори техн. наук С. М. Толмачов, Д. А. Плугін, студент П. Е. Моїсеєва

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАЗДВИЖКИ ЗЕРЕН ЩЕБНЯ РАСТВОРОМ НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ ПРИ ИЗГИБЕ

Аспиранты Д. С. Захаров, Е. В. Палант,
доктора техн. наук С. Н. Толмачев, Д. А. Плугин, студент П. Э. Моисеева

INFLUENCE OF COEFFICIENT OF EXPANSION THE GRAINS OF RUBBLE BY A SOLUTION ON CEMENT CONCRETE FLEXURAL STRENGTH

Postgraduate students D. S. Zakharov, O. V. Palant, D.Sc. S.M. Tolmachov, D. A. Plugin,
student P. E. Moiseeva

Одним з важливих чинників, що впливають на міцність цементних бетонів при згині, є щільність упакування частинок або співвідношення між великим і дрібним заповнювачем. Встановлено, що для дорожніх бетонів існує свій оптимум цього співвідношення, при якому щільність упакування частинок максимальна, його можна виразити як коефіцієнт розсування зерен щебеню розчиною сумішшю. Визначено значення цього коефіцієнта для конкретних заповнювачів і встановлено, що щільність бетону, його міцність при стисканні і згині досягає максимуму при оптимальному значенні коефіцієнта розсування.

Ключові слова: міцність при вигині, щільність упакування, коефіцієнт розсування зерен щебеню розчином, щільність бетону, міцність бетону при вигині, міцність бетону при стисканні.

Одним из важных факторов, влияющих на прочность цементных бетонов при изгибе, является плотность упаковки частиц или соотношение между крупным и мелким заполнителем. Установлено, что для дорожных бетонов существует свой оптимум этого соотношения, при котором плотность упаковки частиц максимальна, его можно выразить как коэффициент раздвижки зерен щебня растворной смесью. Определено значение этого коэффициента для конкретных заполнителей и установлено, что плотность бетона, его прочность при сжатии и изгибе достигают максимума при оптимальном значении коэффициента раздвижки.

Ключевые слова: прочность при изгибе, плотность упаковки, коэффициент раздвижки зерен щебня раствором, плотность бетона, прочность бетона при изгибе, прочность бетона при сжатии.

It is shown that one of the important factors affecting on the flexural strength of cement concrete is a packing density, or the ratio between the large and small filler. The article shows that different aggregates has its own optimum relationship between large and small aggregates in which the packing density is maximum. This relationship can be expressed as expansion coefficient of grains rubble by mortar. It determines the value of this coefficient for specific performers. It is shown that the density of the concrete, the concrete compressive strength and flexural strength of concrete reaches a maximum at the optimum expansion coefficient of grains rubble by mortar.

Keywords: flexural strength, packing density, expansion coefficient of grains rubble by mortar, density of concrete, flexural strength of concrete, concrete compressive strength.

Вступ. Виходячи з особливостей роботи дорожніх цементних бетонів у покритті, основним для них є здатність сприймати розтягувальні напруги. Тому важливою умовою їх довговічності є підвищення міцності при розтягуванні, зокрема розтягуванні при згині, оскільки цей показник можна легко і швидко визначати (на відміну від «чистого» розтягування).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Очевидно, що на міцність при згині впливає ряд чинників. Один з них – співвідношення між великим (щебенем) і дрібним (піском) заповнювачами. Це співвідношення можна оцінити коефіцієнтом розсунення зерен щебеню розчинною частиною – α . У свою чергу коефіцієнт розсунення пов'язаний зі щільністю упакування частинок заповнювача. Розробленням теорії упакування і прийомів, що дозволяють збільшити щільність упакування, займалися багато дослідників [1-11]. Відомо, що для створення оптимально щільного упакування частинки повинні бути підібрані так, щоб дрібні частинки заповнювали порожнечі між великими, з тим щоб отримати щільну і жорстку структуру матриці. Однак на сьогодні ця проблема остаточно не вирішена, оскільки реальні заповнювачі сильно відрізняються від тих ідеальних моделей, які використовують для розроблення математичних моделей упакування. В основному розглядають дві традиційні моделі.

1. Об'ємна частка великих частинок значно більше від об'ємної частки дрібніших частинок ($r_b \gg r_{др}$). У цьому випадку останні займають усі порожнечі між великими частинками і щільність повинна підвищуватися.

2. Об'ємна частка дрібних частинок значно більше від об'ємної частки великих частинок ($r_{др} \gg r_b$). Однак фізично неможливо, маючи велику об'ємну частку

дрібних частинок, одночасно вмістити всі дрібні частинки в порожнечу між великими частинками. У цьому випадку щільність упакування буде обмежена.

Важливим є і те, що при компонованні частинок можуть проявлятися два ефекти:

– пристінний ефект – ефект впливу великих частинок на щільність упакування дрібних частинок. Він може проявлятися поряд з вертикальною поверхнею або поруч з великою частинкою. У таких обмежених умовах дрібні частинки не можуть бути максимально щільно упаковані;

– ефект розпушення – ефект впливу дрібних частинок на упакування великих частинок. Цей ефект проявляється, коли кількість дрібних частинок дуже велика, щоб поміститися в порожнечах між великими частинками. Порушення упакування великих частинок дрібними називається ефектом розпушення.

Мета та задачі дослідження. Враховуючи складність створення і аналізу геометричних моделей щільного упакування, нами запропоновано оптимізувати не само упакування частинок заповнювача, а кількісне співвідношення між великим і дрібним заповнювачем. Контрольованим параметром буде міцність бетону при згині, що є основним показником якості дорожнього цементного бетону.

Основна частина досліджень. Для експериментальних досліджень використовували портландцемент ПЦ І – 500 Н Івано-Франківського цементного заводу, пісок кварцовий з модулем крупності $M_{кр} = 1,9$, а також щебінь гранітний фракції 5÷10 мм. Співвідношення між великим і дрібним заповнювачами змінювали (табл. 1). До складу бетонної суміші вводили суперпластифікатор Sika Plast 2508 полікарбоксилатного типу швейцарської фірми Sika. Рухомість бетонних сумішей відповідала показнику S1 ($OK = 1\div 4$ см).

Таблиця 1

Склади бетону

Номер складу	Склад бетону, кг/м ³	Вид і кількість добавки	R _в / r _{др}	В/Ц
1	Ц – 350; П – 1000; Щ ₅₋₁₀ – 900	без добавки	0,9	0,57
		Sika Plast 2508 – 1 % від m _ц	0,9	0,49
2	Ц – 350; П – 800; Щ ₅₋₁₀ – 1100	без добавки	1,375	0,54
		Sika Plast 2508 – 1 % від m _ц	1,375	0,46
3	Ц – 350; П – 600; Щ ₅₋₁₀ – 1300	без добавки	2,167	0,5
		Sika Plast 2508 – 1 % від m _ц	2,167	0,44
4	Ц – 350; П – 400; Щ ₅₋₁₀ – 1500	без добавки	3,75	0,46
		Sika Plast 2508 – 1 % від m _ц	3,75	0,41

Для розрахунку оптимального коефіцієнта α_{opt} використовуємо формулу, запропоновану проф. А. М. Плугіним із співавторами [6, 13],

$$\alpha_{opt} = 2,1 \cdot \left(1 + \frac{d_n}{d_{щ}} \right)^3 - 1,1, \quad (1)$$

де d_n – середній розмір зерен піску переважаючого часткового залишку на ситі;

$d_{щ}$ – середній розмір зерен щебеню.

Оскільки в дослідженнях застосовували щебінь фракції 5÷10 мм, то його середній розмір дорівнює 7,5 мм. Найбільш представницький частковий залишок піску знаходиться на ситі 0,315 мм, отже середній розмір зерен піску дорівнює 0,47 мм ($0,315 + 0,63/2 = 0,47$). Підставляючи числові значення в формулу (1), отримаємо

$$\alpha_{opt} = 2,1 \cdot \left(1 + \frac{d_n}{d_{щ}} \right)^3 - 1,1 = 2,1 \cdot \left(1 + \frac{0,47}{7,5} \right)^3 - 1,1 = 1,42.$$

Для перевірки правильності визначення оптимального коефіцієнта α_{opt} виготовлені і випробувані бетонні зразки чотирьох складів при однаковій рухомості бетонної суміші з добавкою-суперпластифікатором і без з різними коефіцієнтами розсунення зерен щебеню (табл. 1).

Аналіз ефективності добавки-суперпластифікатора за водозниженням (зниження витрати води) показує, що при підвищенні вмісту дрібного заповнювача (піску) по відношенню до щебеню (зрос-

тання показника $r_v / r_{др}$) його ефективність знижується з 17 % водозниження (склади 1, 2) до 14 % (склад 3) і 12 % (склад 4).

Це обумовлено тим, що при збільшенні витрати піску потрібно більшу кількість води на його змочування, тобто утворення шару води, у якому вона міцно зв'язана і не бере участі в рухомості суміші. Відповідно на цю величину потрібно більше води для забезпечення однакової кількості вільної води, що забезпечує рухомість суміші.

При оптимальному коефіцієнті розсунення зерен α_{opt} між двома зернами щебеню повинен розташовуватися один або два ряди зерен піску. Прийmemo один ряд. Як зазначалося, така упаковка частинок забезпечує максимальну щільність заповнювачів у бетоні (при оптимальних коефіцієнті розсунення зерен піску μ_{opt} і водоцементному відношенні $(B/C)_{opt}$). Підвищення щільності бетону призводить до відповідного підвищення його міцності.

Коефіцієнти розсунення зерен щебеню α для різних складів бетону, наведених у табл. 1, визначені за формулою [12]

$$\alpha = \frac{\frac{C}{\rho_u^u} + C \cdot \frac{B}{C} + \frac{P}{\rho_u^n}}{\frac{C \cdot Por^u}{\rho_{нас}^u}}, \quad (2)$$

де C, P, Σ – витрати цементу, піску і щебеню;

ρ_u^u – істинна густина цементу (3100 кг/м³);

ρ_u^n – істинна густина піску (2650 кг/м³);

$\rho_{нас}^u$ – насипна густина щебеню (1470 кг/м³);

Por – порожнистість щебеню (0,44);

B/C – водоцементне відношення.

Результати розрахунків наведено в табл. 2.

Розрахункові значення цих коефіцієнтів показують, що найближчими до оптимального розрахункового коефіцієнта для даних матеріалів $\alpha_{opt} = 1,42$ є коефіцієнти $\alpha = 1,32$ і $\alpha = 1,27$. Вони визначені для складів бетонів без добавки і з добавкою при співвідношенні пісок : щебінь = 600 : 1300.

Таблиця 2

Розрахункові значення коефіцієнта розсунення зерен щебеню

Номер складу	Співвідношення пісок : щебінь, кг : кг	Добавка Sika Plast 2508	B/C	α
1	1000 : 900	без добавки	0,57	2,56
		з добавкою	0,49	2,46
2	800 : 1100	без добавки	0,54	1,83
		з добавкою	0,46	1,75
3	600 : 1300	без добавки	0,50	1,32
		з добавкою	0,44	1,27
4	400 : 1500	без добавки	0,46	0,95
		з добавкою	0,41	0,91

Загальна кількість піску і щебеню в бетонній суміші для дорожнього бетону зазвичай становить 1900 кг/м³. Перерахунок за формулою (2) дозволяє визначити, що для досягнення оптимального коефіцієнта розсунення зерен щебеню в бетоні без добавок (при усередненому $B/C = 0,52$) витрата піску повинна бути 642 кг/м³, а витрата щебеню – 1258 кг/м³. Аналогічно для бетону з добавками витрати

піску і щебеню для оптимального коефіцієнта розсунення повинні бути: пісок – 671 кг/м³, щебінь – 1229 кг/м³. Слід зазначити, що це співвідношення між піском і щебенем є розрахунковим для розмірів зерен піску 0,47 мм, а зерен щебеню – 7,5 мм. Тому на практиці можливі відхилення від розрахункового складу як в бік зменшення, так і в бік збільшення цього співвідношення. При незначній зміні α

міцність при стисканні майже не змінюється, на відміну від міцності при згині.

Будь-яка зміна співвідношення між заповнювачами призводить до зміни середньої щільності бетону (табл. 3). Незважаючи на те, що зміни щільності не перевищують 2,5 %, очевидна наявність максимуму для складу 3, що підтверджує наші припущення про краще упакування частинок заповнювача в разі наближення співвідношення наповнювачів до оптимального коефіцієнта розсушення зерен щебеню розчинною частиною.

Експериментальні дослідження міцності бетонів з різними α показали, що існує екстремальна залежність $R = f(\alpha)$ (табл. 4-5).

За табл. 4, максимальне значення міцності при згині відповідає бетону складу 3 з $\alpha = 1,32$ і $1,27$.

Менша експериментальна величина α_{opt} (приблизно 1,3) порівняно з розрахунковою (1,42) обумовлена, імовірно, більшою часткою дрібної фракції піску, що змістило середній розмір його зерен до величини 0,37 мм:

$$\alpha_{opt} = 2,1 \cdot \left(1 + \frac{0,37}{7,5}\right)^3 - 1,1 = 2,1 \cdot 1,15 - 1,1 = 1,32.$$

Таблиця 3

Густина бетонів при різних α і співвідношеннях пісок : щебінь

Номер складу	Співвідношення пісок : щебінь, кг : кг	α	Вид і кількість добавки, % від маси цементу ($m_{ц}$)	В/Ц	Густина бетону у віці 28 діб, кг/м ³
1	П – 1000; Щ ₅₋₁₀ – 900;	2,56	без добавки	0,57	2483
		2,46	Sika Plast 2508 – 1%	0,49	2469
2	П – 800; Щ ₅₋₁₀ – 1100;	1,83	без добавки	0,54	2520
		1,75	Sika Plast 2508 – 1%	0,46	2473
3	П – 600; Щ ₅₋₁₀ – 1300;	1,32	без добавки	0,50	2548
		1,27	Sika Plast 2508 – 1%	0,44	2505
4	П – 400; Щ ₅₋₁₀ – 1500;	0,95	без добавки	0,46	2540
		0,91	Sika Plast 2508 – 1%	0,41	2510

Таблиця 4

Міцність бетонів при згині, МПа

Номер складу	Без добавки			З добавкою Sika Plast 2508		
	3 доби	7 діб	28 діб	3 доби	7 діб	28 діб
1	4,8	5,6	6,2	5,5	6,6	7,2
2	5,6	6,2	6,8	6,4	7,2	7,9
3	6,3	7,0	7,5	7,4	8,5	9,3
4	5,4	6,1	6,6	6,2	7,0	7,6

Таблиця 5

Міцність бетонів при стисканні, МПа

Номер складу	Без добавки			З добавкою Sika Plast 2508		
	3 доби	7 діб	28 діб	3 доби	7 діб	28 діб
1	23,2	30,0	40,3	29,3	38,2	49,4
2	38,1	48,0	54,0	42,2	51,3	62,1
3	37,4	47,5	53,8	47,3	59,4	69,0
4	33,8	42,1	49,4	39,0	49,7	60,3

Аналіз графічних залежностей впливу коефіцієнта розсунення зерен щебеню розчинною частиною, побудованих за даними табл. 4 і 5, показує, що максимальна міцність бетону при згині забезпечується при коефіцієнті розсунення $\alpha \approx 1,3$ (рис. 1-4), який і є оптимальним.

При цьому важливим є те, що збільшення коефіцієнта розсунення α більше від оптимального призводить до плавного зниження міцності бетону. Раніше вважалося, що збільшення частки піску в бетонній суміші до $700 \div 750 \text{ кг/м}^3$ має підвищувати міцність дорожніх бетонів при згині.

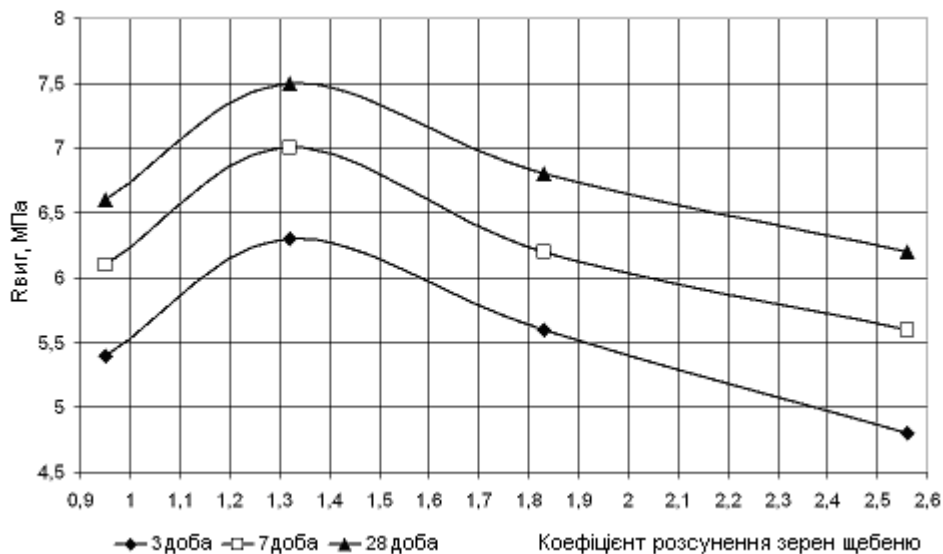


Рис. 1. Залежність міцності при згині від коефіцієнта розсунення зерен щебеню без добавки

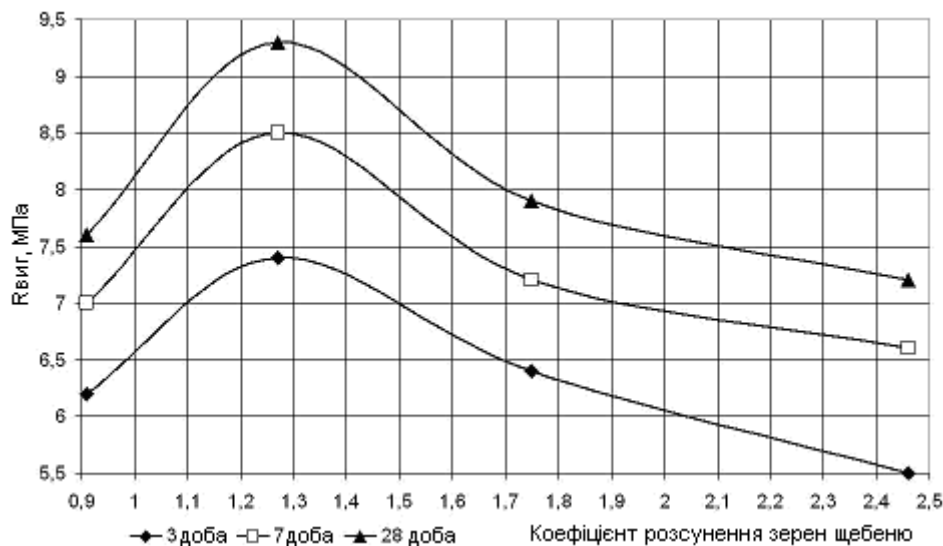


Рис. 2. Залежність міцності при згині від коефіцієнта розсунення зерен щебеню з добавкою

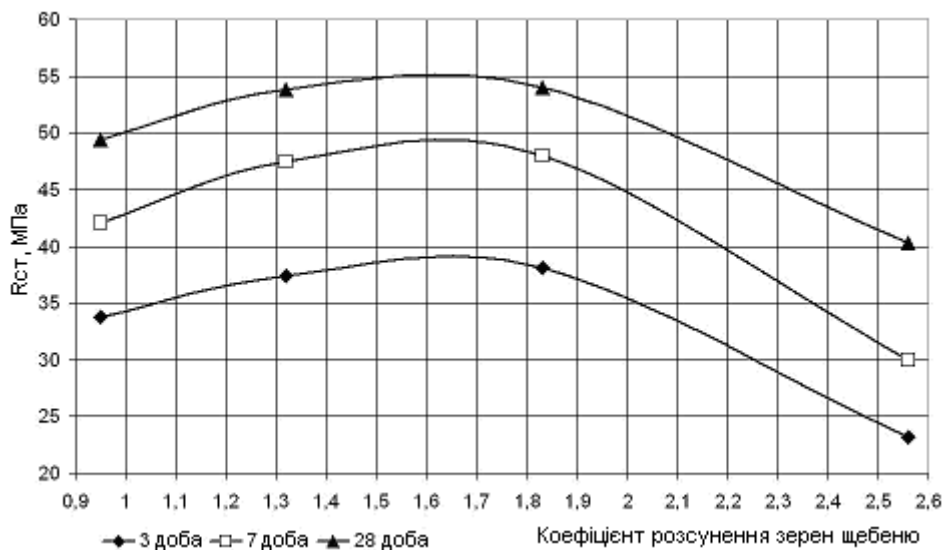


Рис. 3. Залежність міцності при стисканні від коефіцієнта розсунення зерен щебеню без добавки

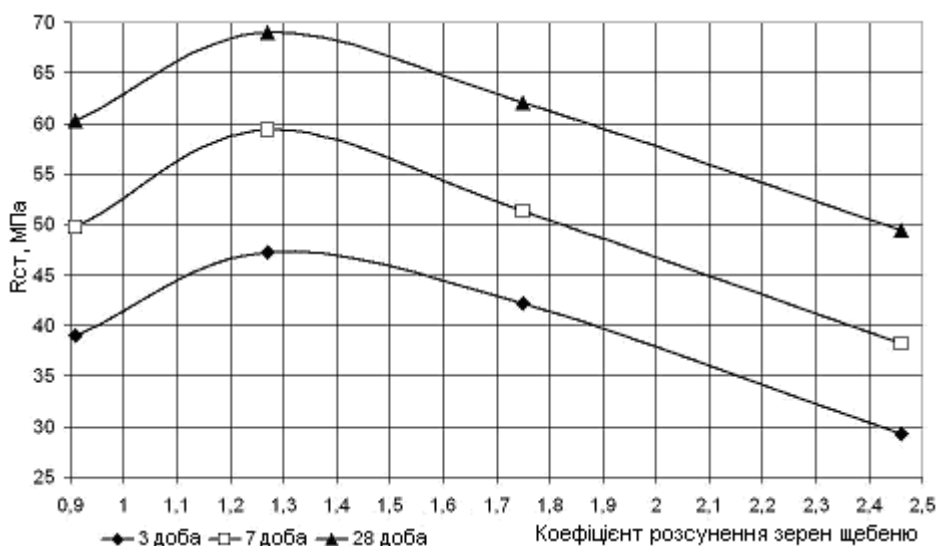


Рис. 4. Залежність міцності при стисканні від коефіцієнта розсунення зерен щебеню з добавкою

Висновки. Показано, що зміна співвідношення між великим (крупність 5÷10 мм) і дрібним заповнювачем у складі бетону призводить до зміни щільності упакування заповнювачів, змінює коефіцієнт розсунення зерен щебеню розчинною частиною і середню густину бетону.

Для кожного випадку застосовуваних заповнювачів можна визначити оптимальний коефіцієнт розсунення зерен щебеню розрахунково.

Визначено величину оптимального коефіцієнта розсунення зерен щебеню $\alpha_{\text{опт}} = 1,3$, якій відповідає відношення щебінь : пісок, що дорівнює 1300 : 600 кг/м³.

Список використаних джерел

1. Виноградов, Б. Н. Влияние заполнителей на свойства бетона [Текст] / Б.Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1979. – 224 с.
2. Гордон, С. С. Структура и свойства тяжелых бетонов на различных заполнителях [Текст] / С. С. Гордон. – М.: Стройиздат, 1969. – 151 с.
3. Нетеса, Н. И. Эффективность бетонных смесей с рациональным зерновым составом [Текст] / Н.И. Нетеса, В.Г. Кирияш // Вісн. Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт. – 2001. – № 5. – С. 41 – 46.
4. Пунагін, В. М. Керування властивостями бетону [Текст] / В. Пунагін, Л. Савін, О. Шишкін. – Кривий Ріг: Мінерал, 2001. – 155 с.
5. Сизов, В. П. Проектирование составов тяжелого бетона [Текст] / В.П. Сизов. – М.: Стройиздат, 1979. – 144 с.
6. Плугин, А. Н. Структура и долговременные свойства бетона [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, О.А. Калинин // Будівельні матеріали та вироб. – 2003. – № 4. – С. 17-22.
7. Шейнин, А. М. Высокопрочные мелкозернистые бетоны с суперпластификатором С-3 для дорожного строительства [Текст] / А.М. Шейнин, М.Я. Якобсон // Бетон и железобетон. – 1993. – № 10. – С. 8-11.
8. Толмачев, С. Н. Некоторые особенности подбора состава бетонов по методу прерывистой гранулометрии [Текст] / С.Н. Толмачев, И.Г. Кондратьева [и др.] // Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд: матеріали міжнар. конф., Харків, ХДТУБА / Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2003. – № 23. – С. 251-254.
9. S.A.A.M. Fennis Optimizing the particle packing for the design of ecological concrete [Text] / S.A.A.M. Fennis, J.C. Walraven, J.A. den Uijl // 16 Internationale Baustofftagung. – 2006. – Weimar Bundesrepublik Deutschland. – Band 1. – P. 1313 – 1320.
10. P. Stroeven Dynamic computer simulation of concrete on different levels of the microstructure [Електронний ресурс] / P. Stroeven, M. Stroeven // Image Analysis and Stereology. – Vol. 22 (1). – 2003, P. 1 – 10.
11. M. Kolonko A hierarchical approach to simulate the packing density of particle mixtures on a computer [Електронний ресурс] / M. Kolonko, S. Raschdorf, D. Wäsch // Granular Matter. – Vol. 12, Iss. 6. – 2010, P. 629 – 643.
12. Плугин, А. Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них. Теория прочности, разрушения и долговечности бетона, железобетона и конструкций из них [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, О.А. Калинин [и др.]– К.: Наукова думка, 2012. – Т. 3. – 287 с.
13. Способ определения состава бетонной смеси [Текст]: А. с. SU 1787972 А 1 С 04 В 28/00 / А.Н. Плугин, О.А. Калинин, А.И. Бирюков, Ю.П. Либенко, А.И. Моисеев, Ю.М. Скородумов; заявитель и патентообладатель Харьковский инст-т. инж. железнодорож. тр-та. – № 4854506/33; заявл. 26.06.1990; опубл. 15.01.1993, Бюл. №2. – 4 с.

Захаров Денис Сергійович, аспірант кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Тел.: +38 057 707 37 42. E-mail: zaharov.denis.vsp@gmail.com.

Палант Олена Валентинівна, аспірант кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (066) 538-05-41. E-mail: elyakina.elena@rambler.ru.

Толмачов Сергій Миколайович, д-р техн. наук, професор, професор кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Тел.: +38 057 707 37 42. E-mail: tolmach_serg@mail.ru.

Плугін Дмитро Артурович, д-р техн. наук, доцент, професор кафедри будівельних матеріалів конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. +38 057 730-10-63. E-mail: plugin.da@gmail.com.

Моїсєєва Поліна Едуардівна, студентка дорожньо-будівельного факультету Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Тел.: +38 057 707 37 42. E-mail: tolmach_serg@mail.ru.

Denis Zakharov, graduate student of Technology Road-building Materials and chemistry Department Kharkov National Automobile and Highway University. Tel.: +38 057 707 37 42. E-mail: zaharov.denis.vsp@gmail.com.

Olena Palant, graduate student of Building Materials, Constructions and Buildings Department Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (066) 538-05-41. E-mail: elyakina.elena@rambler.ru.

Sergiy M. Tolmachev, D.Sc. Professor, Professor of Technology Road-building Materials and chemistry Department Kharkov National Automobile and Highway University. Tel.: +38 057 707 37 42. E-mail: tolmach_serg@mail.ru.

Dmytro A. Plugin, D.Sc. Associated Professor, Professor of Building Materials, Constructions and Buildings Department Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38 057 730-10-63. E-mail: plugin.da@gmail.com.

Polina E. Moisyeva, student of Road Construction Faculty Kharkov National Automobile and Highway University. Tel.: +38 057 707 37 42. E-mail: tolmach_serg@mail.ru.

Стаття прийнята 06.04.2017 р.

УДК 621.3/629.4:620.9

АНАЛІЗ ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ НА РУХОМОМУ СКЛАДІ МЕТРОПОЛІТЕНУ

Канд. техн. наук А. О. Сулим

АНАЛИЗ ВОПРОСА ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ НА ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ МЕТРОПОЛИТЕНА

Канд. техн. наук А. А. Сулим

ANALYSIS OF ENERGY STORAGE IMPLEMENTATION ON THE METRO ROLLING STOCK

Candidate of Engineering Sciences A. Sulym

У статті за результатами аналізу існуючих досліджень визначено, що в метрополітені найбільш перспективними є електромеханічні, індуктивні, ємнісні та електромеханічні (інерційні) накопичувачі енергії. Виконано порівняльний аналіз зазначених накопичувачів за різними критеріями оцінки. За результатами аналізу встановлено, що в кожного перспективного накопичувача присутні переваги і недоліки. Подальші дослідження необхідно направити на обґрунтування раціонального типу бортового накопичувача в метрополітені.

Ключові слова: *накопичувач енергії, рухомий склад метрополітену, система енергозабезпечення метрополітену.*

В статье по результатам анализа существующих исследований определено, что в метрополитене наиболее перспективными являются электромеханические, индуктивные, емкостные и электромеханические (инерционные) накопители энергии. Выполнен сравнительный анализ обозначенных накопителей по различным критериям оценки. По результатам анализа установлено, что каждому перспективному накопителю присущи

достоинства и недостатки. Дальнейшие исследования необходимо направить на обоснование рационального типа бортового накопителя в метрополитене.

Ключевые слова: накопитель энергии, подвижной состав метрополитена, система энергообеспечения метрополитена.

The application of various types of energy storages in the power supply system of metro is analyzed. The analysis of existing research determined that most prospects in the metro are electrochemical, inductive, capacitive and electromechanical (inertial) energy storages. A comparative analysis of these energy storages was carried out for power, temporal, technical, operational, economic indicators. In addition, the estimation of prospective energy storages on the following criteria was carried out: ecological compatibility, noise, manufacturing technology, the stability characteristics of charge and discharge to temperature changes. The evaluation and comparative analysis found that each of the considered energy storage has advantages and disadvantages. So it is impossible to answer which of the following types of energy storages is the most rational. Therefore, further research should be directed to developing a comprehensive approach to identify the most rational one among these types of energy storages for its placing on the metro rolling stock.

Key words: energy storage, underground rolling stock, the power supply system.

Вступ. Енергоресурси в більшості визначають економічну ситуацію в сучасному світі. Для всіх розвинутих країн вирішення проблем енергозбереження та енергоефективності стало одним з пріоритетних напрямків діяльності. Для багатьох сучасних підприємств зниження енергоемності та енергетичної складової собівартості продукції також є одним з визначальних факторів ефективного розвитку [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У дослідженнях [2, 3] для вирішення зазначених проблем запропоновано використання накопичувачів енергії. Застосування накопичувачів дає можливість комплексно вирішити ряд завдань. У якості основних можна виділити такі [2, 4]:

- зменшення споживання електроенергії з мережі за рахунок акумуляування та буферизації надлишкової енергії;
- спрямлення хвилинних і годинних графіків споживання електроенергії, внаслідок чого забезпечується статична і динамічна стійкість енергосистеми;
- стабілізація рівня напруги в мережі та підвищення якості електроенергії;
- зниження встановленої потужності силових установок, що здійснюють подачу

та перетворення електроенергії до споживачів (трансформатори, перетворювачі, розподільні підстанції тощо);

- можливість енергозабезпечення споживачів зі змінним графіком навантаження при незмінному навантаженні джерела живлення;

- можливість зменшення струмових навантажень і відповідно температури нагріву силових агрегатів, що дозволить підвищити їх термін служби;

- забезпечення безперебійного енергопостачання під час аварійних режимів роботи основних джерел живлення.

Одним з перспективних напрямків застосування накопичувачів енергії є залізничний транспорт з різко змінним навантаженням, зокрема метрополітен [1, 5-11]. Основною перевагою їх застосування в метрополітені є особливість експлуатації його рухомого складу: чітко виражений імпульсний нерівномірний характер навантаження, незначні відстані між станціями, як наслідок, часті пуски та гальмування; часто змінюваний профіль колії; необхідність частого розгону та гальмування внаслідок зміни обмежень швидкості для різних ділянок колії; стабільний графік руху порівняно з іншими

видами залізничного транспорту (маневрових тепловозів, магістральних електровозів, трамваїв) [10, 11].

Відомо, що основну частину енергетичних витрат у метрополітені складають витрати на тягу (близько 70 %) [10, 12, 13]. З метою зменшення споживання електроенергії на тягу метрополітени України закупають нові та виконують модернізацію існуючих вагонів, що вичерпали свій термін експлуатації, з можливістю генерації електроенергії до контактної мережі в режимі рекуперативного гальмування. З аналізу досліджень [1, 8, 10, 14] встановлено, що ефективність використання електроенергії рекуперативного гальмування залежить від багатьох факторів. Серед основних можна виділити інтенсивність руху в зоні рекуперації, режим руху інших споживачів електроенергії, відстань між станціями та профіль колії. Як наслідок, використання електроенергії рекуперативного гальмування має ймовірнісний характер і дозволяє заощадити на рівні 5-10 % електроенергії, що споживається на тягу рухомого складу [6, 10].

Однак забезпечити повторне використання електроенергії рекуперативного гальмування з максимальною ефективністю без застосування додаткових технічних засобів, зокрема накопичувачів енергії, неможливо [1, 5, 6, 10, 14]. Ефективність використання електроенергії рекуперативного гальмування і термін окупності додаткових технічних засобів переважно залежать від вибору місця розташування накопичувачів енергії в системі енергозабезпечення метрополітену. Зазначене питання розглядається в численних дослідженнях [1, 5, 6, 10, 14, 15]. З аналізу електричних принципових схем та існуючих досліджень [1, 10, 16-18] відомо, що в метрополітені накопичувачі енергії можна розміщувати перед тяговою підстанцією, безпосередньо на тяговій підстанції, на постах секціонування, на виході тягової підстанції вздовж лінії

контактної мережі (на станціях, на кінцях консольних ділянок тягової мережі), на рухомому складі. На основі виконаного узагальненого аналізу існуючих досліджень і їх порівняльного аналізу встановлено, що в метрополітені найбільш раціональним є бортове розміщення накопичувачів енергії (на рухомому складі метрополітену).

Ще одним важливим фактором, від якого напряму залежить термін окупності системи накопичення в цілому, є правильний вибір типу накопичувача енергії для рухомого складу метрополітену. Аналіз існуючих досліджень [1, 5, 10, 14] дозволив встановити, що дане питання досить актуальне та недостатньо вивчене. Виходячи з цього дана стаття присвячена аналізу питання застосування перспективних накопичувачів енергії на рухомому складі метрополітену.

Мета статті. Визначення перспективних накопичувачів енергії для умов розміщення на рухомому складі метрополітену та їх порівняльний аналіз.

Основна частина дослідження. Огляд численних досліджень [1-3, 10, 14] свідчить, що існують різні типи накопичувачів енергії. Із робіт [2, 3, 10, 19, 20] відомо, що накопичувачі енергії класифікуються за різними ознаками: за фізичним принципом дії, способом компенсації, способом регулювання, місцем розміщення тощо. В існуючих дослідженнях найбільше використовують класифікацію накопичувачів енергії за фізичним принципом [1-3, 10, 14, 21]. За даною класифікацією, основними типами накопичувачів є електрохімічні, індуктивні, ємнісні, механічні, електромеханічні, електродинамічні, пневматичні, гідро- та повітряокумулюючі накопичувачі [1-3, 17, 22]. Аналіз попередніх досліджень [1, 5, 6, 10, 14, 21, 23-27] дозволив встановити, що на залізничному транспорті з різкозмінним навантаженням, зокрема в метрополітені, найбільшу перспективу мають електрохімічні (ЕХН), індуктивні (ІН), ємнісні (ЄН) та електромеханічні

накопичувачі (ЕМН). Тому в подальшому розглядаються саме зазначені перспективні типи накопичувачів енергії.

Слід зазначити, що обґрунтування раціонального типу накопичувача енергії необхідно виконувати з урахуванням умов експлуатації рухомого складу метрополітену та порівняльного аналізу характеристик зазначених перспективних накопичувачів енергії.

Система енергозабезпечення (СЕ) метрополітенів є потужним та енергоємним споживачем електроенергії першої

категорії. Крім того, СЕ метрополітену є споживачем з нерівномірним графіком енергоспоживання. Нерівномірність споживання в СЕ обумовлена зміною добового графіка руху поїздів та імпульсним характером навантаження. Діаграма споживання струму з контактної мережі під час експлуатації рухомого складу метрополітену в штатному режимі на середньостатистичному перегоні, отримана експериментально за допомогою випробувального комплексу, наведена на рисунку.

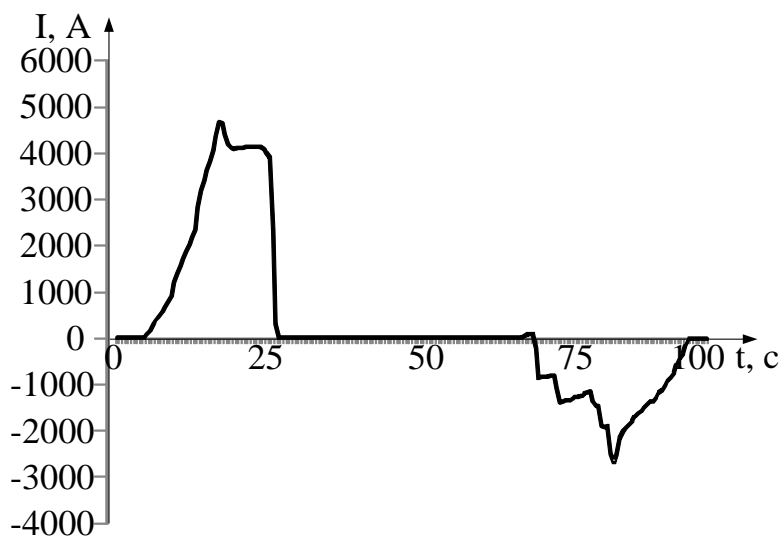


Рис. Діаграма споживання струму рухомим складом метрополітену

Тому при обґрунтуванні вибору раціонального типу накопичувача необхідно враховувати вказані вище фактори. Слід зазначити, що, окрім урахування графіка руху та імпульсного характеру навантаження поїздів метрополітену, необхідно виконувати порівняльний аналіз показників (характеристик) зазначених типів накопичувачів за різними критеріями оцінки [10]. У роботах [21, 28] запропоновано порівняльний аналіз різних типів накопичувачів здійснювати за їхніми енергетичними, часовими, технічними, експлуатаційними та економічними показниками.

За дослідженням [28], до основних енергетичних показників слід віднести технічну оптимальну енергоємність накопичувача, мінімальну та максимальну енергоємність, питому енергоємність або густину енергії, мінімальну та максимальну потужність, питому потужність або густину потужності; до часових показників – час збереження енергії, час заряджання/розряджання накопичувача; до технічних показників – коефіцієнт корисної дії (ККД) накопичувача, кількість циклів заряджання і розряджання, до експлуатаційних показників – термін служби (ресурс) накопичувача, діапазон робочих температур; до економічних

показників – питомі капіталовкладення на одиницю енергоємності, питомі капіталовкладення на одиницю потужності, питомі експлуатаційні витрати. Показники технічної оптимальної енергоємності накопичувача, мінімальної та максимальної енергоємності, мінімальної та максимальної потужності, характеристики заряджання та розряджання накопичувача значною мірою залежать від умов експлуатації рухомого складу на прикладі конкретної лінії метрополітену та застосування конкретного типу накопичувача енергії, що є окремим напрямком досліджень, тому в даній роботі при здійсненні порівняльного аналізу перелічені показники не розглядаються. Крім того, додатково виконувався

порівняльний аналіз накопичувачів за такими показниками: екологічність, шумність, технологія виготовлення, стійкість характеристик заряджання та розряджання до зміни температури.

Для умов метрополітену обґрунтування раціонального типу бортових накопичувачів повинно виконуватись виходячи з таких вимог, які наведено в табл. 1. Слід зазначити, що на сьогодні нормативної документації, у якій було б сформульовано вимоги до бортових накопичувачів енергії в метрополітені, не існує. Тому вимоги, зазначені в табл. 1, мають довідково-рекомендаційний характер. У табл. 2-3 наведено порівняльний аналіз ЕХН, ІН, ЄН, ЕМН за вищеперерахованими показниками.

Таблиця 1

Вимоги до параметрів бортових накопичувачів енергії для умов метрополітену

Параметр	Вимоги
Питома енергоємність, Вт·год/кг	≥ 10
Питома потужність, кВт/кг	≥ 5
Час збереження енергії, год	0...24
Час заряджання/розряджання енергії, с	0...300
Коефіцієнт корисної дії, %	≥ 85
Кількість циклів заряджання/розряджання	$\geq 10^6$
Термін служби, р.	≥ 20
Діапазон робочих температур, °С	-40...+50
Питомі капіталовкладення на одиницю енергоємності, дол./кВт·год	≤ 1000
Питомі капіталовкладення на одиницю потужності, дол./кВт	≤ 700
Питомі загальні витрати, дол./рік *	$\leq 2,5 \cdot 10^4$
Екологічність	Нетоксичні, безпечні
Шумність	МалOSHумні (не збільшують рівень фону при роботі на поїзді)
Технологія виготовлення	Проста, серійна
Стійкість характеристик заряджання та розряджання до зміни температури	Стійкі

*Примітка. Вимоги до питомих загальних витрат наведено для номінальної потужності накопичувача 500 кВт, енергоємності – 10 кВт·год і без урахування витрат на його утилізацію.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз накопичувачів енергії за енергетичними, часовими, технічними та експлуатаційними показниками

Тип накопи- чувача	Енергетичні показники		Часові показники		Технічні показники		Експлуатаційні показники	
	Питома енергоєм- ність, Вт·год/кг	Питома потуж- ність, кВт/кг	Час самороз- рядж., % за місяць	Час заряд./ розрядж. енергії, с	ККД, %	Кількість циклів заряд/розря- д	Термін служби, р.	Діапазон робочих температур, °С
ЕХН: - кислотні; - нікель- кадмієві; - натрій- сірчани; - літій-іонні	10-60	0,02-0,4	3-20	$1 \cdot 10^5$	70-85	125-1200	2-5	-30...+45
	15-80	0,1-1,3	20	$1 \cdot 10^5$	60-80	300-2800	2-15	-40...+60
	80-160	0,03-0,5	≤ 2	$1 \cdot 10^5$	81-85	800-4000	3-15	-250...+300
	80-220	0,1-3,0	≤ 5	$1 \cdot 10^5$	80-96	1200-5500	5-15	-30...+60
ІН: - традиційні; - надпровід- ні (СПН)	0,3-3	0,1-10	250-350	10^{-3} -10	80-90	$\geq 10^5$	≥ 20	-30...+50
	3-15	0,1-15	200-300	10^{-2} - 10^2	85-95	$\geq 10^5$	≥ 20	-30...+65
ЄН: - традиційні конденса- торні; - іоністори (суперкон- денсатори)	0,05-0,2	0,2-15	≤ 65	10^{-4} - 10^{-2}	80-90	$\geq 10^6$	≥ 20	-30...+70
	1-20	0,2-12	1-300	10^{-3} - 10^2	80-98	$\geq 10^6$	≥ 20	-50...+70
ЕМН: - інерційні маховики зі сталі; - супермахо- вики з ком- позитних матеріалів	0,5-20	0,02-10	300-420	10^{-2} -10	85-97	$\geq 10^6$	≥ 20	-40...+50
	100-300	0,5-10	300-380	10^{-2} -10	88-97	$\geq 10^6$	≥ 20	-40...+50

Таким чином, за термін служби 30 років необхідна кількість комплектів кислотних ЕХН складає 9, нікель-кадмієвих – 4, натрій-сірчаних – 4, літій-іонних – 3, інших накопичувачів (ІН, ЄН, ЕМН) – 1.

З даних, наведених у табл. 2-3, видно, що в кожного типу накопичувача енергії є свої переваги і недоліки. Враховуючи вимоги, що висуваються до параметрів накопичувача (табл. 1), можна зазначити таке:

– ЕХН малошумні, можуть запасати значну кількість питомої електроенергії, однак мають малий ресурс, низький ККД, значні масогабаритні показники. Найбільшу перспективу мають літій-іонні ЕХН, оскільки не потребують обслуговування, нетоксичні, більша кількість циклів заряджання/розряджання порівняно з кислотними та лужними. Однак їх вартість на сьогодні залишається достатньо значною;

Таблиця 3

Порівняльний аналіз накопичувачів енергії за економічними показниками, екологічністю, шумністю, технологією виготовлення, стійкістю характеристик заряджання та розряджання до зміни температури

Тип накопичувача	Економічні показники			Екологічність	Шумність	Технологія виготовлення	Стійкість характеристик заряджання та розряджання до зміни температури
	Питомі капіталовкладення на одиницю енергоємності, дол./кВт·год	Питомі капіталовкладення на одиницю потужності, дол./кВт	Питомі загальні витрати, дол./р.*				
ЕХН: - кислотні; - нікель-кадмієві; - натрій-сірчани; - літій-іонні	50-1100 500-2300 230-950 650-5000	50-850 75-1400 1000-2700 400-3800	$1,52 \cdot 10^5$ $7,17 \cdot 10^4$ $1,74 \cdot 10^5$ $1,35 \cdot 10^5$	Небезпечні Токсичні Нетоксичні Нетоксичні	Малошумні Малошумні Малошумні Малошумні	Проста, серійна Проста, серійна Складна, серійна Складна, серійна	Нестійкі Нестійкі Нестійкі Нестійкі
ІН: - традиційні; - надпровідні (СПІН)	120-4300 500-8100	80-1300 1100-3700	$1,47 \cdot 10^4$ $4,97 \cdot 10^4$	Нетоксичні Нетоксичні	Малошумні Малошумні	Проста, серійна Складна, дослідні зразки	Стійкі Стійкі
ЄН: - традиційні конденсаторні; - іоністори (суперконденсатори)	$10^6 - 2 \cdot 10^6$ 85-5700	100-1250 10-650	$6,14 \cdot 10^5$ $0,78 \cdot 10^4$	Нетоксичні Екологічно безпечні	Малошумні Малошумні	Проста, серійна Проста, серійна	Стійкі Стійкі
ЕМН: - інерційні маховики зі сталі; - супермаховики з композитних матеріалів	40-630 350-10200	280-1200 1350-5100	$2,12 \cdot 10^4$ $9,45 \cdot 10^4$	Нетоксичні Нетоксичні	Шумні Шумні	Проста, серійна Складна, дослідні зразки	Стійкі Стійкі

*Примітка. Питомі експлуатаційні витрати розраховано з урахуванням таких прийнятих умов: нормативний термін служби вагонів складає 30 років; вартість обслуговування протягом терміну служби кислотних ЕХН дорівнює їхній купівельній вартості, нікель-кадмієвих – 20 %, натрій-сірчаних – 20 %, літій-іонні, ІН, ЄН не потребують спеціального обслуговування, ЕМН – 50 %.

– ІН, зокрема і СПН, не потребують обслуговування, мають значний ресурс, широкий діапазон робочих температур, високий ККД, нетоксичні, малощумні, однак мають низьку питому енергоємність і значну вартість;

– СН не потребують обслуговування, мають значний ресурс, широкий діапазон робочих температур, високий ККД, безпечні, малощумні, порівняно маловартісні, однак мають низьку питому енергоємність. Іоністори мають більшу питому енергоємність порівняно з традиційними конденсаторами;

– ЕМН мають значний ресурс, широкий діапазон робочих температур, мають високу питому енергоємність, нетоксичні, високий ККД, однак мають середні масогабаритні показники, шумні, потребують спеціального обслуговування. Супермаховики мають високий показник питомої енергоємності порівняно з інерційними маховиками зі сталі за рахунок використання композитних матеріалів і специфічної технології виготовлення, однак їх вартість перевищує маховики зі сталі в декілька раз.

Таким чином, з наведеного порівняльного аналізу однозначно відповісти,

який з перспективних накопичувачів є раціональним, неможливо. Тому подальші дослідження пропонується направити на розроблення комплексного підходу щодо визначення раціонального типу накопичувача за умови його розміщення на рухомому складі метрополітену.

Висновки. На основі виконаного узагальненого аналізу існуючих досліджень встановлено таке:

1. Перспективними накопичувачами енергії на залізничному транспорті, зокрема для умов розміщення на рухомому складі метрополітену, є електрохімічні, індуктивні, ємнісні та електромеханічні (інерційні).

2. У кожного перспективного накопичувача енергії є свої переваги та недоліки, тому однозначно відповісти на питання раціонального типу накопичувача для умов його розміщення на рухомому складі метрополітену неможливо. Отже, подальші дослідження необхідно направити на розроблення комплексного підходу, який дозволить виконати обґрунтування раціонального типу накопичувача енергії за різними критеріями, враховуючи при цьому умови експлуатації рухомого складу в метрополітені.

Список використаних джерел

1. Шевлюгин, М. В. Ресурсо- и энергосберегающие технологии на железнодорожном транспорте и метрополитенах, реализуемые с использованием накопителей энергии [Текст]: автореф. дисс... д-ра техн. наук: 05.09.03 / Шевлюгин Максим Валерьевич; Московский гос. ун-т путей сообщения. – М., 2013. – 49 с.

2. Накопители энергии [Текст]: учеб. пособие для вузов / Д.А. Бут, Б.Л. Алиевский, С.Р. Мизюрин [и др.]; под ред. Д.А. Бута. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 400 с.

3. Астахов, Ю. Н. Накопители энергии в электрических системах [Текст]: учеб. пособие для электроэнерг. спец. вузов / Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, А.Г. Тер-Газарян. – М.: Высш. школа, 1989. – 159 с.

4. Рыбалко, А. Я. Выбор емкости накопителя энергии для обеспечения снижения максимума потребляемой мощности [Текст] / А.Я. Рыбалко, С.В. Дыбрин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2008. – № 8. – С. 356-361.

5. Жемеров, Г. Г. Системы электроснабжения метрополитена с современными полупроводниковыми преобразователями и накопителями энергии [Текст] / Г.Г. Жемеров,

Н.А. Ильина, Д.В. Тугай, О.И. Холод // Электротехника і електромеханіка. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – № 1. – С. 41-49.

6. Бычкова, М. П. Энергосбережение в метро [Текст] / М.П. Бычкова // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – Спец. вып. «Наука и транспорт. Метрополитены будущего». – С. 67.

7. Щуров, Н. И. Применение накопителей энергии в системах электрической тяги [Текст] / Н.И. Щуров, К.В. Щеглов, А.А. Штанг // Сб. науч. трудов НГТУ. – Новосибирск, 2008. – Вып. № 1 (51). – С. 99–104.

8. Саблін, О. І. Дослідження ефективності процесу рекуперації електроенергії в умовах метрополітену [Текст] / О.І. Саблін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Вып. 8 (72). – Т. 6. – С. 9-13.

9. Колб, А. А. Аккумуляция энергии рекуперации электрифицированного транспорта с помощью емкостных энергонакопителей [Текст] / А.А. Колб // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 31. – С. 89-94.

10. Сулим, А. А. Повышение эффективности энергообеспечения подвижного состава метрополитена с системами рекуперации путем применения емкостных накопителей энергии [Текст]: дисс... канд. техн. наук: 05.22.07 / Сулим Андрей Александрович; Гос. предприятие «Гос. научн. иссл. центр ж.-д. трансп. Украины». – К., 2015. – 188 с.

11. Родькин, Д. И. Особенности осуществления электропривода с накопителями энергии [Текст] / Д.И. Родькин, Т.В. Величко // Наукові праці Кременчуцького держ. політехн. ун-ту. – Кременчук: КДПУ, 2000. – Вип. 2/2000 (9). – С. 124-132.

12. Шевлюгин, М. В. Снижение расхода электроэнергии на движение поездов в Московском метрополитене при использовании емкостных накопителей энергии [Текст] / М.В. Шевлюгин, К.С. Желтов // НТТ – Наука и техника транспорта. – 2008. – № 1. – С. 15-20.

13. Омеляненко, Г. В. Электромеханический преобразователь энергии инерционного накопителя для сетей тягового электроснабжения [Текст]: дисс... канд. техн. наук: 05.09.01 / Омеляненко Галина Викторовна; Харьковский гос. политехн. ун-т. – Харьков, 1999. – 169 с.

14. Костин, Н. А. Автономность рекуперативного торможения – основа надежной энергоэффективной рекуперации на электроподвижном составе постоянного тока [Текст] / Н.А. Костин, А.В. Никитенко // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 3. – С. 15–23.

15. Sulym, A. Determination of rational placement for energy storages in the power supply system of the underground [Текст] / A. Sulym // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – No 10. – P. 24–30.

16. Штанг, А. А. Применение накопителей энергии в системах электроснабжения городского электрического транспорта [Текст] / А.А. Штанг, Е.А. Спиридонов, М.В. Ярославцев // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 3-4 (40-41). – С. 68-70.

17. Клинов, В. Ю. Емкостные накопители в системе электроснабжения метрополитена [Текст] / В.Ю. Клинов, Ю.А. Бродский, А.И. Подаруев [и др.] // Русский инженер. – 2008. – № 2 (17). – С. 62–64.

18. Шевлюгин, М. В. Повышение энергетических показателей работы системы тягового электроснабжения железных дорог с помощью накопителей энергии [Текст] / М.В. Шевлюгин // Наука и техника транспорта. – 2007. – № 1. – С. 68-72.

19. Накопители-компенсаторы в системах динамического нагружения [Текст] / Д.И. Родькин, А.В. Бялобржеский, С.А. Кривонос [и др.] // Вісник Харк. держ. політехн. ун-ту. Зб. наук. праць. – Харків: ХДПУ, 2001. – Темат. випуск 63. – С. 279-281.

20. Ломонос, А. И. Параметры оборудования систем динамического нагружения с накопителями-компенсаторами [Текст] / А.И. Ломонос, А.В. Бялобржеский, С.Н. Горбань // Вісник КДПУ. – Кременчук, 2004. – Вип. 2/2004 (25). – С. 126-130.
21. Любарский, Б. Г. Сравнительный анализ накопителей энергии для транспортных средств [Текст] / Б.Г. Любарский, В.П. Шайда, С.Г. Буряковский // Залізничний транспорт України. – 2015. – № 6. – С. 13–21.
22. Алексеев, Б. А. Применение накопителей в электроэнергетике [Текст] / Б.А. Алексеев // Электро. – 2005. – № 1. – С. 42-46.
23. Черемисин, В. Т. Выбор мест установки накопителей электроэнергии на полигоне постоянного тока по критерию энергоэффективности [Текст] / В.Т. Черемисин, М.М. Никифоров, В.Л. Незевак // Наука и транспорт. Модернизация железнодорожного транспорта. – 2013. – № 2(6). – С. 48-52.
24. Устенко, А. В. Использование накопителей энергии для улучшения параметров локомотивов [Текст] / А.В. Устенко, О.В. Пасько // Локомотив-інформ. – 2012. – № 10. – С. 4-6.
25. Омеляненко, В. И. Работа бортового электромеханического инерционного накопителя энергии в тяговом приводе пригородного электропоезда [Текст] / В.И. Омеляненко Л.В. Оверьянова // Залізничний транспорт України. – 2015. – № 1. – С. 44-49.
26. Черемисин, В. Т. Повышение энергетической эффективности системы тягового электроснабжения в условиях работы постов секционирования с накопителями электрической энергии [Текст] / В.Т. Черемисин, В.Л. Незевак, А.П. Шатохин // Известия Томского университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – № 10 (326). – С. 54-64.
27. Teymourfar, R. Stationary super-capacitor energy storage system to save regenerative braking energy in a metro line [Текст] / R. Teymourfar, B. Asaei, H. Iman-Eini, R. Nejati fard // Energy Conversion and Management. – 2012. – Vol. 56. – P. 206-214.
28. Рыбалко, А. Я. Критерии сопоставления накопителей энергии [Текст] / А.Я. Рыбалко, С.В. Дыбрин // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – 2005. – № 75. – С. 56-61.

Сулим Андрій Олександрович, канд. техн. наук, старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії електротехнічних, динамічних, теплотехнічних та міцнісних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», м. Кременчук. Тел. (05366)6-20-43. E-mail: sulim1.ua@gmail.com.

Sulym Andrii, candidate of Engineering Sciences, senior research associate the research laboratory of electrotechnical, dynamic, thermotechnical and strength research of railway vehicles of the State Enterprise “Ukrainian Research Railway Car Building Institute”, Kremenchug. Tel.(05366)6-20-43. E-mail: sulim1.ua@gmail.com.

Стаття прийнята 09.04.2017 р.

УДК 656.078.111/.117

УДОСКОНАЛЕННЯ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ УЗГОДЖЕНОЇ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТА МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Є. М. Клок

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНТЕРМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК В УСЛОВИЯХ СОГЛАСОВАННОЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО И МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

Е. М. Клок

ENHANCEMENT OF INTERMODAL TRANSPORT IN TERMS OF A COHERENT RAIL AND MARITIME TRASPORT

Е. М. Клок

У роботі проведено аналіз сучасного стану інтермодальних перевезень України, виділено основні завдання для майбутнього удосконалення та доведено ефективність застосування сучасних технологій щодо композиції составів вантажних вагонів згідно з каргопланом при взаємодії інформаційних систем морського та залізничного транспорту для забезпечення максимально можливої прямої передачі контейнерів з одного виду транспорту на інший.

***Ключові слова:** інтермодальні перевезення, каргоплан, взаємодія залізничного та морського транспорту.*

В работе проведен анализ современного состояния интермодальных перевозок Украины, выделены основные задачи для будущего усовершенствования и доказана эффективность применения современных технологий композиции составов грузовых вагонов в соответствии с каргопланом при взаимодействии информационных систем морского и железнодорожного транспорта для обеспечения максимально возможной прямой передачи контейнеров с одного вида транспорта на другой.

***Ключевые слова:** интермодальные перевозки, каргоплан, взаимодействие железнодорожного и морского транспорта.*

The article analyzes current status of intermodal transport and main objectives for future improvement and also proved the effectiveness of modern technologies acquisition freight wagons in accordance with cargoplanes in the interaction information systems of sea and rail transport.

The most important in system of intermodal transport is issue of coordination.

The residence time of cargoes and wagons at stations and in ports is the result of consistency in processing of trains with the approach of the courts.

The proposed order a "port" of feed wagons allows to reduce time wagons in cargo port, eliminating the need for processing for detailed selection for berths in regional parks. This allows you to prepare wagons from park admission directly in district berth, which would reduce the unproductive waiting time of technological operations with wagons and reduce the time of overload wagons in the ship at the expense of consistency with cargoplanes.

***Keywords:** intermodal transport, cargoplan, the interaction of rail and sea transport.*

Вступ. Інтермодальні перевезення – сучасний та ефективний у світовій практиці вид транспортування вантажів, який передбачає задіювання всіх елементів транспортної системи. Однією з головних економічних перспектив України є реалізація транзитного потенціалу, тобто створення мережі інтермодальних маршрутів.

У «Транспортній стратегії України на період до 2020 року» зазначені напрями розвитку транспортної інфраструктури шляхом:

- забезпечення розвитку інтермодальних перевезень;
- підвищення пропускної спроможності залізничних ліній, транспортних вузлів, залізничних і автомобільних під'їздів до морських портів;
- будівництва та реконструкції терміналів у морських портах;
- скорочення часу, необхідного для обробки вантажів у портах і пунктах пропускання через державний кордон;
- запровадження електронного документообігу;
- створення комплексних інформаційних систем управління, контролю та ідентифікації вантажів і контейнерів, повідомлення про прибуття;
- забезпечення розвитку експорту транспортних послуг, ефективного використання транзитного потенціалу, підвищення конкурентоспроможності транспорту;
- створення мережі взаємопов'язаних логістичних центрів і мультимодальних терміналів [1].

Інтермодальні перевезення поки що не досягли необхідного рівня розвитку, про що свідчить наявність дисбалансу провізних спроможностей портів (310 млн т/р.) і припортової залізничної інфраструктури (125 млн т/р.) [2].

Про рівень розвитку в країні інтермодальних перевезень свідчить досвід експлуатації контейнерних поїздів, які є частиною комбінованих перевезень, зокрема «Хрещатик» (Одеса – Київ),

«Дніпровець» (Одеса – Дніпро), «Ніка» (Чорноморськ – Нікополь), «Поділля» (Хмельницький – Чорноморськ), «Вікінг» (Драугісте – Чорноморськ – Софія), «ZUBR» (Таллін – Чорноморськ), «Новий шовковий шлях» (Ізов – Достик – Пекін), «ОМТП – Харків-Ліски» (Одеса – Харків) та інші [3].

У межах України обсяги інтермодальних перевезень контейнерів обчислюються кількома сотнями, головна причина цього – затримки поїздів на кордоні, а також відсутність комплексного планування транспортної інфраструктури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні наукові дослідження інтермодальних перевезень пов'язані з іменами таких дослідників і вчених: Т. В. Бутько, Т. В. Головка, Ю. С. Грисюк, В. К. Губенко, Н. Н. Коваленко, Н. Ю. Кривицька, Г. А. Левіков, Д. В. Ломотько, О. А. Малахова, М. В. Мостовий, В. І. Пасічник, О. В. Пацьора, В. В. Таробанько, Б. Г. Шонія, R. Bergqvist, O. Chistokhvalova, O. Hilmola, P. Koskinen, J. Monios, V. Roso.

Значна кількість наукових робіт, наприклад [4-9, 11] присвячені удосконаленню параметрів взаємодії залізничного та морського транспорту з метою зменшення витрат на перевезення вантажів при створенні єдиного органу оперативного управління всім перевізним процесом. Можливі шляхи розвитку інтермодальних перевезень розглянуті дослідниками у дослідженнях [10, 12]. У той же час у дослідженні [13] показані можливості інтермодальних перевезень за скороченою беззбитковою відстанню, а в роботах [14, 15] розглядається удосконалення ланцюга доставок за допомогою зниження витрат на обробку в процесі експедирування.

Аналіз цих наукових досліджень доводить, що вони проводилися без урахування всього комплексу факторів і були спрямовані на вивчення окремих питань. У даній роботі запропоновано комплексний підхід щодо узгодження

роботи залізничного та морського транспорту.

Визначення мети та задачі дослідження. Дана робота має на меті розроблення технології композиції составів вантажних вагонів згідно з каргопланом. Основним завданням є удосконалення технології інтермодальних перевезень на основі розвитку інфраструктури колійного господарства, яка зможе забезпечити максимально можливу пряму передачу вагонів з одного виду транспорту на інший.

Основна частина дослідження. Вказане дослідження базується на аналізі інтермодальних перевезень як послідовних перевезень вантажу «від дверей до дверей» різними видами транспорту під централізованим управлінням з оформленням одного пакета документів для однієї вантажної одиниці (контейнера) з перевалкою його на шляху прямування з одного виду транспорту на інший без перевантаження самого вантажу. При цьому основний елемент інтермодальних перевезень – безперервний контроль за переміщенням вантажу по маршруту –

ґрунтується на методі дослідження інформаційних потоків, суть якого полягає у вивченні і формалізації інформаційних процесів і повною мірою відображується в моделі Бартона-Кеблера і описується рівнянням

$$m(t)=1-ae^{-t}-be^{-t}, \quad (1)$$

де $m(t)$ – частка корисної інформації в загальному потоці через час T ;

ae^{-t} – стабільні ресурси;

be^{-t} – динамічні ресурси.

Найбільш важливим у системі інтермодальних перевезень є питання про координацію роботи та узгодження транспортногo комплексу. Для підвищення продуктивності транспортної системи запропоновано метод композиції вагонів згідно з каргопланом (рис. 1), метою якого є скорочення тривалості перевантажувальних операцій за рахунок використання сортувальних колій або профільованої витяжної колії в процесі формування составів, призначених для вантажних фронтів причалів.

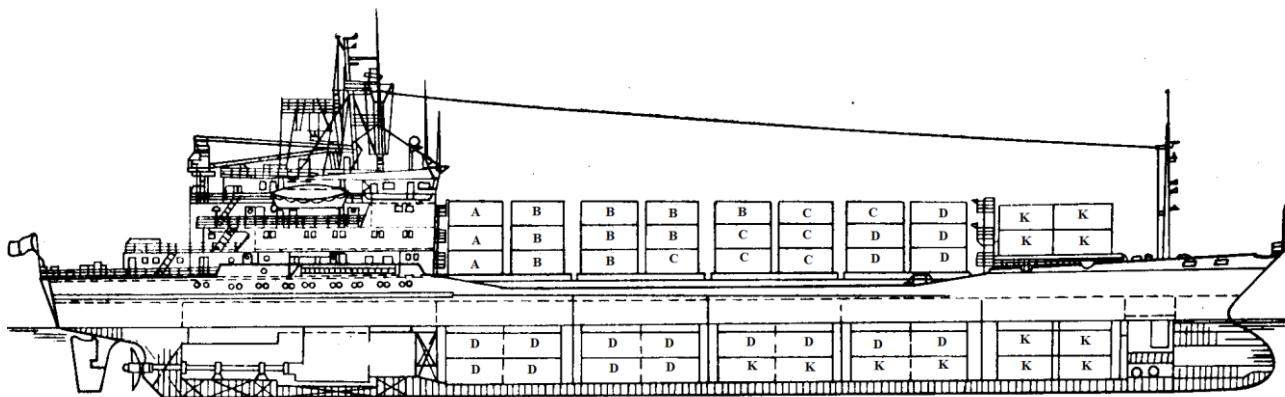


Рис. 1. Приклад каргоплану судна

Передумовою цього методу є узгодження процесів переробки вагонів з підходом суден, що впливає на час знаходження вантажів і вагонів на станціях і в портах.

Метод композиції вагонів згідно з каргопланом базується на тому, що процес

обробки вагонопотоків у системі складається з трьох основних етапів: обробка на сортувальній станції, на припортовій вантажній станції та в порту:

$$T_{обр} = t_{сорт} + t_{припорт} + t_{порт} . \quad (2)$$

На припортовій вантажній станції здійснюється робота з підбору вагонів по окремих районах і причалах порту відповідно до спеціалізації колій і складів.

При надходженні вагонопотоку на сортувальну станцію він повинен розподілятися на «портовий» (складається з вагонів на адресу вантажних фронтів причалів порту) і звичайний. Виділення «портового» вагонопотоку забезпечує прискорення процесу доставки вагонів під навантаження на судна, зменшує простій суден в очікуванні навантаження та дефіцит порожніх вагонів.

При переробці вагонів на сортувальній станції слід виділити окремі колії, для накопичення подач вагонів «портової» обробки (згідно з місцем їх у каргоплані (рис. 2)), на яких після виконання розформування составів будуть сформовані укрупнені групи вагонів, які будуть відправлятися у складі передаточних поїздів на вантажну припортову станцію. Решту вагонопотоку слід обробляти за технологією роботи станції.

Унаслідок цієї переробки технологія обробки має такий вигляд:

$$T_{обр} = t_{сорт} + t_{припорт} \quad (3)$$

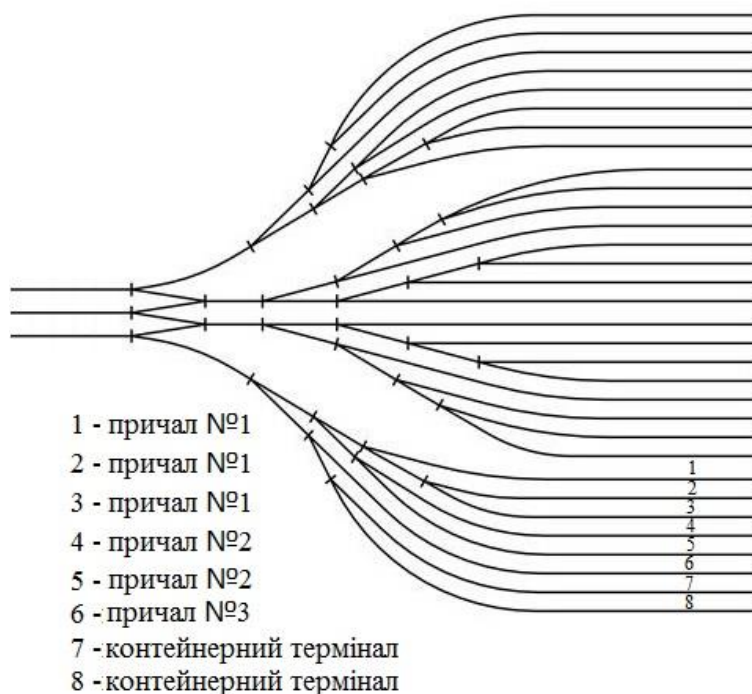


Рис. 2. Приклад сортувального парку з виділеними «портовими» коліями

При переробці вагонів на припортовій вантажній станції, за неможливості виділення окремих колій у сортувальному парку, запропонована композиційна модель переробки вагонопотоку, змістом якої є перебудова витяжної колії припортової

вантажної станції у профільовану витяжну колію (з механізованими або немеханізованими гальмовими позиціями), на якій буде виконуватися сортування вагонів згідно з каргопланом судна (рис. 3).

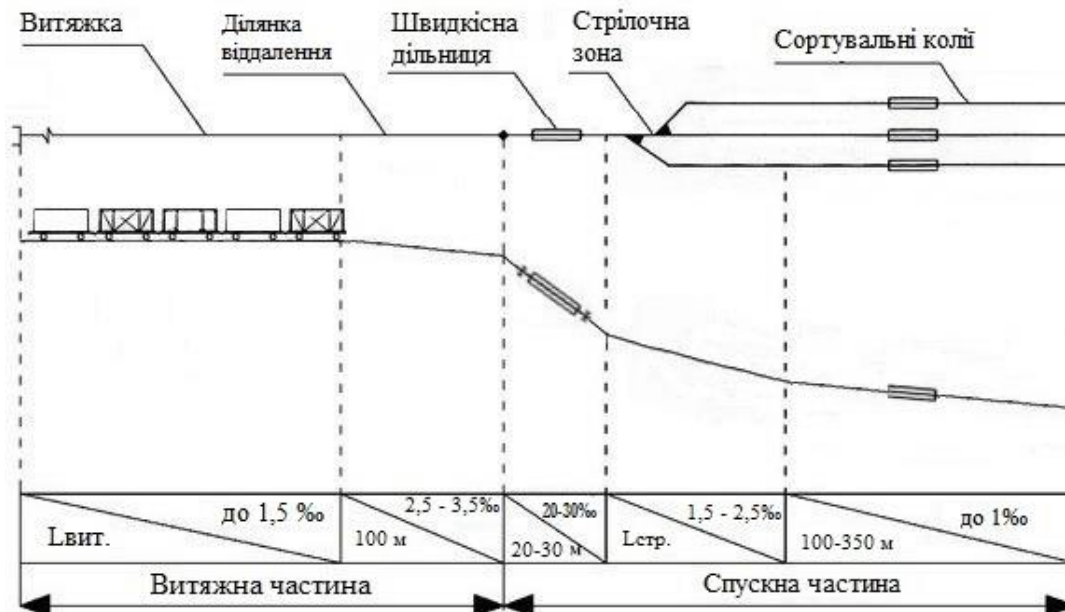


Рис. 3. Проект профільованої витяжної колії припортової вантажної станції

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. У даній роботі запропоновано метод композиції вагонів згідно з каргопланом. Цей метод дозволяє скоротити тривалість знаходження вагонів на припортовій вантажній станції за рахунок подачі состава з парку приймання безпосередньо в районні парки, а також скоротити непродуктивний час в очікуванні виконання технологічних операцій з вагонами та зменшити тривалість виконання технологічних операцій, які

залежать від кількості та порядку постановки вагонів у составі.

Запропонована композиційна модель переробки вагонопотоку може бути використана для сортування вагонів на припортовій вантажній станції.

Перспективою даного дослідження є скорочення часу перевантаження з вагона в судно за рахунок узгодженості з каргопланом і сприяння розвитку експорту транспортних послуг зі збільшенням прибуткової частини національного бюджету, а також баланс витрат на час доставки та вартість вантажу.

Список використаних джерел

1. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року [Електронний ресурс]: розпорядження КМУ від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>. (Дата звернення : 31.03.2017).
2. Реєстр морських портів України [Електронний ресурс] / Адміністрація морських портів України. – К., 2013-2017. – Режим доступу: http://uspa.gov.ua/images/other_files/Resstr0217.pdf (Дата звернення : 31.03.2017).
3. Контейнерні перевезення [Електронний ресурс] / Укрзалізниця. – К., 2012-2017. – Режим доступу: http://uz.gov.ua/cargo_transportation/intermodal_transportation/container/ (Дата звернення : 31.03.2017).

4. Бутько, Т. В. Удосконалення сумісної роботи портів та залізничних вузлів в умовах зростання вантажопотоків [Текст] / Т. В. Бутько, Т. В. Головка // Зб. наук. праць Дон. ін-ту залізнич. трансп. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Донецьк, 2006. — Вип. 8. – С. 5-13.
5. Бутько, Т. В. Удосконалення сумісної роботи портів та залізничних вузлів на основі логістичних методів [Текст] / Т.В. Бутько // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2007. – № 3/6. – С. 27.
6. Левіков, Г. А. Інтермодалізм як транспортна концепція [Текст] / Г.А. Левіков, В.В. Таробанько // Транспорт: наука, техніка, управління. – 2006. – №3. – С. 19-23.
7. Коваленко, Н. Н. Інтермодальні перевезення – сучасна форма доставлення вантажів [Текст] / Н.Н. Коваленко // Логістика: український наук.-практ. журнал. – 2007. – №4. – С. 46-56.
8. Мостовий, М. В. Розвиток інтермодальних перевезень в Україні [Текст] / М.В. Мостовий // Залізничний транспорт України. – 2004. – №5.
9. Малахова, О. А. Проблеми розвитку міжнародної транспортної системи в умовах удосконалення інтермодальних перевезень [Текст] / О. А. Малахова, М.Й. Селеші // Вісник нац. техн. ун-ту «ХПІ». Сер. «Інформаційні технології та системи управління». – 2009. – Вип. 8. – С. 48-51.
10. Кривицька, Н. В. Інформаційно-методичні проблеми документального супроводу транскордонних інтермодальних перевезень [Текст] / Н.В. Кривицька, Б.Г. Шонія // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури: зб. наук. праць Нац. авіаційний ун-ту. – 2014. – №39. – С. 104-110.
11. Ломотько, Д. В. Удосконалення технології передачі вантажопотоку при взаємодії залізничного та морського транспорту [Текст] / Д.В. Ломотько, Т.З. Вейсов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 150. – С. 91-97.
12. Пасічник, В. І. Ефективність інтермодальних перевезень як елемент забезпечення високої якості транспортних послуг [Текст] / В.І. Пасічник, Ю.С. Грисюк, О.В. Пацьора // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – К.: НТУ, 2013. – Вип. 12. – С. 123-129.
13. Bergqvist R., The last mile, inbound logistics and intermodal high capacity transport - the case of Jula in Sweden [Text] / R. Bergqvist , J. Monios // World Review of Intermodal Transportation Research. – 2016. – Vol. 6. – No.1. – P. 74-92.
14. Roso V. Sustainable intermodal transport via dry ports - importance of directional development [Text] / V. Roso // World Review of Intermodal Transportation Research. – 2013. – Vol.4. – No.2/3. – P. 140-156.
15. Koskinen P., The intermodal and noncontainerised supply chain connecting Northern Europe to North America [Text] / P. Koskinen, O. Chistokhvalova, O. Hilmola // World Review of Intermodal Transportation Research. – 2009. – Vol.2. – No.4. – P. 311-325.

Клок Єгор Михайлович, студент 12-IV-ОПУТ, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (097) 745-27-27. E-mail: klokyegor@yandex.ua.

Klok Yegor, student Department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (097) 745-27-27. E-mail: klokyegor@yandex.ua.

Стаття прийнята 10.04.2017 р.

УДК 691.075.3/691.54+691.327.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОМІЦНИХ ЛЕГКИХ КЕРАМЗИТОБЕТОНІВ, МОДИФІКОВАНИХ КОМПЛЕКСНОЮ ОРГАНО-КРЕМНЕЗЕМИСТОЮ ДОБАВКОЮ

Д-р техн. наук К. К. Пушкарьова, асист. К. О. Каверин

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛЕГКИХ КЕРАМЗИТОБЕТОНОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСНОЙ ОРГАНО-КРЕМНЕЗЕМИСТОЙ ДОБАВКОЙ

Д-р техн. наук Е. К. Пушкарева, асист. К. А. Каверин

RESEARCH OF OPERATIONAL PROPERTIES OF HIGH STRENGTH LIGHTWEIGHT CONCRETE MODIFIED BY INTEGRATED ORGANIC AND SILICEOUS ADDITIVES

DSc, Prof. K. K. Pushkarova, assistant K. A. Kaverin

У статті наведено склади високоміцних легких керамзитобетонів і результати дослідження експлуатаційних властивостей легкого керамзитобетону на основі портландцементу, модифікованого комплексними органо-кремнеземистими добавками, і встановлено, що використання таких добавок сприяє не тільки підвищенню міцності, але й зменшенню відносних деформацій усадки, підвищенню корозійної стійкості, морозостійкості та водонепроникності легкого бетону за рахунок зменшення відкритої пористості та направленою формування фазового складу продуктів гідратації порівняно зі зразками без добавок.

Ключові слова: портландцемент, суперпластифікатор, мікрокремнезем, комплексна органо-мінеральна добавка, міцність при стиску, морозостійкість, відносні деформації усадки, водонепроникність, корозійна стійкість.

В статье приведены составы высокопрочных легких керамзитобетонов и результаты исследования эксплуатационных свойств легкого керамзитобетона на основе портландцемента, модифицированного комплексными органо-кремнеземистыми добавками, и установлено, что использование таких добавок способствует не только повышению прочности, но и уменьшению относительных деформаций усадки, повышению коррозионной стойкости, морозостойкости и водонепроницаемости легкого бетона за счет уменьшения открытой пористости и направленного формирования фазового состава продуктов гидратации по сравнению с образцами без добавок.

Ключевые слова: портландцемент, суперпластификатор, микрокремнезем, комплексная органо-минеральная добавка, прочность при сжатии, морозостойкость, относительные деформации усадки, водонепроницаемость, коррозионная стойкость.

The article has the compound of high-lightweight concrete and research results of operational properties of lightweight concrete based on portland cement modified by a complex of organic-silica additives based polycarboxylates superplasticizers different brands and finely ground tripoli. It is established that the use of such additives contributes not only for increase strength of concrete, but decrease deformation of shrinkage, increase corrosion resistance, frost resistance, waterproof of lightweight concrete by reducing the open porosity and directed the

formation of the phase composition of products hydration compared in comparison with the samples of concrete without additives.

Keywords: portland cement, superplasticizer, microsilica, complex organic-mineral additive, compressive strength, frost resistance, shrinkage strain, water resistance, corrosion resistance.

Вступ. Високоміцні легкі бетони є перспективними для застосування у промисловому і цивільному будівництві при зведенні багатоповерхових житлових і громадських будівель, будівництві дорожніх мостів, естакад і розв'язок, а також при зведенні споруд спеціального призначення, що обумовлено позитивними якостями і перевагами по відношенню до важкого бетону [1-3].

Основними передумовами синтезу міцності і довговічності високоміцних легких бетонів є більш повне використання потенційних можливостей портландцементу. В останні роки це зазвичай досягається застосуванням різних модифікуючих добавок [4-8].

Мета роботи. Метою роботи є дослідження експлуатаційних властивостей високоміцних легких керамзитобетонів на основі портландцементу, модифікованого комплексними органо-кремнеземистими добавками.

Сировинні матеріали. У дослідженнях використовували портландцемент ПЦ І-500Р, модифікований комплексною органо-мінеральною добавкою на основі полікарбоксилатів (SikaPlast 555W, MC PowerFlow 3100) і кремнеземистої добавки (тонкомолотий трепел Коноплянського родовища ($S_{пит} = 21300 \text{ см}^2/\text{г}$)). Як дрібний заповнювач використано пісок дніпровський річковий кварцовий з модулем крупності $M_k = 1,28$. У якості крупного заповнювача застосовано керамзитовий гравій ТОВ «Хмельницький завод керамзитового гравію» з насипною густиною $600 \text{ кг}/\text{м}^3$ (М600), марка за міцністю П125 (міцність при стискуванні в циліндрі 3,03 МПа).

Методи дослідження. Фізико-механічні характеристики одержаних

керамзитобетонів вивчені з застосуванням традиційних методик за діючими нормативними документами [9, 10].

Деформативні характеристики легкого бетону оцінені за величиною відносної усадки, яка визначена як середнє арифметичне значення зменшення розмірів зразка відносно початкового відліку [11].

Дослідження морозостійкості виконано за прискороною методикою [12].

Для дослідження корозійної стійкості бетонів були вибрані 5 % розчин сульфату натрію, 5 % розчин сульфату амонію та 1 % розчин сульфату магнію з урахуванням можливих умов експлуатації розроблених складів керамзитобетону. За даною методикою, зразки є корозійностійкими, якщо після випробування у віці 180 діб коефіцієнт стійкості відповідає вимогам нормативних документів $K_c \geq 0,8$ [13].

Дослідження водонепроникності керамзитобетону проведено за допомогою приладу УВБ-МГ4 за роботою [14].

Результати досліджень та їх обговорення. Підбір складу керамзитобетону виконано враховуючи результати попередніх досліджень щодо модифікації портландцементної матриці органо-кремнеземистими добавками [15-17].

Кінетика нарощування міцності досліджених зразків керамзитобетонів подана у табл. 1.

Аналізуючи результати кінетики набору міцності при стиску керамзитобетону, можна зазначити, що найбільш ефективним виявився склад № 4, модифікований комплексною добавкою на основі суперпластифікатора «SikaPlast 555W» і тонкомеленого трепелу. Міцність при стиску на 28 добу склала 38,2 МПа, що на 38 % більше порівняно з контрольним складом (табл. 1, склад № 1).

Таблиця 1

Зміна міцності при стиску зразків керамзитобетону в часі

Номер складу	Склад керамзитобетонної суміші, кг/м ³						Міцність при стиску, МПа, після твердіння, діб					Середня густина, кг/м ³
	Портландцемент ПЦ І-500Р, кг	Пісок кварцовий (Мк=1,21), кг	Керамзитовий ґравій (М600) фр. 5-10, кг	Тонкопомелений трепел, кг	Суперпластифікатор, кг		3	7	28	180	365	
					SikaPlast 555W (1,5%)	Power Flow 3100 (1%)						
1	330	940	410	-	-	-	21,6	23,3	27,6	32,8	33,6	1853
2	330	940	410	-	4,95	-	22,7	26,1	34,9	35,8	37,4	1858
3	330	940	410	-	-	3,3	22,8	26,3	33,8	35,2	36,7	1840
4	300	940	410	33	4,5	-	29,8	34,1	38,2	40,5	44,2	1859
5	300	940	410	33	-	3	30,9	33,7	37,7	40	43,8	1880

Для дослідження ефективності використання модифікуючої органо-кремнеземистої добавки було використано такі склади керамзитобетону: № 1 – контрольний, № 2 – модифікований суперпластифікатором і № 4 – комплексною добавкою.

Як відомо, головною причиною усадки портландцементних систем є об'ємні зміни гелю цементного каменю при

його висиханні, які залежать від мінералогічного складу системи, тонкості помелу цементу, умов і часу твердіння. На мікрорівні величина усадки залежить перш за все від співвідношення кристалічних і гелеподібних фаз у продуктах гідратації в'язуючої композиції.

Дослідження зміни відносної усадки керамзитобетонів наведено на рис. 1.

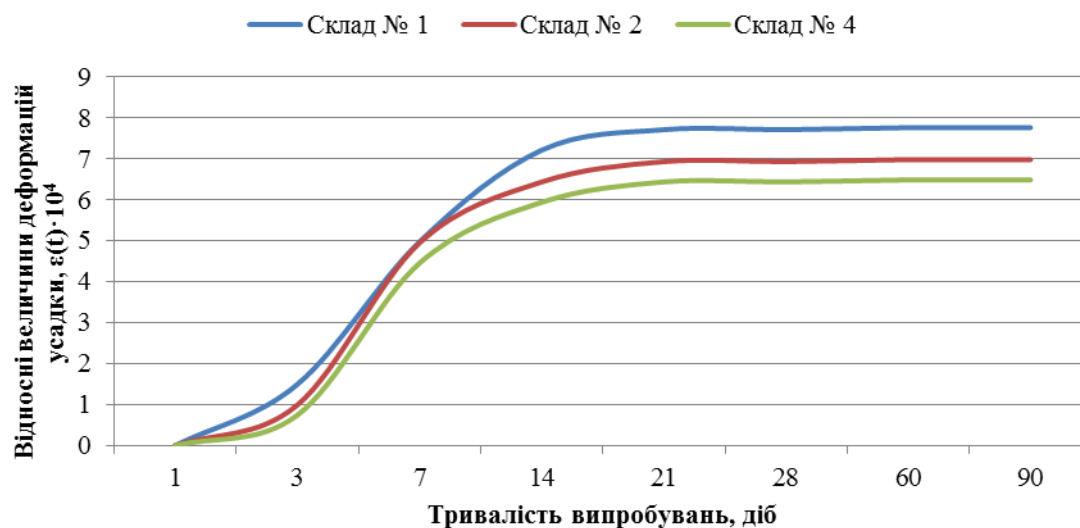


Рис. 1. Порівняння відносної усадки керамзитобетону різного складу (склади бетонів прийнято за табл. 1)

При дослідженні зміни відносної усадки керамзитобетонів було встановлено, що введення добавки полікарбоксилатного суперпластифікатора «SikaPlast 555W» до складу бетону сприяє зменшенню усадки на 10...12 %, а введення комплексної органо-кремнеземистої добавки — на 16...19 % порівняно з контрольним складом.

Результати дослідження корозійної стійкості досліджених зразків подано на рис. 2, а залишкову міцність зразків після витримування в агресивних середовищах впродовж 180 діб наведено в табл. 2.

Аналіз отриманих результатів дозволяє визначити, що керамзитобетони на основі портландцементних в'язучих композицій, модифікованих комплексною добавкою, що містить полікарбоксилатний суперпластифікатор «SikaPlast 555W» і тонкомелений трепел Коноплянського родовища, мають досить високі показники коефіцієнтів корозійної стійкості порівняно з бездобавочними портландцементними композиціями (рис. 2, табл. 2, склад № 4).

Таблиця 2

Зміна міцності керамзитобетонів після зберігання в агресивних середовищах

Номер складу	Витрата компонентів на 1 м ³ бетонної суміші, мас.%					Міцність при стиску контрольних зрізків, МПа, у віці 28 діб	Міцність при стиску, МПа, після 180 діб твердіння в агресивних середовищах		
	ПЦ І -500Р	Керамзитовий гравій	Кварцовий пісок	Суперпластифікатор «SikaPlast 555W»	Трепел		1% розчин MgSO ₄	5% розчин Na ₂ SO ₄	5% розчин (NH ₄) ₂ SO ₄
1	19,2	23,83	56,97	-	-	27,6	23,74	22,08	19,32
2	19,14	23,77	56,83	0,26	-	34,9	33,16	30,02	28,27
4	17,4	23,77	56,83	0,26	1,74	38,2	37,44	34,38	33,23

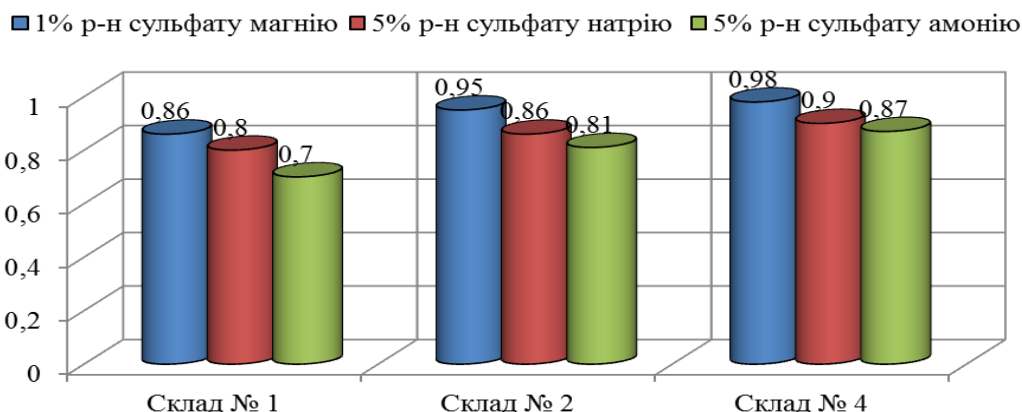


Рис. 2. Порівняння коефіцієнтів корозійної стійкості K_c керамзитобетонів різного складу (за табл. 2) після 180 діб витримування в агресивних середовищах (1% MgSO₄; 5% Na₂SO₄ та 5% (NH₄)₂SO₄)

Так, значення K_c портландцементного керамзитобетону, модифікованого комплексною орґано-кремнеземистою добавкою, у розчинах сульфату маґнію зростає на 10...14 % порівняно з бездобавочним складом. У розчинах сульфату натрію цей показник підвищується на 7,5...12,5 %, а в розчинах сульфату амонію — на 15...24 % порівняно з контрольним складом.

Підвищення корозійної стійкості керамзитобетонів можна пояснити зниженням відкритої пористості та зменшенням водопоглинання, що досягається шляхом ущільнення структури портландцементного каменю.

Визначення морозостійкості модифікованого бетону проводили за

прискореною методикою при витримуванні зразків у середовищі 5%-го розчину хлориду натрію і температурі $-50\text{ }^\circ\text{C}$. За вимогами нормативних документів, втрата міцності зразків, що витримали певну кількість циклів наперемінного заморожування-відтавання, не повинна перевищувати 5 %. Результати досліджень подано в табл. 3.

Отримані дані свідчать про те, що контрольний склад керамзитобетону на основі портландцементу ПЦ I-500P (табл. 3) забезпечує отримання марки бетону за морозостійкістю F200, оскільки втрата міцності після 6 циклів наперемінного заморожування-відтавання склала 6,82 %, що перевищує 5 %.

Таблиця 3

Порівняння морозостійкості керамзитобетонів різного складу

Номер складу	Витрата компонентів на 1 м ³ бетонної суміші, мас. %					Втрата міцності, %, після циклічного заморожування і відтавання			Марка за морозостійкістю
	ПЦ I-500P	Керамзитовий гравій	Кварцовий пісок	Суперпластифікатор «SikaPlast 555W»	Трепел	6	10	14	
1	19,2	23,83	56,97	-	-	-6,82	-	-	F200
2	19,14	23,77	56,83	0,26	-	-	-5,61	-	F300
4	17,4	23,77	56,83	0,26	1,74	-	-	-5,08	F400

Модифікація керамзитобетону добавкою суперпластифікатора «SikaPlast 555W» (табл. 3) дозволяє підвищити морозостійкість до F300. Втрата міцності на 10-му циклі наперемінного заморожування-відтавання склала 5,61 %.

Модифікація керамзитобетону комплексною орґано-кремнеземистою добавкою на основі суперпластифікатора

«SikaPlast 555W» і тонкомеленого трепелу (табл. 1, склад № 4) забезпечує марку за морозостійкістю F400, що підтверджується результатами випробувань. Втрата міцності на 14-му циклі наперемінного заморожування-відтавання склала 5,08 %.

Підвищення морозостійкості керамзитобетону на основі портландцементу, модифікованого комплексною добавкою,

може бути пояснено наявністю більш оптимальної порової структури і зменшенням об'єму відкритих капілярних пор матеріалу, що забезпечує меншу кількість льоду, утвореного в порах бетону при від'ємних температурах, і відповідно зменшення значень виникаючих напружень у структурі матеріалу.

Істотне значення в забезпеченні водостійкості бетону має його водонепроникність, яка вимірюється значенням гідростатичного тиску, внаслідок чого крізь бетон починає просочуватись вода. Водонепроникність бетону забезпечується рядом технологічних прийомів, які підвищують щільність структури як цементного каменю, так і

бетону в цілому, що досягається зниженням В/Ц відношення, оптимізацією гранулометричного складу. З метою оцінки ефективності оптимізованого складу було досліджено водонепроникність керамзитобетону. Результати випробувань подано в табл. 4.

При дослідженні водонепроникності керамзитобетону було встановлено, що при модифікації керамзитобетону суперпластифікатором забезпечується підвищення водонепроникності на 13 %, у той же час введення комплексної органо-кремнеземистої добавки сприяє підвищенню водонепроникності до 0,832 МПа, що на 37 % більше порівняно з контрольним складом.

Таблиця 4

Визначення водонепроникності керамзитобетонів різного складу

Номер складу	Витрата компонентів на 1 м ³ бетонної суміші, мас. %					Середнє значення тиску води, МПа	Марка за водонепроникністю
	ПЦ І -500Р	Керамзитовий гравій	Кварцовий пісок	Суперпластифікатор «SikaPlast 555W»	Трепел		
1	19,2	23,83	56,97	-	-	0,605	W6
2	19,14	23,77	56,83	0,26	-	0,688	W6
3	17,4	23,77	56,83	0,26	1,74	0,832	W8

Висновки:

1. Досліджено фізико-механічні та експлуатаційні властивості керамзитобетонів на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою. Показано, що модифіковані легкі бетони відрізняються не тільки кращою кінетикою нарощування міцності в часі, але й меншою відносною усадкою (на 16...19 %), підвищеною корозійною стійкістю в сульфатних розчинах (до 20 %), морозостійкістю F400 і

водонепроникністю W8 порівняно з контрольним складом.

2. Підвищення експлуатаційних властивостей модифікованого керамзитобетону можна пояснити за рахунок зменшення відкритої пористості та направленою формування фазового складу продуктів гідратації (низькоосновних гідросилікатів і гідроалюмосилікатів кальцію), що обумовлює ефективність використання даної комплексної добавки.

Список використаних джерел

1. Батраков, В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика [Текст] / В. Г. Батраков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 1998. – 768 с.
2. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны [Текст] / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 380 с.
3. Дворкин, Л. И. Цементные бетоны с минеральными наполнителями [Текст] / Л. И. Дворкин, В. Н. Выровой и др. – К.: Будівельник, 1991. – 136 с.
4. Ризван, С. А. Роль минеральных добавок в высококачественных цементных системах [Текст] / С.А. Ризван, Т.А. Байер // Бетон и железобетон – пути развития: научные труды II Всеросс. (Международ.) конф. по бетону и железобетону. – М.: Дипак, 2005. – Т. 3. – С. 727-732.
5. Пушкарьова, К. К. Дослідження впливу органо-кремнеземистих добавок на міцність цементних композицій [Текст] / К. К. Пушкарьова, К. О. Каверин // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2014. – № 57. – С. 371-379.
6. Пушкарьова, К. К. Дослідження сумісності дії складових органо-кремнеземистої добавки та їх вплив на процеси структуроутворення цементного каменю [Текст] / К.К. Пушкарьова, К.О. Каверин // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне, 2015. – Вип. 31. – С. 322-329.
7. Pushkarova, K. K. Research of high-strength cement compositions modified by complex organic-silica additives [Text] / K. K. Pushkarova, K. O. Kaverin, D. O. Kalantaevsky // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2015. - Vol. 5, Issue 5 (77). - P. 42-51. doi: 10.15587/1729-4061.2015.51836.
8. Marushchak, U. Research of nanomodified portland cement compositions with high early age strength / Marushchak U., Sanytsky M., Mazurak T., Olevych Yu. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol.6, Issue 6(84). – P. 50-57. doi: 10.15587/1729-4061.2016.84175.
9. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ). Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови [Текст]. – Чинний від 2010-04-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 109 с.
10. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками [Текст]. – Чинний від 2009-12-22. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2010. – 36 с.
11. ДСТУ Б В.2.7-216:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення деформацій усадки та повзучості [Текст]. – Чинний від 2010-09-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 29 с.
12. ДСТУ Б В.2.7-49-96 (ГОСТ 10060.2-95). Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні [Текст]. — Чинний від 1996-09-01. – К.: Держкоммістобудування України, 1997. – 9 с.
13. Лещинский, М. Ю. Испытания бетона [Текст] / М. Ю. Лещинский. – М.: Стройиздат, 1980. – 360 с.
14. ДСТУ Б В.2.7-170:2009. Будівельні матеріали. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності [Текст]. – Чинний від 2009-07-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 39 с.
15. Пушкарьова, К. К. Особливості модифікації цементної матриці для отримання високоміцних легких керамзитобетонів [Текст] / К.К. Пушкарьова, О.А. Гончар, К.О. Каверин // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: зб. наук. праць. – К., 2014. – № 52. – С. 43-48.

16. Каверин, К. О. Високоміцні легкі керамзитобетони, модифіковані полікарбоксилатними суперпластифікаторами [Текст] / К. О. Каверин // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка: зб. наук. праць. – К., 2015. – № 56. – С. 47-54.

17. Пушкарьова, К. К. Використання високоміцних керамзитобетонів в каркасно-монолітному будівництві [Текст] / К.К. Пушкарьова, К.О. Каверин // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне, 2016. – Вип. 33. – С. 75-83.

Пушкарьова Катерина Костянтинівна, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри будівельних матеріалів Київського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (044)245-48-31.

E-mail: sribm_pushkarova@mail.ru.

Каверин Костянтин Олександрович, асистент кафедри будівельних матеріалів Київського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (044)245-48-31. E-mail: Kaverin_K_RAF@mail.ru.

Pushkarova K.K., Prof., DSc, Department of building materials, Kyiv National University of Civil Engineering & Architecture. Tel. (044)245-48-31. E-mail: sribm_pushkarova@mail.ru.

Kaverin K. A., Assistant, Department of building materials, Kyiv National University of Civil Engineering & Architecture. Tel. (044)245-48-31. E-mail: Kaverin_K_RAF@mail.ru.

Стаття прийнята 10.04.2017 р.

УДК 691.175:666.96+541.1

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПРОСОЧЕННЯ БЕТОНУ ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНИМИ РОЗЧИНАМИ ПРОНИКНОЇ ДІЇ

Д-р техн. наук. К. К. Пушкарьова, канд. техн. наук К. В. Савченко

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПРОПИТКИ БЕТОНА ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫМИ РАСТВОРАМИ ПРОНИКАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ

Д-р техн. наук Е. К. Пушкарева, канд. техн. наук Е. В. Савченко

RESEARCH MECHANISM OF IMPREGNATION FOR CONCRETE WITH WATERPROOFING MORTARS OF PENETRATING ACTION

DSc. K. K. Pushkarova, Ph.D. K. V. Savchenko

У статті досліджено механізм просочення бетону гідроізоляційними розчинами проникної дії на основі портландцементу, доменного гранульованого шлаку, природного цеоліту і солей-електролітів.

Величину глибини проникнення гідроізоляційного розчину в структуру бетону було визначено різними методами: введенням до складу гідроізоляційної суміші органічних барвників (розчину таніну) і розчину чорнила або обробкою зрізу зразків (з нанесеним гідроізоляційним покриттям) спиртовим розчином фенолфталеїну.

Ключові слова: гідроізоляційні розчини, портландцемент, доменний гранульований шлак, природний цеоліт, солі-електроліти.

В статье исследован механизм пропитки бетона гидроизоляционными растворами проникающего действия на основе портландцемента, доменного гранулированного шлака, природного цеолита и солей-электролитов.

Глубину проникновения гидроизоляционного раствора в структуру бетона было определено различными методами: введением в состав гидроизоляционной смеси органических красителей (раствора танина) и раствора чернил или обработкой среза образцов (с нанесенным гидроизоляционным покрытием) спиртовым раствором фенолфталеина.

Ключевые слова: гидроизоляционные растворы, портландцемент, доменный гранулированный шлак, природный цеолит, соли-электролиты.

This article deals with the mechanism of impregnation for concrete with waterproofing mortars of penetrating action based on portland cement, granulated blast furnace slag, natural zeolite and salts electrolytes.

The depth of penetration of the waterproofing solution into the concrete structure has been defined in different ways: the introduction of the waterproofing mixture of organic dyes (tannin solution) and a solution of ink or processing of the slice samples with applied waterproofing coating with an alcoholic solution of phenolphthalein.

Mediated by the fact of penetration of waterproofing material to the concrete structure was confirmed by composition of the new formation, which were recorded using a physical-chemical analysis methods (DTA, XRD and electron microscopy) on samples coated with waterproofing mortars which have hardened over 1 and 3 years.

It is proved that the degree of impregnation for concrete structures with waterproofing mortars of penetrating action can be controlled by changing the color of the indicator depending on the pH of the solution of salts-electrolytes.

Keywords: waterproofing mortars, portland cement, granulated blast furnace slag, natural zeolite, salts electrolytes.

Вступ. Група матеріалів проникної дії належить до матеріалів нового покоління. Батьківщиною проникної гідроізоляції (пенетрації) є Данія, де наприкінці 40-х років ХХ століття відомою фірмою Vandex був отриманий перший однойменний матеріал [1].

В Україні матеріали, здатні до пенетрації, з'явилися на ринку в середині 90-х років ХХ ст. Сьогодні в Україні представлені такі матеріали проникної дії, як CeresitCR66 (HenkelBautechnik, Україна), SikaTop®Seal-107(Sika, Україна), Акватрон (Україна), Віатрон (Україна), AquamatPenetrat (Isomat, Грузія), MaxsealSuper (Drizoro, Іспанія), Milenium (Satecma, Іспанія), Хурех (Канада), Пенетрон (Росія), Кальматрон (Росія), Лахта (Росія) [2].

Матеріали проникної дії – це сухі суміші на основі портландцементу, кварцового піску та активних мінеральних добавок. У якості добавок, які обумовлюють проникну дію, використовують мікрокремнезем, оксид алюмінію, карбонати, сульфати, нітрати і оксалати лужних металів, сульфоалюмінати кальцію та інші сполуки, здатні під впливом води зв'язувати вільне вапно в нерозчинні гідросилікати, гідроалюмінати і гідросульфоалюмінати кальцію, що кольматують капілярно-пористу структуру бетону [3].

Активні компоненти, які входять до складу гідроізоляції, обумовлюють каталітичну реакцію, у результаті якої в порах і капілярах бетону синтезуються розгалужені ниткоподібні кристалічні утворення з дуже дрібними порами. При цьому структура бетону ущільнюється у

всіх напрямках, запобігаючи проникненню води або іншої рідини. Заповнені нерозчинними кристалами пори, капіляри і мікротріщини не пропускають воду, оскільки в дію вступають сили поверхневого натягу. Сітка кристалів запобігає фільтрації води, навіть при наявності високого гідростатичного тиску, але сам бетон зберігає свою паропроникність [4].

Обов'язковою умовою роботи проникної гідроізоляції є наявність вологи для формування кристалічних новоутворень. Тому вологий або «молодий» бетон – ідеальна основа для обробки проникними гідроізоляційними матеріалами [5].

Мета роботи. Метою роботи було дослідження гідроізоляційних розчинів проникної дії на основі портландцементу, модифікованого комплексною мінеральною добавкою, яка включає доменний гранульований шлак, природний цеоліт і солі-електроліти, що дозволяє отримувати гідроізоляційні покриття з покращеними експлуатаційними характеристиками для захисту бетонних і залізобетонних споруд.

Сировинні матеріали. Як вихідні компоненти гідроізоляційного розчину проникної дії використовували портландцемент марки ПЦ-І М 500, доменний гранульований шлак Криворізького металургійного комбінату, природний цеоліт (клинотилоліт) Сокирницького родовища різного ступеня аморфізації структури, кварцовий пісок (фракція >0,63) і добавки-електроліти.

Методи дослідження. Для визначення величини проникнення гідроізоляційного матеріалу були виготовлені зразки дрібнозернистого бетону розміром 16×16×4 см із цементно-піщаного розчину, які витримували протягом 28 діб. Після цього на торець наносили досліджувані покриття, які витримували ще 7 діб у воді та розрізали за допомогою пилки.

Величину глибини проникнення гідроізоляційного розчину в структуру бетону було досліджено різними методами:

введенням до складу гідроізоляційної суміші органічних барвників (розчину таніну) і розчину чорнила або обробкою зрізу зразків з нанесеним гідроізоляційним покриттям спиртовим розчином фенолфталеїну.

Опосередкований факт проникнення гідроізоляційного матеріалу в структуру бетону підтверджували складом новоутворень, що були зафіксовані за допомогою фізико-хімічних методів аналізу (ДТА, РФА та електронної мікроскопії), на зразках з нанесеними покриттями, що тверділи протягом 1 та 3 років.

Результати проведених досліджень. Для прогнозу довговічності розроблених складів гідроізоляційних покриттів за допомогою електронної растрової мікроскопії було досліджено контактну зону „гідроізоляційне покриття – основа” на зразках, що тверділи 1 рік (рис. 1) і 3 роки (рис. 2).

Як показали результати робіт [6, 7], введення солей не тільки сприяє прискоренню утворенню кристалогідратних сполук, але й ініціює направлену кристалізацію низькоосновних гідросилікатів кальцію С-S-H. Відбувається зменшення макропор з одночасним збільшенням мікропор, що обумовлює формування більш однорідної, щільної структури цементного каменю.

Встановлено, що на зразках, отриманих з використанням в'язучих систем (рис. 1, а), які не містять солей-електролітів після 1 року твердіння, можна спостерігати чітку лінію контакту на границі „в'язуча речовина – заповнювач”. Введення солей-електролітів (рис. 1, б) призводить до стирання цієї лінії контакту та сприяє більш інтенсивному зрощуванню зерен заповнювача з цементним каменем, що супроводжується зниженням кількості макропор у структурі цементного каменю порівняно з бездобавочними системами. За результатами електронної мікроскопії (рис. 1, б) також можна простежити ступінь проникнення хімічно активної частини

гідроізоляційного матеріалу по капілярних тріщинах і порах цементного каменю і

визначити характер кристалічних новоутворень.

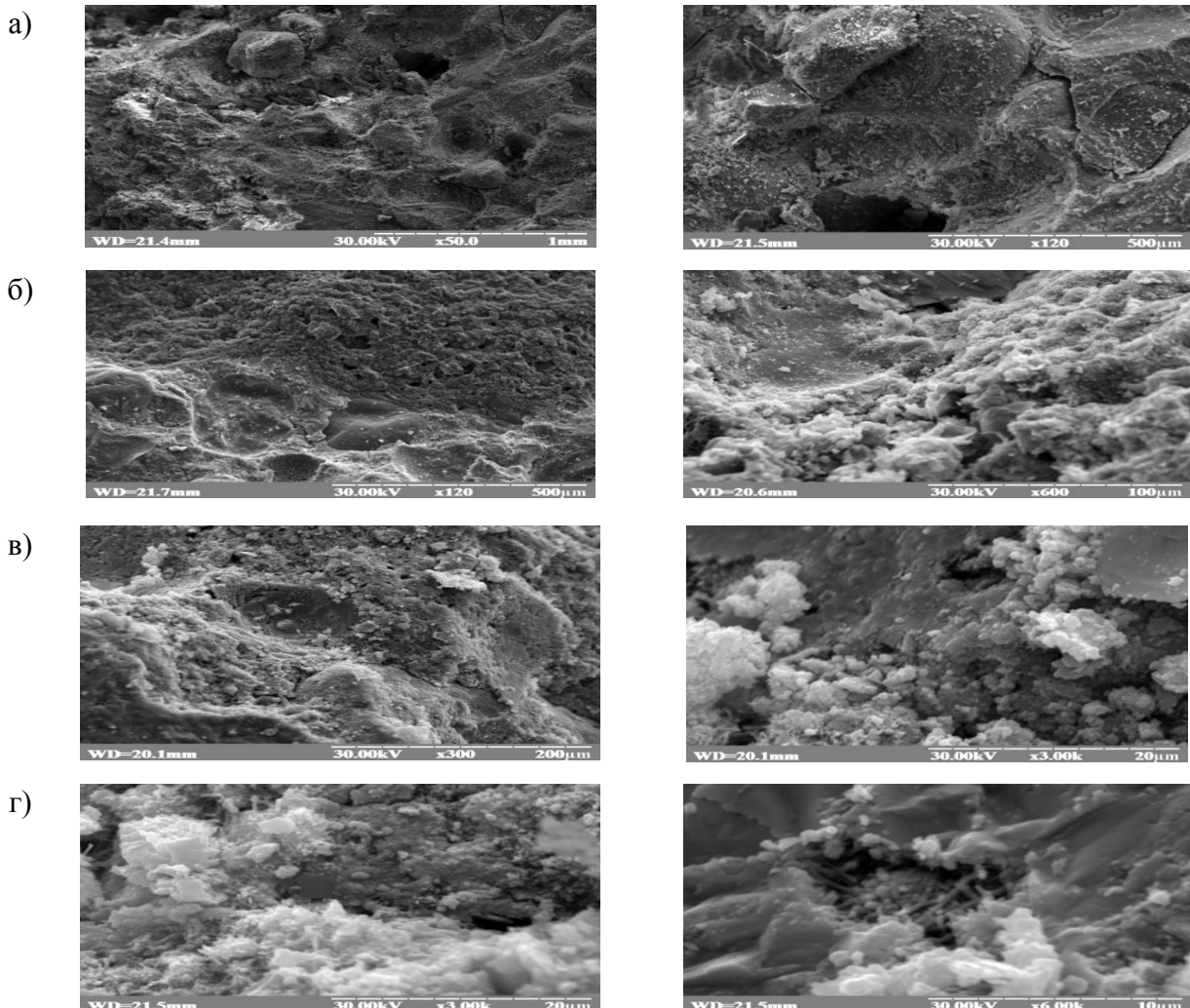


Рис. 1. Фотографії поверхні зламу зразків з дрібнозернистого бетону з нанесеним гідроізоляційним розчином на основі: портландцементу з добавкою доменного гранульованого шлаку та природного цеоліту (а); портландцементу з добавкою доменного гранульованого шлаку, природного цеоліту і солей-електролітів (б); з нанесеним гідроізоляційним покриттям „Пенетрон” (в) і „Кальматрон” (г) після 1 року експлуатації

При дослідженні поверхні зламу зразків дрібнозернистого бетону з нанесеним гідроізоляційним розчином „Кальматрон” (рис. 1, г) видно, що в порах цементного каменю у складі продуктів твердіння утворилися нерозчинні кристало-хімічні голчасті кристали етрингіту і низькоосновні гідросилікатні фази.

Наявність у складі продуктів гідратації в’язучих систем на основі портландцементів з добавкою доменного гранульованого шлаку, природного цеоліту (рис. 2, а), гідросилікатів кальцію CSH (I) і цеолітоподібних новоутворень типу анальциму, здатних до повного зрощування з утворенням тримірних структур,

обумовлює отримання високоміцного каменю [8]. За роботою [9], подібність кристалохімічних параметрів CSH (I) та анальциму є передумовою для появи значної кількості контактів зрощування між новоутвореннями та отримання щільної

структури з низькою пористістю, що має визначальний вплив на фізико-механічні властивості штучного каменю, у тому числі міцність, атмосферостійкість, водопоглинання тощо [10].

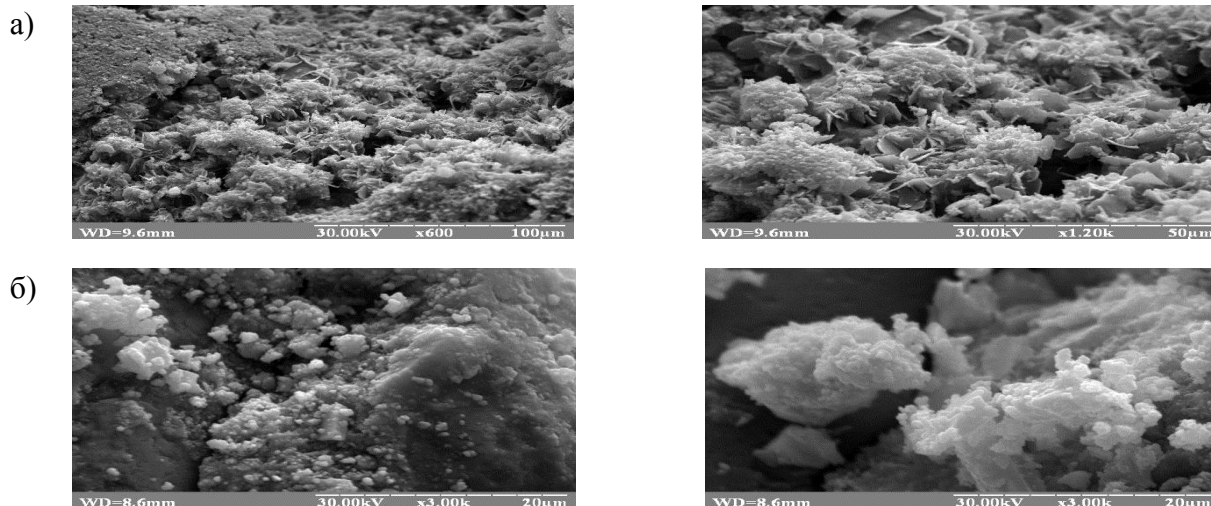


Рис. 2. Фотографії поверхні зламу штучного каменю після 3-х років твердіння, отриманого на основі: а – портландцементу з добавкою доменного гранульованого шлаку та природного цеоліту; б – портландцементу з добавкою доменного гранульованого шлаку, природного цеоліту і солей-електролітів (фото зламу штучного каменю отримані за допомогою електронного мікроскопа РЕММА-102)

За даними растрової мікроскопії та результатів фізико-хімічного аналізу (рис. 2, б), з часом відбувається процес кристалізації цеолітоподібних новоутворень, подібних до нозеану $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{SO}_4)\cdot\text{H}_2\text{O}$.

Оскільки головною особливістю гідроізоляційних матеріалів проникної дії є механізм просочення активних складових у структуру бетону, то були проведені дослідження з метою наочно продемонструвати, як саме і наскільки глибоко компоненти розчину проникають у пори бетону. Опосередковано факт проникнення гідроізоляційного розчину в основу підтверджується складом новоутворень, що були зафіксовані за допомогою ДТА, РФА та електронної мікроскопії в різні строки твердіння (1 та 3

роки), і збереженістю в часі фізико-механічних та експлуатаційних характеристик покриттів.

Першою спробою показати ступінь проникнення гідроізоляційного розчину в основу було використання порошку люмінофору (світлонакопичувального пігменту), який має властивість випромінювати яскраве світіння в темряві під дією ультрафіолетових променів. Проте дослідження показали, що попри велику питому поверхню таких порошоків (20...35 мікрон) їхня низька розчинність у воді не дозволяє їм проникнути у структуру бетону разом з рідиною складовою гідроізоляційного матеріалу. Світіння порошку під дією ультрафіолету фіксувалося тільки в структурі самого покриття і на глибині 3...6 мм у розрізі бетонної основи.

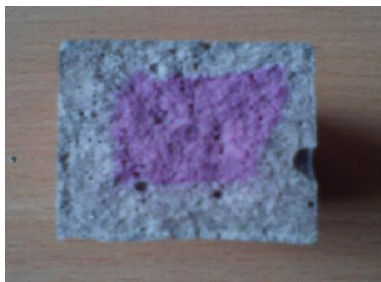
Інші намагання зафіксувати глибину проникнення розчинів у бетонну основу зводилися до додавання до складу гідроізоляційної суміші органічних барвників (розчину таніну) і розчину чорнила. На першу добу твердіння злам зразків повністю був забарвлений у зеленуватий і чорний колір відповідно. Проте через 2 доби після нанесення такого покриття колір забарвлення зламу зразків зникає, що пояснюється наявністю лужного середовища основи.

Оскільки продуктами реакції солей NaNO_3 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 зі складовими цементного каменю, крім AFt і AFm фаз і гідросилікатів, є ще й луги, як проміжний продукт реакцій, то наступною спробою показати ступінь проникнення гідроізоляційного розчину в основу було

використання зміни забарвлення індикатора залежно від рН розчину солей. Для визначення лужного середовища ($\text{pH} > 7$) було використано спиртовий розчин фенолфталеїну, який було нанесено на злам досліджуваних зразків.

З результатів проведених досліджень (рис. 3) видно, що зразки, не покриті гідроізоляційним розчином, характеризуються наявністю карбонізованих верхніх шарів (рис. 3, а), оскільки карбонат кальцію, утворений у результаті реакції $\text{Ca}(\text{OH})_2$ з вуглекислим газом, не має лужної реакції і не забарвлюється, тоді як область некарбонізованої серцевини реагує на фенолфталеїн, забарвлюючись у малиновий колір, що можна пояснити наявністю незв'язаних лугів, у тому числі і $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

а)



б)



Рис. 3. Фотографії поверхні зламу зразків дрібнозернистого бетону, просочених розчином фенолфталеїну: а – без нанесення гідроізоляційного покриття; б – з нанесеним гідроізоляційним покриттям

У той же час злам зразків, покритих гідроізоляційним розчином (рис. 3, б), після обробки розчином фенолфталеїну, повністю забарвлюється по всій площі в насичений малиновий колір, що характеризує величину рН середовища

більше 10. Причому колір самого гідроізоляційного покриття (рис. 4) залишається без змін, що можна пояснити повним зв'язуванням зайвих лугів у системі природним цеолітом і склоподібною фазою шлаку.



Рис. 4. Фотографії поверхні зразка з дрібнозернистого бетону, покритого гідроізоляційним розчином проникної дії, а потім просоченого розчином фенолфталеїну

При обробці поверхні зламу спиртовим розчином фенолфталеїну зразків дрібнозернистого бетону, які були попередньо захищені гідроізоляційним розчином оптимального складу і «Пенетрон» (рис. 5, 1 та 2), видно, що вся площа зламу забарвлена в насичений малиновий колір, що характеризує досить високі значення рН утвореного середовища за рахунок реакцій взаємодії активних складових гідроізоляційних матеріалів і продуктів гідратації портландцементу основи, причому глибина проникнення активних складових покриттів складає 16 см. Для порівняння зразки без нанесеного покриття залишилися без зміни забарвлення (рис. 5, 4).

Оскільки у складі розробленого гідроізоляційного розчину є значна

кількість аніонів SO_4^{2-} , то постає питання, чи зв'язуються вони з часом у нерозчинні сполуки і чи не будуть причиною утворення вторинного еtringіту, який може спровокувати деструктивні процеси.

Тому наступним етапом роботи було дослідження наявності незв'язаних аніонів SO_4^{2-} у структурі основи зразків дрібнозернистого бетону та самого покриття за рахунок нанесення на поверхню зламу розчину BaCl_2 . Вибір даного розчину можна пояснити обмінною реакцією солей BaCl_2 та Na_2SO_4 з утворенням малорозчинного продукту, що видаляється з розчину у вигляді осаду BaSO_4 , який потім можна буде зафіксувати:

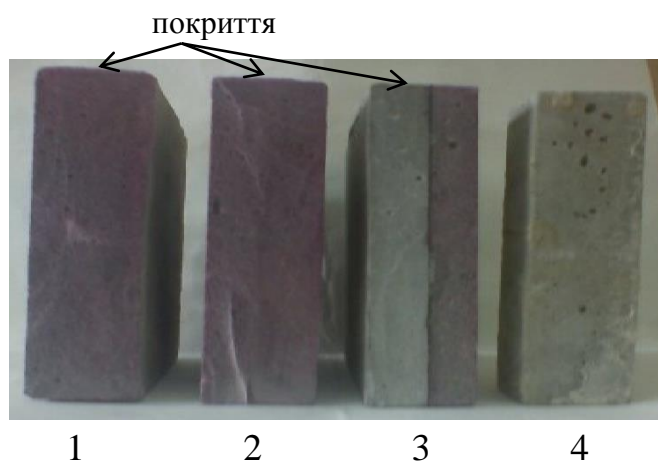
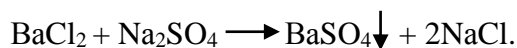


Рис. 5. Фотографії поверхні зламу зразків дрібнозернистого бетону, які після 7 діб твердіння були захищені покриттям розробленого складу (1), а потім оброблені спиртовим розчином фенолфталеїну; покриттям «Пенетрон» (2) з наступною обробкою розчином фенолфталеїну; покриттям розробленого складу (3) з наступною його обробкою розчином BaCl_2 ($\frac{1}{2}$ поверхні) і спиртовим розчином фенолфталеїну ($\frac{1}{2}$ поверхні); як аналог прийнято зразок без покриття (4) з нанесеним розчином фенолфталеїну

З результатів проведених досліджень видно, що на фотографіях поверхні зламу зразків, покритих розробленим гідроізоляційним розчином та оброблених розчином BaCl_2 ($\frac{1}{2}$ поверхні), не спостерігається

утворення білого нальоту у вигляді осаду (рис. 5, 3), що підтверджує припущення про досягнення оптимального співвідношення компонентів $\text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{Na}_2\text{SO}_4 : \text{NaNO}_3 = 4:5:1$, яке забезпечує зв'язування аніонних

комплексів у стабільні гідросульфогідроалюмінатні фази AFt та AFm, а також, імовірно, про певну кількість сульфатаніонів, що зв'язується гідросилікатною складовою або входить до складу цеолітоподібних неорганічних сполук (типу нозеану).

Висновки:

1. Розроблено принципи композиційної побудови гідроізоляційних розчинів проникної дії на основі портландцементу, солей електролітів і доведено, що для покращення їх характеристик і підвищення терміну використання необхідно:

- застосування солей-електролітів з оптимальним співвідношенням компонентів $\text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{Na}_2\text{SO}_4 : \text{NaNO}_3 = 4 : 5 : 1$, що забезпечує якісне просочування бетону та утворення кристалогідратних фаз AFt й

AFm у порах бетонної конструкції, що захищається;

- одночасне введення до портландцементу доменного гранульованого шлаку та природного цеоліту, причому доменний гранульований шлак сприяє зв'язуванню $\text{Ca}(\text{OH})_2$ з утворенням більшої кількості низькоосновних гідросилікатів кальцію, а природний цеоліт – оклюдуванню аніонів (CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , NO_3^-) у стабільні неорганічні комплекси та зв'язуванню розчинних солей і лугів (Na, K) у нерозчинні гідроалюмосилікати (анальцим, гмелініт, нозеан).

2. Досліджено механізм просочування гідроізоляційних матеріалів проникної дії в структуру бетону та доведено, що ступінь просочення можна контролювати шляхом зміни забарвлення індикатора залежно від pH розчину солей-електролітів.

Список використаних джерел

1. Сердюк, В. Р. Современные подходы к повышению водозащитных свойств цементных бетонов [Текст] / В. Р. Сердюк // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2012. – № 45. – С. 118-124.
2. Суханевич, М. В. Еластичні гідроізоляційні покриття на основі композиційних цементів [Текст] / М. В. Суханевич, А. Д. Зоріна, В. Протаковський // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2013. – № 48. – С. 83-88.
3. Саницький, М. А. Модифіковані композиційні цементы [Текст]: навч. посібник / М. А. Саницький, Х. С. Соболев, Т. Є. Марків. – Львів, 2010. – 130 с.
4. Кравченко, К. В. «Кальматрон» – необходимая и достаточная защита для бетона строительных конструкций [Текст] / К. В. Кравченко // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2011. – № 4. – С. 9-10.
5. Козачук, В. Битва народов с водой [Текст] / В. Козачук // Будівельні матеріали. – 2009. – № 8. – С. 14-19.
6. Пушкарева, Е. К. Гидроизоляционные покрытия проникающего действия на основе шлакосодержащих цементов, модифицированных природными цеолитами [Текст] / Е. К. Пушкарева, М. В. Суханевич, Е. В. Бондарь // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2014. – № 3/6(69). – С. 57-62.
7. Pushkarova, K.K. Penetrability of waterproofing mortars: composition, properties, application features / K.K. Pushkarova, M.V. Suhanevych, K.V. Bondar // Proc. of 19-th International Baustoftagung Tagungsbericht. IBAUSIL, Weimer, Germany, 16-18 September 2015. T.2. – P. 1273-1279.
8. Хедин, Р. Прочность и структура цементного раствора из смесей гидравлических компонентов [Текст] / Р. Хедин // Труды VI Междунар. конгресса по химии цемента (1975, Москва). – М.: Стройиздат, 1976. – Т. 2. – Кн. 1. – С. 283-288.

9. Горшков, В. С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ [Текст]: учебн. пособие / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.

10. Кривенко, П. В. Долговечность шлакощелочного бетона [Текст] / П.В. Кривенко, Е.К. Пушкарева. – К.: Будівельник, 1993. – 224 с.

Пушкарьова Катерина Костянтинівна, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри будівельних матеріалів Київського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (044)245-48-31.

E-mail: sribm_pushkarova@mail.ru.

Савченко Катерина Володимирівна, канд. техн. наук, асистент кафедри будівельних матеріалів Київського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (044)245-48-31. E-mail: bk_v_katrine@ukr.net.

Pushkarova K.K., Prof., DSc, Department of building materials, Kyiv National University of Civil Engineering & Architecture. Tel. (044)245-48-31. E-mail: sribm_pushkarova@mail.ru.

Savchenko K.V., Ph.D., assistant, Department of building materials, Kyiv National University of Civil Engineering & Architecture. Tel. (044)245-48-31. E-mail: bk_v_katrine@ukr.net.

Стаття прийнята 10.04.2017 р.

УДК 648.33

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОМІЦНИХ ЦЕМЕНТОБЕТОНІВ ДЛЯ ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА

**Доктори техн. наук І. П. Гамеляк, А. Г. Шургая,
кандидати техн. наук Я. М. Якименко, Н. П. Чиженко**

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЦЕМЕНТОБЕТОНОВ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

**Доктора техн. наук И. П. Гамеляк, А. Г. Шургая,
кандидаты техн. наук Я. М. Якименко, Н. П. Чиженко**

MATHEMATICAL MODELS OF THE PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH CEMENT – CONCRETE FOR ROAD CONSTRUCTION

**Dr. sc. sciences I.P. Gameliak, A.G. Shurgaya,
phd. tehn. J. M. Jakymenko, N. P. Chyzenko**

Ми представляємо математичні моделі властивостей високоміцних цементобетонів для дорожнього будівництва, які отримано на основі факторного планування експерименту і результатів попередніх досліджень. Досліджувався вплив кількості цементу і комплексної добавки на технологічні, фізико-механічні властивості і вартість дорожнього цементобетону. На основі запропонованої функції цілі та фізико-механічних даних у якості обмежень виконано оптимізацію складу дорожнього високоміцного цементобетону.

Ключові слова: математичні моделі, властивості, оптимізація, високоміцний бетон.

Мы представляем математические модели свойств высокопрочных цементобетонов для дорожного строительства, которые получены на основе факторного планирования

эксперимента и результатов предыдущих исследований. Исследовалось влияние количества цемента и комплексной добавки на технологические, физико-механические свойства и стоимость дорожного цементобетона. На основе предложенной функции цели и физико-механических данных в качестве ограничений выполнена оптимизация состава дорожного высокопрочного цементобетона.

Ключевые слова: математические модели, свойства, оптимизация, высокопрочный бетон.

We present the mathematical models of the properties of high-strength cement-concrete for road construction, which were received at the basis of factorial experiment planning and results from previous studies. Determination of the optimum compositions of cement concrete with a complex additive was carried out according to the following criteria: preservation of workability of concrete mixture over time, the contents of the entrained air, compressive strength and flexural strength, modulus of elasticity and economic efficiency. The results obtained became the basis for optimizing the composition of high-strength concrete used for construction of roads. The strength of road concrete tensile bending is the property that determines the fracture toughness, endurance and durability. There fore, the main criterion of optimization adopted by the tensile strength of concrete tensile bending. As constraints taken technological, physical, and mechanical properties of high-strength concrete and objective function of the cost of cement-concrete mixtures. As a result of optimization, is the optimal composition of the concrete for subsequent implementation in the construction of road pavement.

Keywords: mathematical model properties optimization, high-strength concrete.

Вступ. На сьогодні відомо багато методів проектування складу цементобетону. Змінюючи склад, технологію отримання цементобетону, структуру композитного матеріалу, можна отримати матеріал із заданими фізико-механічними та експлуатаційними властивостями. При цьому кількість варіантів складів, які відповідають вимогам, може бути достатньо великою. Визначити кількість можливих варіантів враховуючи вміст щебеню двох фракцій, піску, цементу і води становить $n!$ при n яти складових цементобетону:

$$5! = 120,$$

де $n!$ – кількість факторів, які приймаються в розрахунках.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Визначення раціонального складу суміші можливо з застосуванням сучасних методів планування експерименту і широкого використання математичних методів моделювання, які дають можливість оцінювати і порівнювати між

собою [1-3]. Загальна кількість технологічних факторів, які впливають на властивості цементобетону, може бути достатньо великою, тому необхідно виявити найбільш істотні фактори та цілеспрямовано діяти за допомогою них для досягнення заданих властивостей цементобетону або отримання складів мінімальної вартості при задоволенні технології та прийнятті нормативних вимог у якості обмежень. Для успішного використання математичних моделей велике значення має правильний вибір технологічних факторів, вибір критеріїв оптимізації та встановлення обмежень для цементобетону як багатокомпонентної системи [4-8].

Метою дослідження є встановлення математичних моделей властивостей високоміцних цементобетонів для дорожнього будівництва на основі експериментальних даних.

Задачі дослідження:

1) спланувати факторний експеримент з метою оцінки впливу вмісту цементу

і комплексної добавки на технологічні і фізико-механічні властивості дорожнього цементобетону;

2) на основі факторного планування експерименту і результатів попередніх досліджень отримати математичні моделі технологічних, фізико-механічні властивостей дорожнього цементобетону;

3) визначити адекватність моделей;

4) на основі запропонованої функції цілі та обмежень виконати оптимізацію складу дорожнього цементобетону.

Об'єкт дослідження. Склади цементобетону з комплексною добавкою ШАГ-ПА [9, 10]. Під час проведення досліджень використовували такі матеріали: портландцемент Кам'янець-Подільський – ПЦ І – 500 Р-Н; пісок річковий – $M_{кр} = 1,4$, насипна щільність – 1551 кг/м^3 (730 кг); щебінь гранітний фракції 5-10 мм –

насипна щільність 1430 кг/м^3 , середня щільність 2583 кг/м^3 , пустотність – 44,5 %, (360 кг); і фракції 10-20 мм – насипна щільність 1380 кг/м^3 , середня щільність 2571 кг/м^3 , пустотність – 46,3 % (840 кг).

Основна частина дослідження. Визначення оптимальних складів цементних бетонів із комплексною добавкою проводилось за такими критеріями: збереження легкоукладальності бетонної суміші з часом, вміст залученого повітря, міцності на стиск і згин, модуль пружності та економічної ефективності. Дослідження виконували з використанням двофакторного плану експерименту. Фактори та інтервали їх варіювання наведено в таблиці. Проведено статистичний аналіз та отримано експериментально статистичні моделі за допомогою програми STATISTICA, які наведено на рис. 1-5.

Таблиця

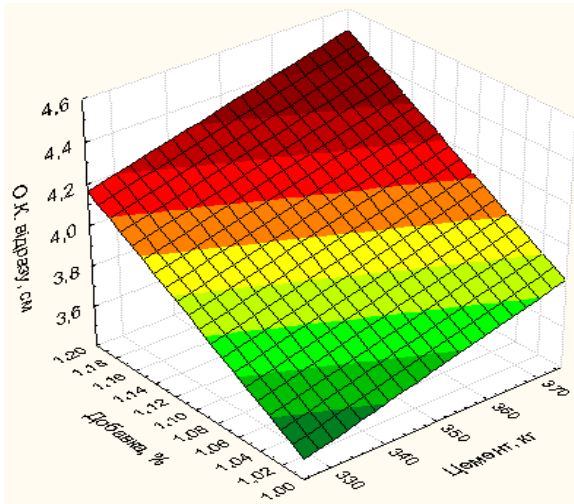
Фактори та інтервали їх варіювання

Номер фактора	Фактор		Значення фактора		
	натуральний вид	кодований вид	-1	0	+1
1	Витрата в'язучого, кг/м^3	X_1	325	350	375
2	Витрата комплексної добавки ШАГ-ПА, %	X_2	1,0	1,1	1,2

Важливим у технології будівництва монолітних цементобетонних покриттів є забезпечення збереження технологічних властивостей бетонної суміші (не менше 2 годин). Подано математичні моделі впливу комплексної добавки на збереження легкоукладальності бетонної суміші протягом 2 годин (рис. 1) і вмісту залученого повітря (рис. 2). Марка суміші з легкоукладальності становила П1.

За результатами, наведеними на рис. 3, а, всі склади характеризуються високою ранньою міцністю, тому нарізання деформаційних швів слід виконувати через 5...6 годин після укладання залежно від температури повітря.

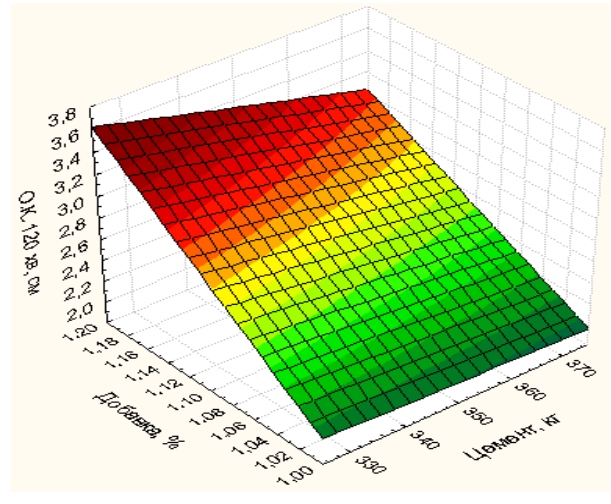
Модуль пружності для дорожнього цементобетону повинен складати $37\text{-}42 \cdot 10^3 \text{ МПа}$ (при 5-6 % залученого повітря). Всі склади задовольняють дану вимогу (рис. 4, б).



а)

$$OK_0 = -2 + 0,01 \cdot X_1 + 3,33 \cdot X_2 + 1,87 \cdot E - 15 \cdot X_1^2 + 5,91 \cdot E - 14 X_1 X_2 - 5,18 \cdot E - 11 \cdot X_2^2 ;$$

$$R^2 = 0,83$$

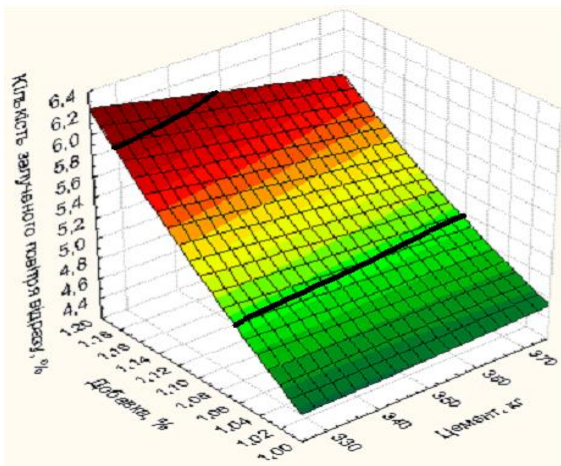


б)

$$OK_{120\text{хв}} = -21,58 + 0,05 \cdot X_1 + 24,17 \cdot X_2 + 1,57 \cdot E - 14 \cdot X_1^2 - 0,05 \cdot X_1 \cdot X_2 + 3,96 \cdot E - 10 \cdot X_2^2 ;$$

$$R^2 = 0,94$$

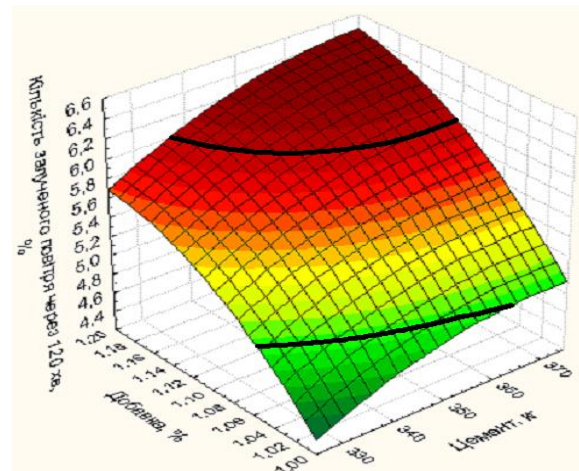
Рис. 1. Математична модель осадки конуса: а – відразу, б – через 120 хв



а)

$$V_0 = -10,98 + 0,05 \cdot X_1 + 7,68 \cdot X_2 + 1,07 \cdot E - 5 \cdot X_1^2 - 0,06 \cdot X_1 \cdot X_2 + 8,67 \cdot X_2^2 ;$$

$$R^2 = 0,94$$

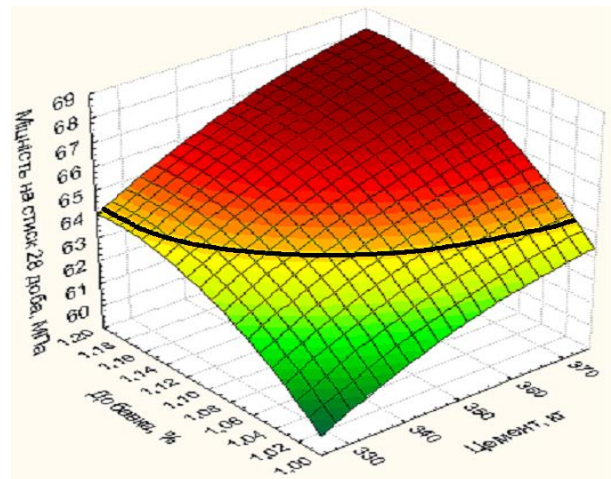
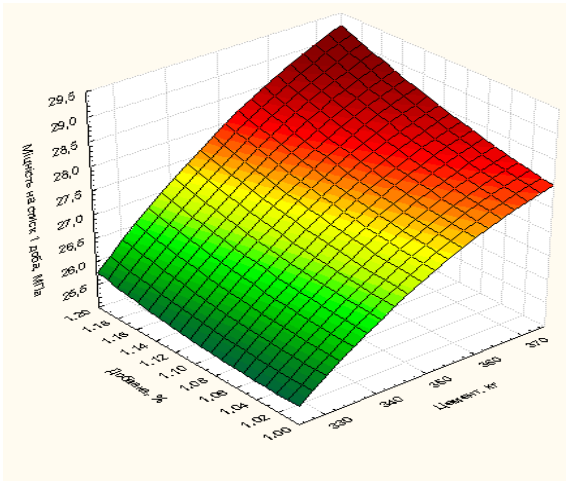


б)

$$V_{120} = -68,78 + 0,19 \cdot X_1 + 62,85 \cdot X_2 - 0,0003 \cdot X_1^2 + 0,02 \cdot X_1 \cdot X_2 - 28,5 \cdot X_2^2 ;$$

$$R^2 = 0,86$$

Рис. 2. Математична модель вмісту залученого повітря в суміші:
а – відразу; б – через 120 хв



а)

$$R^{100}_{ст} = -24,83 + 0,39 \cdot X_1 - 53 \cdot X_2 - 0,0006 \cdot X_1^2 + 0,09 \cdot X_1 \cdot X_2 + 11,67 \cdot X_2^2;$$

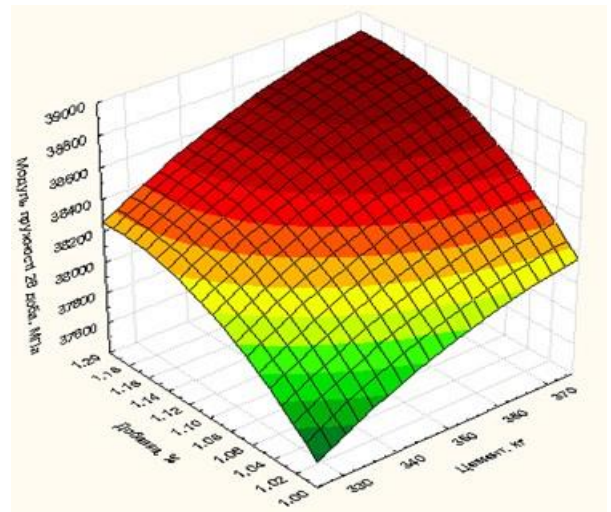
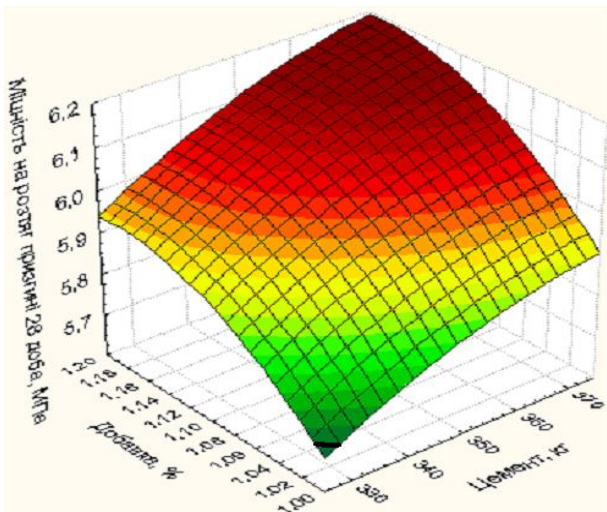
$$R^2 = 0,93$$

б)

$$R^{28}_{ст} = -226,21 + 0,66 \cdot X_1 + 272,67 \cdot X_2 - 0,0009 \cdot X_1^2 + 0,06 \cdot X_1 \cdot X_2 - 123,33 \cdot X_2^2;$$

$$R^2 = 0,89$$

Рис. 3. Математична модель міцності при стиску:
а – нарізання швів (1 доба); б – марочна міцність на стиск В50 (28 діб)



а)

$$R^{28}_{ст} = -12,29 + 0,04 \cdot X_1 + 17,11 \cdot X_2 - 5,82 \cdot 10^{-5} \cdot X_1^2 + 0,0032 \cdot X_1 \cdot X_2 - 7,67 \cdot X_2^2;$$

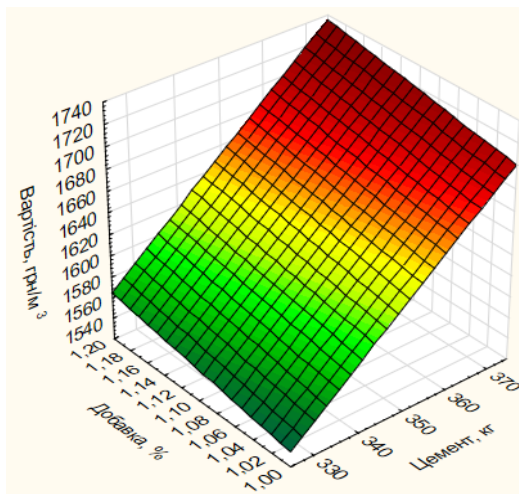
$$R^2 = 0,92$$

б)

$$E_{28} = -10631,36 + 113,87 \cdot X_1 + 45762,98 \cdot X_2 - 0,15 \cdot X_1^2 + 4,16 \cdot X_1 \cdot X_2 + 19861,81 \cdot X_2^2;$$

$$R^2 = 0,92$$

Рис. 4. Математична модель: а – марочної міцності на розтяг при згині ($B_{бтб} 4,4$);
б – модуля пружності



$$C_{ЦБС} = 201,98 + 4,28 \cdot X_1 - 0,60 \cdot X_2 - 0,002 \cdot X_1^2 + 0,47 X_1 \cdot X_2 + 0,17 \cdot X_2^2; R^2 = 0,99$$

Рис. 5. Математична модель вартості цементобетонної суміші з комплексною добавкою

Проведено техніко-економічне обґрунтування отримання високоміцного дорожнього цементобетону [11]:

$$C_{ЦБС} = C_{щ}V_{щ} + C_nV_n + C_{Ц}V_{Ц} + C_{Д}V_{Д} + C_{тех} + C_{пер} \Rightarrow \min, \quad (1)$$

де $C_{ЦБС}$ – питома вартість 1 м³ цементобетонної суміші, грн;

$C_{щ}$, C_n , $C_{Ц}$, $C_{Д}$ – вартість щебеню, піску, цементу і добавки, грн/м³ (із урахуванням цін на будівельні матеріали станом на 01.02.2017 р.);

$V_{щ}$, V_n , $V_{Ц}$, $V_{Д}$ – кількість щебеню, піску, цементу і добавки, яка необхідна для приготування 1 м³ цементобетону;

$C_{тех}$ – вартість технології приготування цементобетонної суміші (загальновиробничі та адміністративні витрати, амортизація обладнання, прибуток, ПДВ тощо);

$C_{пер}$ – вартість технології влаштування цементобетонного покриття (доставка суміші, заробітна плата, вартість машин і механізмів тощо).

Вартість високоміцного цементобетону не враховує витрати на доставку суміші.

Отримані результати досліджень стали основою для оптимізації складів цементобетону, що використовується для будівництва покриття доріг. Задачу

оптимізації сформульовано як задачу пошуку оптимальних складів бетонів із урахуванням реологічних властивостей сумішей, напружено-деформованого стану цементобетонів у конструкції та економічної ефективності.

Міцність дорожнього бетону на розтяг при згині – це властивість, яка визначає їх тріщиностійкість, витривалість і довговічність. Тому критерієм оптимізації прийнято границю міцності цементобетону на розтяг при згині: $B_{btb} \geq 4,4$.

Залежно від категорії дороги регламентується мінімально допустимий клас міцності бетону на стиск. Аналізуючи попередні результати досліджень міцності цементобетону на стиск, прийнято граничне значення класу міцності B50.

Бетонна суміш повинна зберігати свою легкоукладальність протягом двох годин і становити

$$1,0 \leq OK \leq 4,0. \quad (2)$$

Для забезпечення марки з морозостійкості цементобетон для будівництва покриття доріг повинен містити залучене повітря, вміст якого регламентовано в [12]:

$$5,0 \leq V \leq 6,0. \quad (3)$$

Гранична вартість складів дорожніх високоміцних цементобетонів становить 1700 грн/м³. Оптимізація складів цементобетонів для покриття доріг представлена на рис. 6.

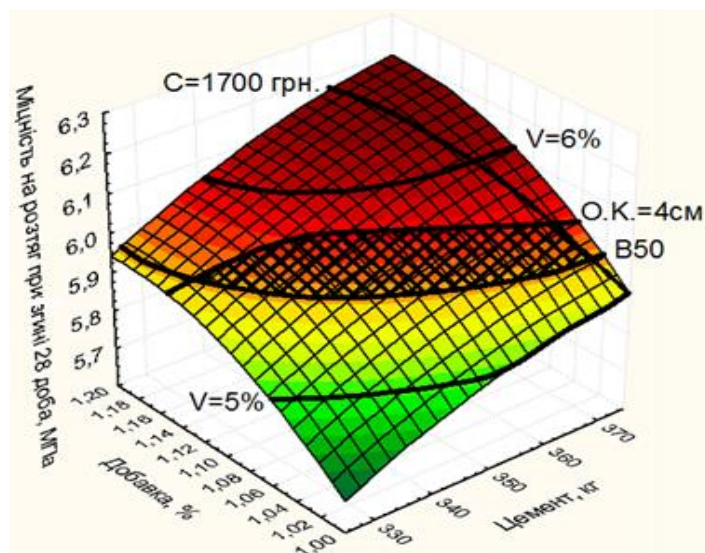


Рис. 6. Оптимізація складів високоміцних дорожніх цементобетонів

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Внаслідок виконання всіх етапів (підбір складу, виконання статистичної обробки даних) отримання математичних моделей технологічних, фізичних, механічних властивостей високоміцного цементобетону з використанням функції цілі у вигляді вартості цементобетонної суміші (1) та прийнятих фізико-механічних даних як обмежень виконано оптимізацію складів високоміцного цементобетону. Рекомендовано впроваджувати оптимальний склад з

легкоукладальністю ОК 1...4 см дорожнього цементобетону класу міцності на стиск С 45/50 за роботою [13], В 50, за роботою [14], на розтяг при згині $V_{\text{вб}} 5,2$, маркою з морозостійкості F200, водонепроникності W10 при витраті в'язучого – від 340 до 360 кг/м³ при середньому значенні 350 кг/м³ і комплексної добавки ШАГ-ПА від 1,05...1,12 при середньому значенні 1,1 % маси в'язучого. Дані склади рекомендуються для влаштування покриття жорсткого типу автомобільних доріг та аеродромів.

Список використаних джерел

1. Современные методы оптимизации композиционных материалов [Текст] / В. А. Вознесенский, В. Н. Выровой, В. Я. Керш [и др.]. – К.: Будівельник, 1983. – 144 с.
2. Вознесенский, В. А. Численные методы решения строительно-технологических задач [Текст] / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К., 1989. – 328 с.

3. Дворкін, Л. Й. Випробування бетонів і будівельних розчинів. Проектування їх складів [Текст]: навч. посібник / Л.Й. Дворкін, В.І. Гоц, О.Л. Дворкін. – К.: Основа, 2014. – 304 с.
4. Babak, Golchin. Optimization in producing warm mix asphalt with polymer modified binder and surfactant-wax additive. /Meor Othman Hamzah, Mohd Rosli Mohd Hasan // Construction and Building Materials. – 2017 – Vol. 141. – P. 578-588.
5. Гамеляк, І. П. Оптимізація складу зернистих сумішей методами лінійного програмування [Текст] / І.П. Гамеляк // Автотранспортний комплекс України в сучасних умовах: проблеми і шляхи розвитку: зб. наук. праць. – К.: УТУ, 1998. – С. 205-208.
6. Математичне моделювання та оптимізація будівельних композитів [Текст]: навч. посібник // С.Й. Солодкий, І.Д. Пелешко, Р.М. Русин [та ін.]. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2006. – 92 с.
7. Xudong, Chen. Analysis of mechanical properties of concrete cores using statistical approach / Shengxing Wu, Jikai Zhou // Magazine of Concrete Research. – 2013. – Vol. 65. – Issue 24. – P. 1463-1471.
8. Композиционные стротельные материалы и конструкции пониженной материалоемкости // В. И. Соломатов, В. Н. Выровой, В. С. Дорофеев [и др.]. – К.: Будівельник, 1991. – 145 с.
9. Порівняння сучасних добавок для високоміцного дорожнього бетону [Текст] / І. П. Гамеляк, А. Г. Шургая, Я. М. Якименко [та ін.] // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2015 – № 85. – С. 38-49.
10. Высокопрочный цементобетон с комплексными добавками для дорожного и аэродромного строительства [Текст] / А.Г. Шургая, И.П. Гамеляк, Я.Н. Якименко [та ін.] // Автомобильные дороги и мосты: науч.-техн. журнал. Республика Беларусь. – 2015. – № 2 (16).
11. Гамеляк, І. П. Математична модель оцінки ефективності використання високоміцного цементобетону для дорожніх та аеродромних покриттів [Текст] / І.П. Гамеляк, А.М. Дмитриченко // Автомобільні дороги. – 2015. – № 1-2 (243-244). – С.75-80.
12. ВБН В.2.3.-218-008-97. Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів. – К.: Укравтодор, 1997. – 218 с.
13. DIN EN 206-1:2001. Бетон. Частина 1. Технічні вимоги, експлуатаційні характеристики, виробництво й відповідність вимогам.
14. ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності.

Гамеляк Ігор Павлович, д-р техн. наук, професор кафедри «Аеропорти» Національного транспортного університету. Тел.: (050)352-41-24. E-mail: gip65@mail.ru.

Шургая Анзор Гівієвич, начальник лабораторії ТОВ «Мостогаїн 112». Тел.: (098)440-61-93.

Якименко Ярослав Миколайович, канд. техн. наук, головний інженер ТОВ «Мостогаїн 112». Тел.: (095)378-06-73. E-mail: yakymenkoy@mail.ru.

Чиженко Наталія Петрівна, асистент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Національного транспортного університету. Тел.: (050)735-50-80. E-mail: chyzhenko_np@ukr.net.

Gameliak Igor, Doctor of Engineering Science, Professor, Airports department, National Transport University. Tel.: (050)352-41-24. E-mail: gip65@mail.ru.

Shurgaya Anzor, Head of Laboratory, Mostozahin112. Tel.:(098)440-61-93.

Jakymenko Jaroslav, phd. tehn., chief Engineer, Mostozahin112. Tel.: (095)378-06-73. E-mail: yakymenkoy@mail.ru.

Chyzhenko Natalia, Road-Building Materials and Chemistry, National Transport University Department. Tel.: (050)735-50-80. E-mail: chyzhenko_np@ukr.net.

Стаття прийнята 10.04.2017 р.

УДК 625.151

АНАЛІЗ РОБОТИ КОРПОРАЦІЇ «КРТ» З УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОМІЖНИХ РЕЙКОВИХ СКРІПЛЕНЬ ТИПУ КПП-5

В. М. Суслов

АНАЛИЗ РАБОТЫ КОРПОРАЦИИ «КРТ» ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ ТИПА КПП-5

В.Н. Суслов

ANALYSIS OF THE WORK OF CORPORATION "KRT" FOR IMPROVEMENT OF INTERIM CONNECTION RAIL SLIDING TYPE KPP-5

V. M. Suslov

Представлено аналіз роботи корпорації «КРТ» з удосконалення проміжних рейкових скріплень типу КПП-5 та історію впровадження нових конструкцій скріплень пружного типу на українських залізницях. Перераховано ряд суттєвих переваг скріплення типу КПП-5. Викладено результати рішення щодо проведення додаткових дослідних випробувань скріплення.

Ключові слова: проміжні рейкові скріплення, пружність, верхня будова колії, прокладки, подовжня стійкість, знос.

Представлен анализ работы корпорации «КРТ» по совершенствованию промежуточных рельсовых скреплений типа КПП-5 и история внедрения новых конструкций скреплений упругого типа на украинских железных дорогах. Перечислен ряд существенных преимуществ скрепления типа КПП-5. Изложены результаты решения о проведении дополнительных исследовательских испытаний скрепления.

Ключевые слова: промежуточные рельсовые скрепления, упругость, верхнее строение пути, прокладки, продольная устойчивость, износ.

The analysis of the corporation "KRT" on improving intermediate rail fasteners KPP-5 type and history of the introduction of new structures such elastic fasteners on Ukrainian railways. Offered explanations on why the choice of construction fasteners type SB-3 and KPP-1 for use in medium and heavy conditions on domestic railways was wrong. Listed a number of significant advantages binding type KPP-5. The results of the decision on additional research trials binding. The information is given where the described fastening is laid, in what sections, how long this fastening gave after laying, and also what saved the cost of operating costs compared to the KB-65 type fastening.

Key words: intermediate rail fastenings, elasticity, top track structure, gaskets, longitudinal stability, wear.

Вступ. ТОВ НВП корпорація «КРТ» є виробником широкого асортименту деталей верхньої будови залізничної колії, але основне місце у виробництві і поставках

займають вузли безпідкладних пружних скріплень типу КПП-5 та КПП-5.К з анкерами закладними АЗ-2 та АЗ-2.К [9-12]. Інтелектуальна власність на технічну і

конструкторську документацію на всі деталі вузла належить підприємству і захищена патентами. Всього з початку 2000 року зареєстровано близько 20 патентів на винаходи, більше 50 патентів на промислові зразки, близько 20 патентів на корисні моделі та понад 10 патентів іноземних країн.

Основною метою підприємства є підвищення надійності та безпеки руху на залізницях України, впровадження сучасних технологій, направлених на підвищення якості продукції, використання високого професіоналізму та досвіду спеціалістів.

Аналіз попередніх досліджень. Ще в 1990-х роках команда молодих спеціалістів розробила та впровадила на українському ринку перші дослідні зразки пружних рейкових скріплень. Поштовхом до реалізації цього інноваційного рішення була необхідність модернізації технічного оснащення існуючих на той час українських залізниць [2-8]. Через застаріле колійне господарство швидкість потягів не перевищувала 60 км/год. В Україні, як і в країнах СНД, гостро існувала проблема і в забезпеченні якості вантажних перевезень, оскільки старі системи скріплень і шпали не давали можливості збільшити швидкість і вантажонапруженість поїздів. Пасажирські перевезення теж потребували підвищення швидкостей, покращення якості та безпеки руху.

Мета і задачі досліджень. Впровадження нових конструкцій скріплень пружного типу на українських залізницях почалося в кінці 1990-х років з укладання скріплень типу СБ-3 польської конструкції. У той же час з'явилась вітчизняна модифікація цього скріплення типу КПП-1 [1-4], яка є аналогом скріплення СБ-3.

Польське скріплення СБ-3 та КПП-1 на поліетиленових гладких прокладках товщиною 6 мм не забезпечує достатнього поздовжнього опору, оскільки має характеристику $r = 15,3$ кН/м погонного опору поздовжньому переміщенню

рейкової нитки. Ця характеристика задовольняє європейські залізниці, однак вона недостатня для українських умов експлуатації.

Одночасно з цим через високу жорсткість пластмасових прокладок розвивався значний знос опорних поверхонь залізобетонних шпал під рейками. Модернізований вітчизняний варіант такого скріплення типу КПП-1 має практично ті самі недоліки, що і СБ-3.

Актуальність. Випробування скріплень СБ-3 і КПП-1 в експлуатаційних умовах українських залізниць на Львівській, Одеській, Південно-Західній залізницях підтвердили ті самі недоліки, що були виявлені на експериментальному кільці ОАО «ВНИИЖТ» (м. Щербінка, Росія), і, крім того, виявили ще інші: тріщини і руйнування в підрейковій зоні практично всіх залізобетонних шпал, які розташовані в стиках, порушення стабільності положення рейко-шпальної решітки в плані і за рівнем, недостатній опір поздовжнім переміщенням при вантажонапруженості більше 20-25 млн ткм брутто/км на рік.

Тому слід зазначити, що вибір конструкції скріплень типу СБ-3 і КПП-1 для застосування при середніх та важких умовах експлуатації на вітчизняних залізницях був помилковий.

Основний матеріал. Вітчизняне пружне скріплення типу КПП-5 було розроблено у 2002-2003 роки як удосконалений аналог скріплення КПП-1 з метою усунення тих недоліків, що мало скріплення КПП-1, із урахуванням якостей найкращих пружних скріплень міжнародних стандартів закордонного виробництва типу «Пендрол» і «Фосло».

Разом з розробленням та впровадженням дослідного пружного скріплення типу КПП-5 інженерно-технічним персоналом підприємства спільно з конструкторським бюро головного управління колійного господарства ПАТ «Укрзалізниця»

інтенсивно розширювалось виготовлення нових елементів для верхньої будови колії. Одним з головних напрямків стала організація промислового виробництва втулок ізолюючих з термопластів для скріплень типу КБ та прокладок гумових для рейкової колії з рейками Р65. Вже з 2002 року серійно виготовлялись підрейкові прокладки, нашпальні прокладки для дерев'яних і залізобетонних шпал, нашпальні прокладки для стрілочних переводів. Гумові прокладки всіх типів виготовлялись з покращеними фізико-механічними показниками.

З 2000-2003 років було освоєно серійне виробництво шайб плоских типу ШП-1 для рейковий скріплень КБ, накладки стикові ізолюючі полімеркомпозиційні для рейок Р65, стики клеєболтові ізолюючі високоміцні КІВ65, пружний рейковий з'єднувач ПРЗ-65, накладки спеціальні для високоміцних стиків, вироби ізолюючі з термопластів, шуруп колійний ШК-7 та ШК-11, анкер до шпал поперечний типу АШП до дерев'яних і залізобетонних шпал і брусів, дюбелі для залізобетонних шпал і стрілочних брусів. Освоєно алюмотермічне зварювання рейок рейкової колії і стрілочних переводів. Роботи з розроблення пружних скріплень поповнювались новими технічними та конструкційними рішеннями. Було розроблено та впроваджено в експлуатацію проміжне скріплення типу КПП-12, нероздільне пружне скріплення КПП-7, проведено модернізацію скріплення КПП-5, внаслідок чого розпочато серійне виробництво скріплення КПП-5.М. Але базовими серійними є скріплення типу КПП-5 та КПП-5.К.

На залізничних коліях України дане скріплення широко використовується з 2002 року. Скріплення пройшло всі необхідні стадії розроблення, передбачені для конструкції колії, лабораторні та полігонні випробування, досліду експлуатацію і впроваджено в серійне виробництво. Розробленням елементів і

вузлів скріплення займались інженерно-технічний персонал нашого підприємства в тісній співпраці з фахівцями ПАТ «Укрзалізниця» та науковцями вищих навчальних закладів залізничного напрямку. Розроблено, погоджено та затверджено у профільних департаментах ПАТ «Укрзалізниця» більше 30 технічних умов, 46 програм і методик для різних видів випробувань і комплектів конструкторської документації на різні елементи і вузли пружних скріплень типу КПП-5, КПП-5.К та інших елементів верхньої будови колії.

Скріплення типу КПП-5 вкладається на залізничних ділянках з вантажонапруженістю до 60 млн ткм бруто/км на рік у кривих з радіусом не менше 350 м, з рейками типу Р65, Р50, УІС60, зі швидкістю руху до 160 км/год.

Всього на залізницях України прокладено більше 5000 кілометрів колії зі скріпленням типу КПП-5, у тому числі і на довгих плітях безстикової колії блок-ділянка-перегін довжиною до 22 км.

Разом з тим на Львівській залізниці з 2009 року прокладено близько 11 км колії зі скріпленням типу КПП-5.К, яке дозволяє регулювати ширину колії в кривих від 1520 до 1534 мм, у тому числі у 2016 році 5,5 км на напрямку Ясиня-Рахів. Скріплення КПП-5.К на ділянці Славсько-Лавочне знаходиться на дослідженні та спостереженні ПС-1 УЗ. Після пропускання 40 млн т бруто вантажу зауваження до конструкції скріплення та його елементів відсутні. Впровадження скріплення типу КПП-5.К дало можливість укласти однотипні скріплення в кривих радіусом від 200 м, що призводить до зменшення експлуатаційних витрат на поточне обслуговування колії.

За період експлуатації скріплення КПП-5 проявило себе надійним, мало-елементним і малозатратним. Економія експлуатаційних затрат порівняно зі скріпленням типу КБ-65 складає близько 19 тис. дол. США на 1 км колії.

Рівень виробництва, потужна лабораторно-випробувальна база, використання високотехнологічного обладнання забезпечує потрібний рівень якості продукції. Усі деталі вузла та вузол у цілому сертифіковані в Системі сертифікації УкрСЕПРО. На підприємстві впроваджена та діє сертифікована система управління якістю за ДСТУ ISO 9001:2009. Виробництво та постачання елементів і деталей верхньої будови колії сертифіковано Органом з сертифікації в системі TÜV SÜD Management Service GmbH. Окрім ПАТ «Укрзалізниця» продукція поставлялась у Республіку Білорусію, Росію, Казахстан та інші країни СНД.

Накопичений досвід експлуатації скріплення КПП-5 свідчить про високу надійність виготовленої продукції, оскільки на окремих ділянках залізниці України зі скріпленням КПП-5 напруження становить від 400 до 800 млн т бруто пропущеного вантажу.

Скріплення типу КПП-5 має ряд суттєвих переваг порівняно зі скріпленням типу КПП-1.

Однією з якостей, що відрізняють скріплення КПП-5, є застосування нової конструкції пружної клеми КПП-5.2, яка працює під навантаженням на одночасну деформацію вигину і скручування, що забезпечує кращі пружні властивості клеми. На відміну від клем, скріплення типу СБ-3 і КПП-1 при сприйнятті навантажень від рейки працюють лише на вигин.

Іншою, і ще більш важливою, новою якістю скріплення КПП-5 є застосування рифленої полімерної прокладки ПРП-2.1 товщиною 8 мм (замість плоскої поліетиленової прокладки товщиною 6 мм у скріпленнях СБ-3 і КПП-1), що забезпечило покращення пружних властивостей вузла скріплення в цілому приблизно в 1,5 разу. І ще більш важливим є те, що нова конструкція прокладки забезпечила збереження пружних

властивостей на достатньо тривалий період прикладення вертикального навантаження.

Скріплення типу КПП-5 за своїми характеристиками забезпечує достатню і надійну роботу щодо поздовжньої стійкості рейкових ниток при впливі сил угону і температурних сил.

Починаючи з жовтня 2015 року наше підприємство ініціювало проведення додаткових лабораторних досліджень і науково-дослідних робіт:

- НДР на тему «Проведення досліджень з можливості застосування шпал залізобетонних попередньо напружених колії 1520 мм типу СБ3 зі скріплення проміжними пружними типу КПП-5 на ділянках підвищеної вантажонапруженості та розробка рекомендацій», виконана кафедрою УкрДУЗТ;

- НДР на тему «Дослідження впливу вантажонапруженості й плану колії на працездатність пружного проміжного скріплення типу КПП-5 та шпалу типу СБ3 і розробка рекомендацій щодо її удосконалення», виконана НКТБ КГ УЗ.

Результати обстежень елементів скріплення типу КПП-5 на ділянках колії з підвищеною вантажонапруженістю, висновки та рекомендації, викладені в науково-дослідних роботах, є цілком обґрунтованою підставою для розширення експлуатаційних випробувань скріплення КПП-5 на ділянках з вантажонапруженістю до 100 млн т бруто.

У період з 2007 по 2010 роки було проведено полігонні випробування скріплення КПП-5 в ОАО «ВНИИЖТ» на експериментальному кільці м. Щербінка Московської області. Станом на 20.08.2010 р. при вантажонапруженості близько 300 млн ткм бруто/км на рік по скріпленню КПП-5 пропущено 635,7 млн т бруто вантажу.

Основним висновком за результатами полігонних випробувань є прогнозований ресурс працездатності рейко-шпальної решітки зі скріпленням типу КПП-5 не менше 1000 млн т бруто.

Результати випробувань елементів скріплень на експериментальному кільці у важких експлуатаційних умовах дозволили виявити найбільш слабкі елементи скріплення, проаналізувати причини виходу з ладу перших модифікацій прокладки ПРП-2.1, вкладиша ізолюючого ВІП-65.1 та прийняти рішення щодо вдосконалення конструкції прокладки підрейкової та вкладиша ізолюючого. Внаслідок цього спільно з НКТБ ЦП УЗ було розроблено КД, виготовлено дослідні зразки, проведено експлуатаційні випробування на колії та введено в постійну експлуатацію рішенням комісії ПАТ «Укрзалізниця» в листопаді 2011 р. прокладки ПРП-2.11 та ПРП-3.2 удосконаленої конструкції, які виготовляються з поліуретану зі збільшеною площею опирання рейки на прокладку, і введено в серійне виробництво вкладиш ізолюючий ВІП-65.11 зі збільшеною довжиною ніжки, а згодом у листопаді 2015 року 10-міліметрова прокладка ПРП-3.2.1.

Результати спостережень за експлуатацією вдосконалених елементів скріплень КПП-5 за критеріями зносу, які регулярно проводяться колієобстежувальною станцією ПС-1 ЦП УЗ, свідчать про суттєве покращення експлуатаційних показників скріплення КПП-5 та його елементів.

2016 рік став для нашого підприємства продовженням реалізації стратегічного курсу, спрямованого на покращення експлуатаційних властивостей базових елементів різних видів скріплень (КБ, КПП-5, КПП-5.К), і лабораторних випробувань елементів скріплень, виготовлених з різних матеріалів.

Так, у червні – жовтні 2016 року в науково-технічному центрі Інституту чорної металургії НАН України, м. Дніпро, за участю НКТБ КГ УЗ було проведено випробування зразків прокладок підрейкових типу ПРП-3.2, виготовлених з поліуретанів на основі складних поліефірів (90А, 95А) і гуми з текстильним кордом.

Випробування проводились за програмою і методикою типових випробувань, розробленою НКТБ.

Було перевірено працездатність скріплення типу КПП-5-65 з дослідною прокладкою після навантаження 42 млн циклів, що еквівалентно пропусканню 1000 млн т брутто вантажу.

Крім того, було перевірено працездатність дослідних і контрольних прокладок, виготовлених з різних матеріалів після циклічного навантаження, еквівалентного пропусканню 1000 млн т брутто вантажу, і досліджено поздовжнє зусилля, що призводить до зсуву рейки (з використанням трьох типів прокладок, виготовлених з різних матеріалів).

За результатами випробувань складено відповідні протоколи, які є підтвердженням того, що всі елементи скріплень КПП-5 зберігають свою працездатність після сприймання навантажень, еквівалентних 1000 млн т брутто пропущеного вантажу.

Це, разом із результатами експлуатаційних напрацювань на коліях ПАТ «Укрзалізниця» є підтвердженням та обґрунтуванням прийняття рішення щодо збільшення ресурсу працездатності скріплення КПП-5 та його елементів до 800 млн т брутто пропущеного вантажу. Найбільш показовою є ділянка колії довжиною 800 м зі скріпленням КПП-5, яке було укладено 25.06.2003 р. на ст. П'ятихатки. Вантажонапруженість по ділянці становить 35,3 млн ткм брутто/км на рік, пропущений тоннаж на 01.03.2017 р. становить 796,2 млн т брутто. Усі елементи скріплення працюють стабільно, розлади колії відсутні.

У вересні 2016 року нами було замовлено виконання НДР на тему «Аналіз роботи проміжного скріплення типу КПП-5 та визначення шляхів покращення експлуатаційного ресурсу його елементів». Робота виконувалась на кафедрі колії та колійного господарства УкрДУЗТ.

Метою НДР було проведення аналізу силової роботи вузла проміжного

рейкового скріплення КПП-5, експериментальне визначення пружних характеристик елементів проміжних скріплень КПП-5, прогнозна оцінка змін жорсткостей вузлів скріплення КПП-5 при застосуванні прокладок ПРП-2.11, дослідження можливості відновлення працездатності вузла скріплення КПП-5 за допомогою 9- і 10-міліметрових ремонтних прокладок ПРП-3.2.1.

За результатами виконаних розрахунків відновлення працездатності вузлів скріплення КПП-5 за допомогою ремонтних 10-міліметрових прокладок ПРП-3.2.1 надано рекомендації та можливі варіанти виконання відновлювальних робіт на дільницях, де були укладені в колію підрейкові прокладки ПРП-2.1, розраховано порядок укладання підрейкових ремонтних прокладок і довжина перехідних дільниць.

У грудні 2016 року з метою підтвердження основних технічних показників скріплення КПП-5, а саме зусилля притиснення рейки до шпали, зусиль, що призводять до зсуву рейки, твердості поверхні клеми після термообробки та зміни показників базового розміру "S" на кафедрі колії та колійного господарства УкрДУЗТ було проведено лабораторні дослідження. Результати випробувань оформлені протоколом і підтвердили відповідність основних показників вимогам технічних умов на скріплення та його елементи.

Крім вдосконалення елементів пружних скріплень і проведення НДР, наше підприємство продовжує роботу з покращення якості та збільшення ресурсу працездатності гумових прокладок для рейкових колій ПАТ «Укрзалізниця».

Так, у 2016 році на наше замовлення НКТБ КГ УЗ було розроблено конструкторську документацію на виготовлення кордових гумових прокладок ПРЦП-4.К та ПНЦП-31.К для залізничної колії зі скріпленням КБ, виготовлено дослідну партію кордових прокладок, проведено

приймальні випробування згідно з програмою та методикою, розробленою НКТБ КГ, і з 1 червня 2016 року розпочато експлуатаційні випробування прокладок ПРЦП-4.К, з 1 вересня 2016 року прокладок ПНЦП-31.К на ділянках регіональної філії «Одеська залізниця» (перегін Колосівка-Березівка).

У листопаді 2016 року незалежна Центральна заводська лабораторія, яка проводить випробування на договірних умовах на замовлення нашого підприємства, була оснащена новим обладнанням, а саме гідравлічним пресом з пульсатором, комп'ютерним керуванням та архівуванням процесів випробувань. Це надало можливість проводити в повному об'ємі всі види динамічних і статичних випробувань вузлів пружних скріплень різних типів і в різній комплектації, комплектів ізолюючих стиків НІС і високоміцних ізолюючих стиків КІВ65. Рішенням Національної агенції з акредитації в Україні (НААУ) у січні 2017 року було розширено сферу акредитації ЦЗЛ на зазначені види випробувань.

Висновки. Підсумковою подією за результатами науково-практичної діяльності підприємства за 2015-2016 роки стала участь у засіданні секції «Будівництва, утримання та розвитку інфраструктури» Науково-технічної ради ПАТ «Укрзалізниця» у лютому 2017 року. На засіданні секції розглянуто результати звітів про науково-дослідні роботи, які виконано на замовлення нашого підприємства, і питання експлуатації пружних скріплень типу КПП-5 та КПП-5.К в різних умовах експлуатації.

З метою розширення сфери застосування скріплень секцією прийнято рішення щодо проведення додаткових дослідних випробувань скріплення КПП-5 з метою визначення зносостійкості його конструктивних елементів в умовах експлуатації з вантажнонапруженістю 80-96 млн ткм бруто/км на рік.

Для проведення дослідних випробувань щодо можливості впровадження експлуатації безстикової колії в кривих ділянках радіусом 200-350 м із скріпленням КПП-5.К прийнято рішення укласти у 2017 році рейко-шпальну решітку на залізобетонних шпалах з регулюванням ширини колії.

Для порівняння експлуатаційних витрат пружних скріплень прийнято рішення про укладання двох кривих ділянок з радіусом 450-650 м і з рівними умовами експлуатації зі скріпленням типу КПП-5 та КПП-5.К та провести експлуатаційні випробування.

Список використаних джерел

1. Говоруха, В. В. Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рельсовых скреплений [Текст]: монография / В. В. Говоруха. – Днепропетровск: Лира-ЛТД, 2005. – 388 с.
2. Карпущенко, Н. И. Совершенствование рельсовых скреплений [Текст] / Н. И. Карпущенко, Н. И. Антонов. – Новосибирск: Изд-во СГУСа, 2003. – 300 с.
3. Ладыгин, Ю. Н. Лабораторные испытания рельсовых скреплений [Текст] / Ю. Н. Ладыгин, Ю. М. Стойда // Путь и путевое хозяйство. – 2005. – № 12. – С. 8-12.
4. Говоруха, В. В. Упругие элементы промежуточных рельсовых скреплений [Текст] / В. В. Говоруха // Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2002. – Вып. 31. – С. 78-94.
5. Твердомед, В. М. Проміжні рейкові скріплення [Текст] / В. М. Твердомед // Зб. наук. праць Київ. ун-ту економіки і технологій трансп. – К.: КУЕТТ, 2003. – Вип. 1-2. – С. 36-41.
6. Говоруха, В. В. Современные конструкции промежуточных рельсовых скреплений [Текст] / В. В. Говоруха // Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2002. – Вып. 31. – С. 49-77.
7. Скріплення проміжні пружні типу КПП-5 [Текст]: ТУ У 35.2-30268559-118:2009. – 41 с.
8. Вкладиші ізолюючі підпружні з термопластів для рейок типів Р65, Р50, УІС60 і скріплення проміжного типу КПП-5 [Текст]: ТУ У 35.2-30268559-049:2007. – 43 с.
9. АКТ обстеження ділянки колії зі скріпленням типу КПП-5 на Львівській залізниці по Мукачівській дистанції колії ст. Воловець [Текст] / Комісія у складі: Ю. О. Макаров, В. П. Третьяков, Д. О. Дроздов, В. В. Грубов. – Дніпропетровськ, 2011. – 5 с.
10. Рибкін, В. В. Оцінка втомлено-міцнісних характеристик елементів вузла проміжного рейкового скріплення типу КБ та КПП-5 при повторно-змінних циклах навантаження конструкції [Текст] / В. В. Рибкін, І. О. Бондаренко, Р. В. Маркуль // Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми взаємодії колії та рухомого складу». – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2013. – С. 39.
11. Ладыгин, Ю. Н. Лабораторные испытания рельсовых скреплений [Текст] / Ю. Н. Ладыгин, Ю. М. Стойда // Путь и путевое хозяйство. – 2005. – № 12. – С. 8-12.
12. Bogacz, R. On new effects of wheel-rail interaction/ [Text] R. Bogacz, R. Konowrocki // Archive of Applied Mechanics. – 2012. – Т. 82. – №. 10-11. – P. 1313-1323.
13. Kaiyun Wang, Chao Huang, Wanming Zhai, Pengfei Liu, Shen Wang. Progress on wheel-rail dynamic performance of railway curve negotiation // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). – 2014. – № 1. – P. 209-220.

Суслов Володимир Миколайович, головний інженер ТОВ Корпорація «КРТ». Тел.: +380322375442.

Suslov Volodymyr Mykolayovych, Chief Engineer Corporaton KRT, Ltd. Tel.: +380322375442.

Стаття прийнята 11.04.2017 р.

УДК 624.046.5

ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕМІЩЕНЬ ВУЗЛІВ ПРОСТОРОВОЇ СТРУКТУРНО-ВАНТОВОЇ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОЇ КОНСТРУКЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМ ШЛЯХОМ

Д-р техн. наук Л. І. Стороженко, канд. техн. наук Г. М. Гасій

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ УЗЛОВ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРНО-ВАНТОВОЙ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОНСТРУКЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ПУТЕМ

Д-р техн. наук Л. И. Стороженко, канд. техн. наук Г. М. Гасий

DETERMINATION DISPLACEMENT OF NODES OF THE STEEL AND CONCRETE COMPOSITE CABLE SPACE FRAMES BY EXPERIMENTATION

Dr. of techn. sciences L. I. Storozhenko, Cand. of techn. sciences G. M. Gasii

У статті наведено результати експериментального дослідження просторової структурно-вантової сталезалізобетонної аркової конструкції прогоном 5,3 м, яка збиралася з гнучкого нижнього пояса, виготовленого з відрізків сталевого прокату круглого перерізу, і просторових сталезалізобетонних модулів, які склалися з залізобетонної плити і сталевий просторової решітки. Наведено особливості методики досліджень і засоби вимірювання переміщень. Встановлено, що досліджувана конструкція впродовж усього випробовування продемонструвала сумісну роботу всіх її складових.

Ключові слова: сталезалізобетон, структура, ванта, переміщення, напруження, деформація, модуль.

В статье приведены результаты экспериментального исследования пространственной структурно-вантовой сталежелезобетонной арочной конструкции пролетом 5,3 м, которая была собрана с гибкого нижнего пояса, изготовленного из отрезков стального проката круглого сечения, и пространственных сталежелезобетонных модулей, которые состояли из железобетонной плиты и стальной пространственной решетки. Приведены особенности методики исследований и средства измерения перемещений. Установлено, что исследуемая конструкция в течение всего испытания продемонстрировала совместную работу всех ее составляющих.

Ключевые слова: сталежелезобетон, структура, ванта, напряжение, деформация, перемещение, модуль.

The article presents methodology specifics of experimental studies of the effectiveness of constructive solutions for new space systems. Research methodology developed by the example of full-scale prototype of the steel and concrete composite cable space frame in span 5.3 m, which includes the space steel and concrete composite modules and a flexible bottom chord. The methodology provides to study movement of the prototype by testing in the uniform load applied in nodes. It also provides the definition of displacement of nodes of the prototype. According to the developed technique, stressed state of the full-scale prototype of the steel and concrete composite cable space frame was studied with a mechanic method. Schemes of arrangement of equipment and devices for measuring displacements of the full-scale prototype of the steel and concrete composite cable space frames are presented. Drawings of full-scale prototype of the steel and concrete

composite cable space frame are presented. The specifics of research method and measurement tools are described.

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

Вступ. Просторова структурно-вантова сталезалізобетонна конструкція є новим збірним композитним покриттям, яке збирається зі сталезалізобетонних модулів і гнучкого нижнього пояса. Сутність конструкції полягає в особливостях її будови, конструктивному вирішенні та способі з'єднання її складових. Запропоноване рішення дозволяє ефективно та раціонально використовувати будівельні матеріали.

Огляд останніх джерел і публікацій показав, що з-поміж нині існуючих композитних рішень просторових конструкцій найчастіше виділяють сталезалізобетонні конструкції, особливість яких полягає в поєднанні залізобетонних плит зі сталевими стрижневими елементами. У роботі [1] досліджено міцність і деформативність сталезалізобетонної шпренгельної конструкції. Верхній пояс такої конструкції виготовляється зі сталевих балок, що об'єднані з монолітною залізобетонною плитою за допомогою анкерів.

У роботі [2] пропонується удосконалене рішення прогонової конструкції, яка складається з металевих модульних елементів, залізобетонної плити, верхнього і нижнього поясів. Конструкція відрізняється від попереднього рішення способом забезпечення сумісної роботи залізобетонної плити зі сталеву складовою.

Існує досвід будівництва композитних просторових конструкцій покриття споруд транспортних галерей із сталезалізобетонних ферм, несуча здатність яких збільшена на 20 % за рахунок додаткового стиску плити [3]. Несучу здатність просторових сталезалізобетонних конструкцій також можна підвищувати за рахунок попереднього напруження елементів [4].

Серед просторових конструкцій відомі структурні сталеві покриття з залізо-

бетонними плитами, які виконують роль верхнього пояса. До переваг таких конструкцій відносять низькі витрати сталі [5].

Зважаючи на викладене, ідея об'єднати новим способом в одну цілісну конструкцію традиційні елементи – плити і стрижні – є оригінальною. Таке рішення дозволить вирізняти запропоновані конструкції з-поміж існуючих у новий тип покриття. Розроблена конструкція покриття позбавлена недоліків, властивих аналогам. Концепція запропонованого рішення полягає в синтезі досвіду і нових досягнень, використанні модульних елементів, трудомісткість та складність технології виготовлення, збирання та монтаж яких є меншими, ніж в аналогів [6].

Ефективність рішення просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції та її складових елементів – модулів – досліджена та обґрунтована [7-12].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. З аналізу попередніх праць видно, що недослідженим залишається питання вивчення особливостей роботи запропонованих конструкцій на великомасштабних зразках.

Постановка завдання. Експериментальним шляхом встановити вузлові переміщення запропонованої просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції під навантаженням.

Основним завданням експериментального дослідження просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції є отримати дані, які підтверджуватимуть достовірність результатів попередніх експериментальних і теоретичних досліджень, а також дозволять обґрунтувати ефективність рішення запропонованої конструкції, вузлів і способу забезпечення сумісної роботи сталевих і бетонних елементів.

Основний матеріал і результати.

Дослідний зразок просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції прогоном 5,3 м (рис. 1) складався з семи просторових сталезалізобетонних модулів (рис. 2, 3), які були з'єднані між собою за допомогою болтів і гнучкими стрижневими елементами (рис. 4). Гнучкі стрижневі елементи, з'єднуючи просторові модулі, утворювали нижній пояс.

Просторовий сталезалізобетонний модуль складався з двох частин: залізобетонної плити і сталеві просторової решітки, а гнучкий стрижневий елемент – лише зі сталі.

Сталеві частини та деталі дослідної конструкції виготовлялися на заводі металоконструкцій у м. Полтава, а бетонування – у лабораторії з виготовлення будівельних конструкцій в умовах, близьких до реального будівництва.

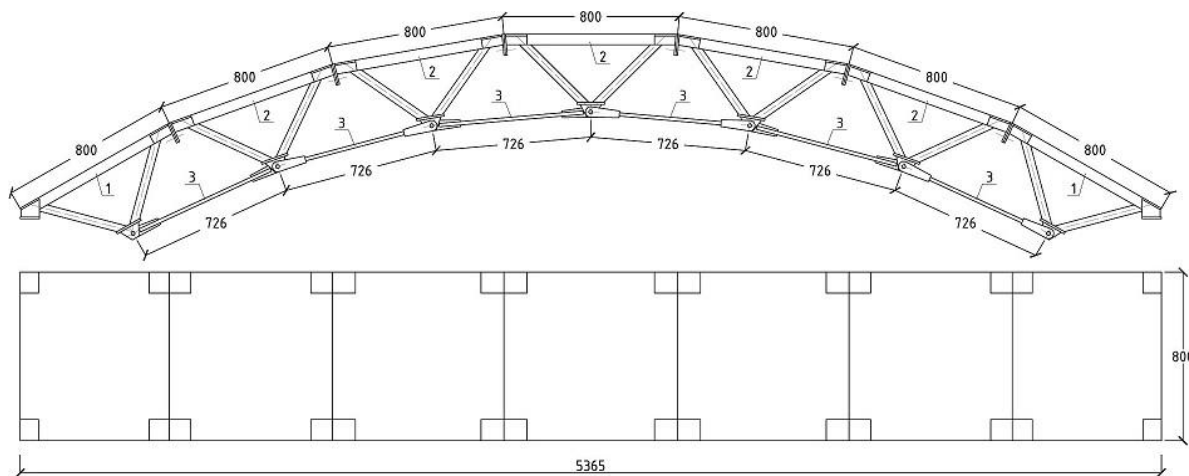


Рис. 1. Просторова структурно-вантова сталезалізобетонна аркова конструкція покриття: 1 – крайній модуль; 2 – типовий модуль; 3 – гнучкий стрижневий елемент нижнього пояса

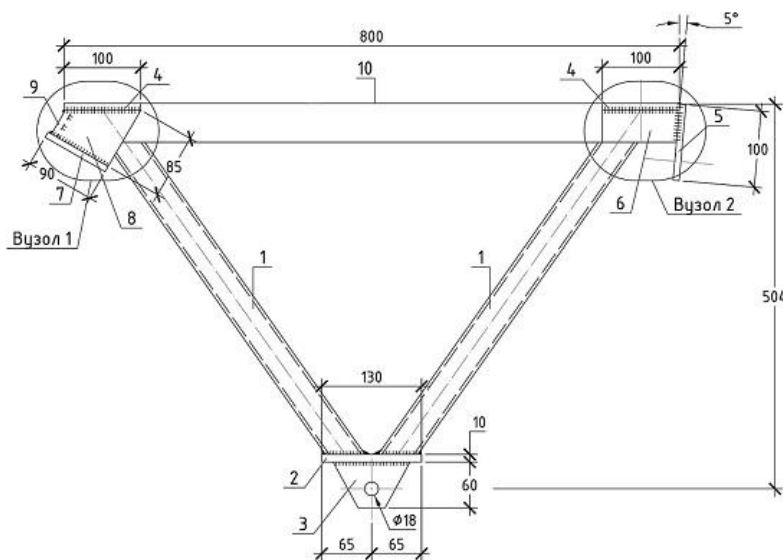


Рис. 2. Крайній просторовий сталезалізобетонний модуль: 1 – сталеві труба Ø42; 2, 3 – пластини товщиною 10 мм; 4, 5, 6, 7, 8, 9 – пластини товщиною 9 мм; 10 – залізобетонна плита товщиною 50 мм

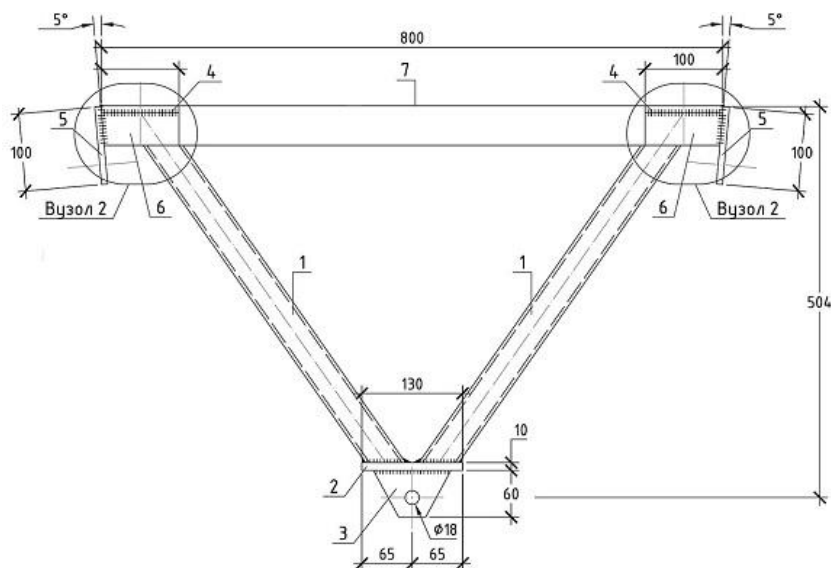


Рис. 3. Типовий просторовий сталезалізобетонний модуль:
 1 – сталевая труба Ø42; 2, 3 – пластины товщиною 10 мм;
 4, 5, 6 – пластины товщиною 9 мм; 7 – залізобетонна плита товщиною 50 мм

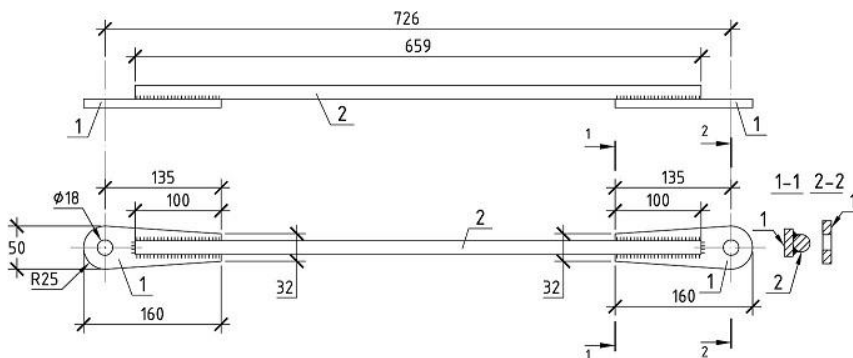


Рис. 4. Гнучкий стрижневий модуль:
 1 – деталь з листової сталі; 2 – прокат сталевий гарячекатаний круглий

Просторові сталезалізобетонні модулі мали розміри на плані 0,8×0,8 м та висоту 0,5 м. Залізобетонна плита модуля мала товщину 50 мм та виготовлялася з бетонної суміші на цементі марки М400 та армувалася сіткою.

З'єднання сталевих деталей і елементів між собою виконувалося за допомогою ручного дугового зварювання в заводських умовах з дотриманням усіх правил контролю якості зварного з'єднання. Виконання зварювальних робіт

сталевих деталей і всіх операцій, пов'язаних з цим, здійснювалося відповідно до чинних вимог.

Після виконання усіх зварювальних робіт, перевірки якості зварного з'єднання та відповідності фактичних геометричних розмірів проектним було виконано бетонування верхнього пояса. Бетонування модулів здійснювалося в перевернутому положенні з улаштуванням опалубки лише по контуру плити (рис. 5).



Рис. 5. Бетонування верхнього пояса просторового сталезалізобетонного модуля

Бетонна суміш готувалася в бетонозмішувачі примусової дії. Ущільнення бетонної суміші в опалубці здійснювалося шляхом ручного штикування. Тужавіння бетонної суміші відбувалося в лабораторних умовах у неопалюваному павільйоні в осінній період при сприятливих умовах і задовільних показниках мікроклімату приміщення.

Після набирання бетоном проектної міцності була знята опалубка, а зразки транспортувалися в лабораторію для збирання експериментальної конструкції. Слід також зазначити, що при виготовленні, бетонуванні і транспортуванні

конструкції застосовувалися лише типові операції, виконання яких не потребувало використання спеціальних чи унікальних пристосувань, засобів або приладів.

Перед збиранням конструкції просторові сталезалізобетонні модулі були розкладені в ряд на рівній поверхні, це було зроблено для того, щоб полегшити процедуру збирання.

Збирання дослідної конструкції здійснювалося на рівні підлози. Для цього просторові сталезалізобетонні модулі поверталися й укладалися на дерев'яні підкладки бічною поверхнею плити, тобто на ребро (рис. 6).



Рис. 6. Збирання просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції

При збиранні дослідної конструкції болти відразу не затягувалися до проектного натягу (рис. 7), це робилося після того, як конструкція була зібрана повністю, тільки після цього болти затягувалися повністю. Це дало змогу шляхом

почергового затягування болтів нівелювати неточності виготовлення модулів.

Потім дослідна конструкція з положення на ребрі монтувалася на нерухомі опори та закріплювалася. Монтування конструкції здійснювалося за допомогою кран-балки вантажопідйомністю 1 т (рис. 8).

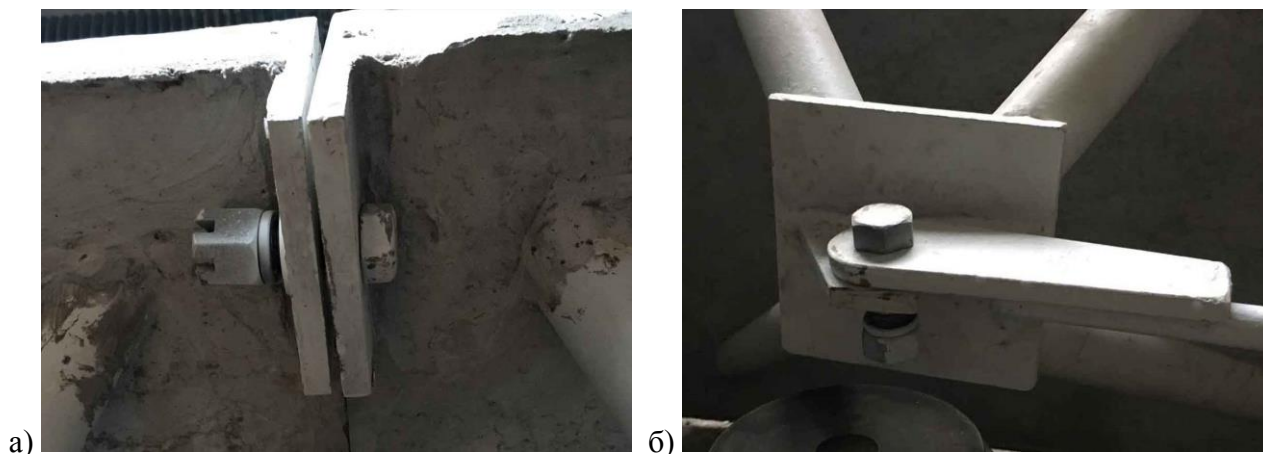


Рис. 7. Вузлове з'єднання просторових модулів у площині верхнього (а) і нижнього пояса (б) на стадії збирання дослідного зразка



Рис. 8. Просторова структурно-вантова сталезалізобетонна конструкція в процесі монтажу

Конструкція устанавлювалася на опори як вільно обперта з накладанням на опорні вузли в'язей, які перешкоджали вертикальним переміщенням опорних вузлів з обох боків і горизонтальним переміщенням з одного боку. Після

установлення дослідного зразка на опори було отримано просторову структурно-вантову сталезалізобетонну конструкцію прогоном 5,3 м, яка була готова до випробувань (рис. 9).



Рис. 9. Просторова структурно-вантова сталезалізобетонна конструкція в змонтованому стані

Методика експериментального дослідження передбачала випробування дослідної конструкції на дію тимчасового навантаження.

Зважаючи на те, що габарити дослідної конструкції були значні, то застосування стандартного лабораторного обладнання, зокрема пресів для створення та прикладення тимчасового вузлового навантаження на конструкцію, було неможливим. Тому завантаження дослідного зразка було здійснено за допомогою металевих вантажів, що мали

форму дисків. Для прикладення до дослідної конструкції ваги у формі металевих дисків було застосовано шість траверс, кожна з яких складалася з перекладины і двох штанг. З одного боку штанги був зроблений шарнір, який дозволяв штанзі обертатися, а з іншого боку був зроблений упор у вигляді диска, на який укладалися вантажі.

Такі траверси укладалися перекладиною на верхній пояс конструкції в місцях з'єднання просторових сталезалізобетонних модулів (рис. 10).



Рис. 10. Розміщення траверс, через які прикладалося навантаження

Для фіксування та запобігання зсуву або переміщення траверси під час завантаження конструкції в місцях їх укладання було улаштовано упори. Завдяки такому рішенню випробування запропоно-

ваної конструкції на дію тимчасового навантаження за схемою відповідно до методики експериментального дослідження стало можливим.

Дослідження експериментального зразка на дію навантаження здійснювалося ступінчасто в декілька стадій.

Для вимірювання переміщень вузлів були використані механічні прогиноміри Аістова типу БПАО (рис. 11).

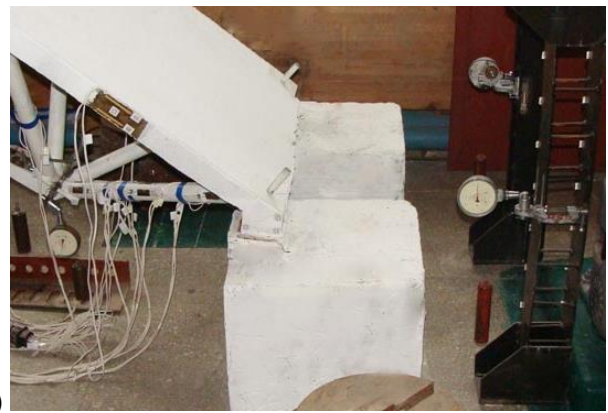


Рис. 11. Розміщення обладнання для вимірювання переміщень у вузлах нижнього пояса (а) та опорних вузлах (б)

Також за допомогою прогиномірів було заміряно взаємне зміщення крайніх вузлів нижнього пояса. Для цього в одному з крайніх вузлів на шапці болта було улаштовано шарнірне кріплення сталевого дроту, а в іншому вузлі було прикріплено

обвідний блок, через який цей дріт обертався і приєднувався до прогиноміра.

Після налагодження обладнання та пристосувань було проведено випробування експериментального зразка розробленої конструкції на дію тимчасового навантаження (рис. 12).



Рис. 12. Дослідний зразок просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції на стадії випробування

Зняття показів із вимірювального обладнання здійснювалося на кожному етапі після 30-хвилинної витримки.

Спостерігаючи за конструкцією під час проведення експерименту, було встановлено, що її поведінка та схема

деформування відповідає теоретичним даним. Також слід зазначити, що під час огляду конструкції на кожній стадії завантаження та в кінці експерименту будь-яких пошкоджень вузлів або елементів конструкції не виявлено, зокрема не виявлено тріщин. Необхідно зауважити, що, за методикою експериментальних досліджень конструкція досліджувалася на дію експлуатаційного навантаження (70 % несучої здатності), тобто руйнування конструкції не ставилося за мету.

У результаті оброблення експериментальних даних було отримано залежності прогинів конструкції у вузлах від рівня завантаження. Залежність прогинів від величини навантаження відображено у вигляді графіка (рис. 13).

Деформації експериментальної конструкції були пружними. Збірна просторова структурно-вантова сталезалізобетонна

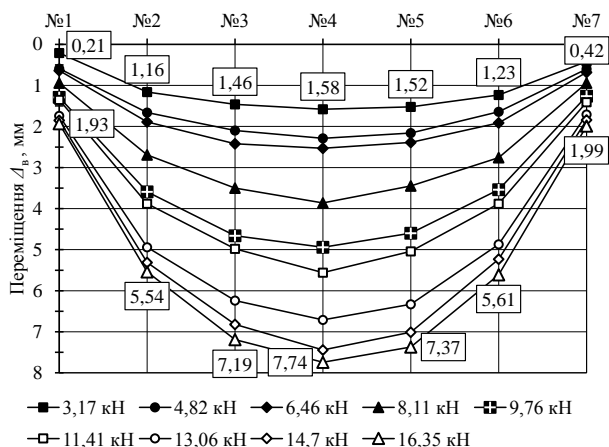


Рис. 13. Вертикальні переміщення вузлів нижнього пояса

На рис. 15 наведено залежність розвитку переміщень від рівня завантаження в опорних вузлах конструкції.

Із залежності горизонтальних переміщень опорних вузлів від рівня завантаження видно, що вони зміщувалися рівномірно та поступово. Очевидним також є те, що експериментальний зразок зірної

конструкція, складена з модульних елементів, працювала як єдина система, а розроблені вузли з'єднання забезпечили сумісну роботу модульних елементів. Прогини в досліджуваних вузлах мали лінійну залежність протягом усього експерименту, що є звичайним при роботі конструкції у пружній стадії. Прогини вздовж конструкції зростали плавно від її крайніх до центральних вузлів. Максимальні вертикальні переміщення виникли посередині конструкції у вузлі № 4. Вертикальні переміщення дзеркально розміщених вузлів нижнього пояса відносно поперечної осі симетрії конструкції були приблизно однаковими. Максимальна розбіжність вертикальних переміщень у дзеркально розташованих вузлах дорівнювала 3,1 %, а середня розбіжність не перевищила 2,3 % (рис. 14).

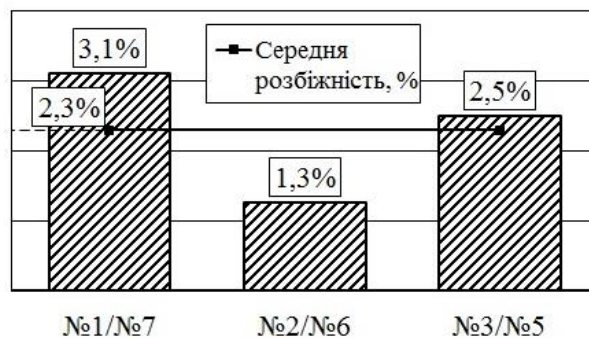


Рис. 14. Розбіжність показів між дзеркально розташованими прогиномірами

просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції під час випробування працював як цілісна система, оскільки величина горизонтальних переміщень опорних вузлів практично однакова, розбіжність між значеннями не перевищила 6,3 %.

На рис. 16 наведено залежність взаємного зміщення крайніх вузлів нижнього пояса від рівня завантаження.



Рис. 15. Горизонтальні переміщення опорних вузлів

Висновки. У підсумку експериментального дослідження просторової структурно-вантової сталезалізобетонної конструкції на дію тимчасового навантаження було отримано дані, на підставі аналізу яких зроблено такі висновки:

1. Програма експериментального дослідження була розроблена таким чином, щоб отримати дані, які чітко охарактеризують поведінку конструкції.

2. Фізико-механічні властивості сталі та бетону, які були використані для виготовлення дослідної конструкції, були стандартними й аналогічними тим матеріалам, що звичайно використовуються для виготовлення будівельних сталевих і залізобетонних конструкцій.

3. Технологія виготовлення дослідного зразка значною мірою є аналогічною існуючим, однак методика збирання та

Наведений графік демонструє лінійну залежність, що також є підтвердженням сумісної роботи елементів запропонованої конструкції.

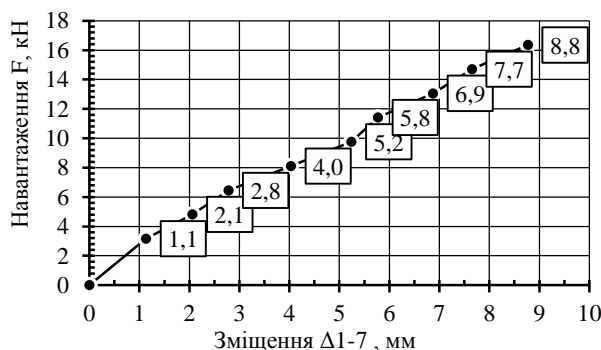


Рис. 16. Взаємне зміщення крайніх вузлів нижнього пояса

монтажу є оригінальною у своєму виконанні.

4. Застосовані в експериментальному дослідженні вимірювальні прилади та пристосування дозволили отримати дані, що об'єктивно описують особливості роботи конструкції під дією навантаження.

5. Досліджувана конструкція впродовж усього випробовування продемонструвала сумісну роботу всіх її складових.

6. Прогини дослідної конструкції складають 1/690.

7. Дані, отримані експериментальним шляхом, свідчать про просторову роботу і ефективність рішення запропонованої конструкції, яка з успіхом може застосовуватися в різноманітних галузях будівництва при зведенні покриття будівель і споруд.

Список використаних джерел

1. Вибранець, Ю. Ю. Міцність і деформативність комбінованих металевих систем, об'єднаних у сумісну роботу зі залізобетонною плитою [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Ю. Ю. Вибранець. – Львів, 2016. – 158 с.

2. Краснов, С. М. Удосконалення систем прогонних будов пішохідних мостів при динамічному впливі [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / С. М. Краснов. – Харків, 2015. – 268 с.

3. Шпалянская, Т. И. Экспериментальные исследования пространственных пролетных строений транспортных галерей [Текст] / Т.И. Шпалянская, В.Я. Якунин // Пространственные конструкции в Красноярском крае. – Красноярск: КПИ, 1983. – С. 94–97.

4. Patent US6915615B2 United States. IPC E04C3/30. Prestressed composite truss girder and construction method of the same / D.Y. Won; Original Assignee D.Y. Won. US 10/297.779; Filing Date 28.02.2002; Publication Date 12.06.2005. – 35 p.

5. Абовская, С. Н. Пространственные сталежелезобетонные панели покрытия [Текст] / С.Н. Абовская, Н.Б. Егикян. – Красноярск: КрасАСА, 1998. – 147 с.

6. Gasii G.M. Comparative characteristics of the spatial grid-cable steel-concrete composite slab / G.M. Gasii / Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2016. – № 844. – С. 260–265.

7. Gasii G.M. Types of steel and concrete composite cable space frames / G.M. Gasii / Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. – 2016. – №6 (66). – P. 158 – 165. DOI: 10.15802/stp2016/90514.

8. Storozhenko L.I. Analysis of stress-strain state of the steel-concrete composite ribbed slab as a part of the spatial grid-cable suspended structure / L.I. Storozhenko, G.M. Gasii // Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Poltava: PoltNTU, 2016. – №2. – P. 81-86.

9. Gasii G.M. The flat double-layer grid-cable steel-concrete composite / G.M. Gasii // Proceedings of the METNET Seminar 2016 in Castellon. – Hämeenlinna: HAMK University of Applied Sciences, 2016. – P. 56–62.

10. Стороженко, Л. І. Великопролітні структурно-вантові сталеалюмінієві покриття для будівель і споруд аеропортів [Текст] / Л.І. Стороженко, Г.М. Гасій // Проблеми розвитку міського середовища. – К.: НАУ, 2016. – №2. – С. 72–79.

11. Гасій, Г. М. Основи формотворення і проектування просторових покриттів із структурно-вантових сталеалюмінієвих конструкцій [Текст] / Г.М. Гасій // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ГВУЗ «ЛПАСА», 2016. – №87. – С. 48–53.

12. Стороженко, Л. І. Особливості конструктивного рішення та проектування повнорозмірного експериментального зразка структурно-вантового сталеалюмінієвого покриття [Текст] / Л.І. Стороженко, Г.М. Гасій // Зб. наук. праць. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво [Полтавський нац/ техн/ ун-т ім. Ю. Кондратюка]. – Полтава: ПолтНТУ, 2016. – №1. – С. 52–60.

Стороженко Леонід Іванович, д-р техн. наук, професор, професор кафедри конструкцій із металу, дерева і пластмас Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Гасій Григорій Михайлович, канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри конструкцій із металу, дерева і пластмас Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

E-mail: grigorii_g_m@ukr.net.

Storozhenko Leonid Ivanovych, doct. of techn. sciences, professor, professor of the department of structures from a metal, wood and plastics, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University.

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.

Стаття прийнята 13.04.2017 р.

УДК 621: 331.3.024: 621

ДО ПИТАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ НА ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЯХ ПРИ ШВИДКІСНОМУ РУСІ

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

К ВОПРОСУ ВНЕДРЕНИЯ ИСТОЧНИКА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ НА ТЯГОВИХ ПОДСТАНЦИЯХ ПРИ СКОРОСТНОМ ДВИЖЕНИИ

Канд. техн. наук А. Д. Супрун, ассист. Ю. А. Семененко, А. В. Ушаков

TO THE QUESTION OF INTRODUCTION OF SOURCE OF UNINTERRUPTED FEEDING ON RAIN SUBSTANCES AT A SPEED MOTION

Ph.D., associate professor O. D. Suprun, assistant Y. O. Semenenko, O. V. Uschakov

Кардинальне вирішення завдання забезпечення якості електричної енергії полягає у зміні структури системи живлення власних потреб і резервного електропостачання шляхом використання в її складі розробленого агрегату безперебійного живлення, що використовує поєднання функції резервного джерела з функцією установки гарантованого живлення.

Розроблена методика проектування враховує особливості суміщених електричних машин і дозволяє визначити параметри магнітопроводу, розрахувати сумарні електромагнітні навантаження, вибрати схему з'єднання обмоток, розрахувати магнітний ланцюг, розрахувати параметри суміщеної машини, провести розрахунок електродинамічних зусиль і перевірку на можливість виникнення вібрацій, а також вибрати інерційну постійну.

Отримані закони роботи розробленого регулятора напруги у двигунному і генераторному режимах роботи забезпечують стабілізацію напруги на шинах гарантованого живлення.

Ключові слова: система електропостачання, резервне джерело, критерій подібності, регулятор напруги, суміщена електрична машина.

Кардинальное решение задачи обеспечения качества электрической энергии состоит в изменении структуры системы питания собственных нужд и резервного электроснабжения путем использования в ее составе разработанного агрегата бесперебойного питания, использующего совмещение функции резервного источника с функцией установки гарантированного питания.

Разработанная методика проектирования учитывает особенности совмещенных электрических машин и позволяет определить параметры магнитопровода, рассчитать суммарные электромагнитные нагрузки, выбрать схему соединения обмоток, рассчитать магнитную цепь, рассчитать параметры совмещенной машины, провести расчет электродинамических усилий и проверку на возможность возникновения вибраций, а также выбрать инерционную постоянную.

Полученные законы работы разработанного регулятора напряжения в двигательном и генераторном режимах работы обеспечивают стабилизацию напряжения на шинах гарантированного питания.

Ключевые слова: система электроснабжения, резервный источник, критерий подобия, регулятор напряжения, совмещенная электрическая машина.

A cardinal solution to the problem of ensuring the quality of electrical energy is to change the structure of the power supply system for own needs and backup power supply by using in its composition a developed unit for uninterruptible power supply using the combination of a reserve source function with the function of setting a guaranteed power supply.

The developed design methodology takes into account the features of the combined electric machines and allows to determine the parameters of the magnetic circuit, calculate the total electromagnetic loads, select the winding connection, calculate the magnetic circuit, calculate the parameters of the combined machine, calculate the electrodynamic forces and check for the possibility of vibrations, and select the inertial constant.

When developing the design methodology for autonomous power supply systems, the similarity theory methods were used, based on the use of similarity theorems and elements of dimensional theory. In addition, when developing the design methodology of the converter, methods for solving optimization problems and elements of the theory of automatic control were used.

The design method differs from the known ones in that it provides for the optimization of electromagnetic and linear loads of electrical machines, their verification for vibration, and also provides recommendations on the choice of voltage regulators for the motor and generator of the converter operating in synchronous-synchronous mode.

Keywords: *power supply system, reserve source, similarity criterion, voltage regulator, combined electric machine.*

Вступ. Впровадження на тягових підстанціях блочно-модульних новітніх технологій при швидкісному русі спричиняє збільшення кількості одиничної й сумарної встановленої потужності відповідальних електроприймачів, нормальна робота яких може бути забезпечена тільки в умовах гарантованого безперебійного живлення. Підвищення вимог електроприймачів до надійності та якості електроживлення зажадали у процесі розроблення систем автоматизованого управління системами електричної тяги вирішення питання безперебійного живлення [1-3]. Одночасно ускладнюються процеси перетворення енергії, розширюється різноманіття енергетичних установок та агрегатів, що забезпечують найбільш раціональні режими енергоживлення споживачів ВЛ СЦБ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існуючі на сьогодні системи автономного електропостачання [4, 5, 9, 11] не повністю задовольняють вимоги, що висуваються електроприймачами цих систем до якості електричної енергії. Обладнання, що використовується в системах автономного електропостачання,

виробило свій ресурс і потребує заміни. Звісно, що при модернізації існуючих систем необхідно врахувати й усунути всі недоліки, властиві відомим системам електропостачання, а при розробленні нових систем електропостачання застосувати нові технічні рішення і нові технології, що забезпечують виконання вимог з надійності і якості електропостачання. Науково-технічне завдання розроблення методики проектування для нових систем автономного електропостачання є актуальним завданням.

Існуючі для цього відомі пристрої [8-10] в аварійних режимах не забезпечують безперебійність електропостачання та показники якості електричної енергії. Науково-технічне завдання вдосконалення систем гарантованого живлення [4, 5], в основу яких покладено дизель-інерційні УГЖ на базі суміщеної електричної машини, спрямоване на досягнення необхідних показників якості електричної енергії в аварійних режимах роботи, є досить актуальною темою в сучасній електроенергетиці.

Визначення мети та задачі. Метою даного дослідження є обґрунтування

шляхів досягнення безперебійного електропостачання з необхідними показниками якості електричної енергії ВЛ СЦБ і споживачів власних потреб тягових підстанцій при швидкісному русі. Можливості вдосконалення таких систем ще не вичерпані і розглянуті в роботах [3-5].

Основна частина дослідження.

Запропонована установка [12] дозволяє, на відміну від відомих, забезпечити якість напруги, що потрібне на шинах живлення ВЛ СЦБ в динамічних режимах роботи

електричної машини при коливаннях і вимиканнях напруги мережевого вводу, а також при різних аномальних явищах у тяговій мережі за рахунок відсутності гальванічного зв'язку між мережею та шиною живлення ВЛ СЦБ. Система електроживлення ВЛ СЦБ (рис. 1) працює так. За наявності напруги на ввіді мережі електрична енергія від шин 10 кВ поступає через вимикач мережевого вводу на шини мережного вводу.

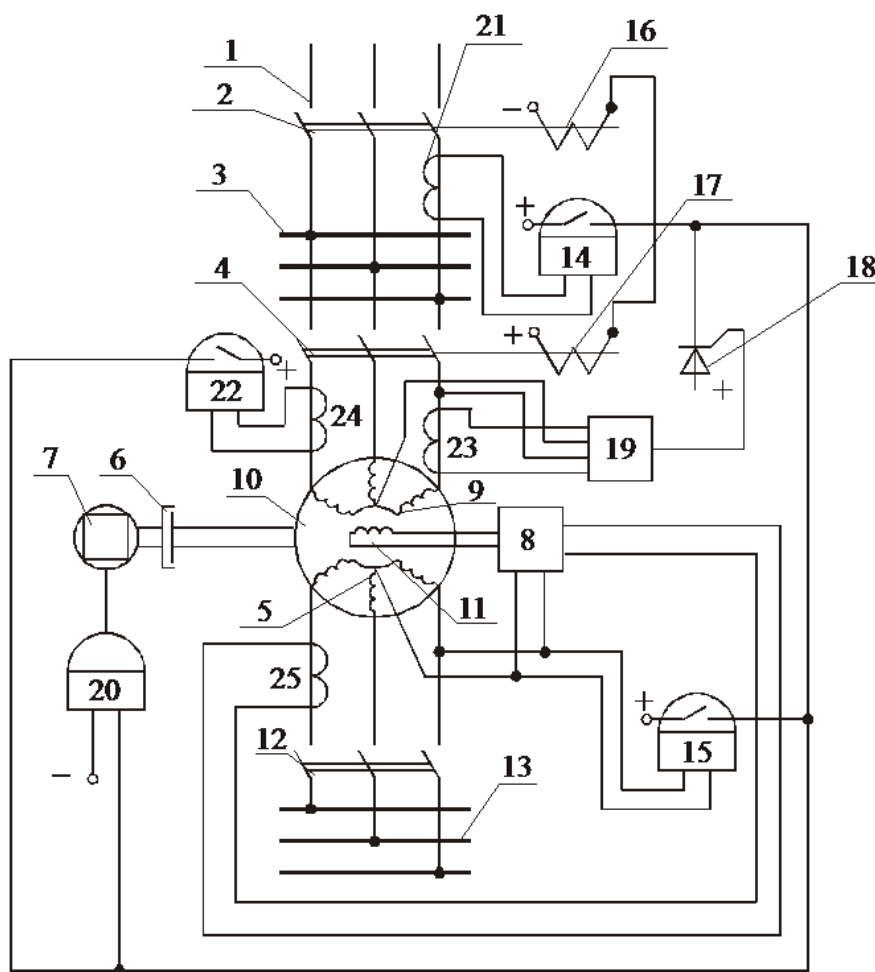


Рис. 1. Структурна схема резервного джерела

Перша статорна обмотка електричної машини отримує живлення від шин 10 кВ тягової підстанції і, працюючи у двигун-компенсаторному режимі, приводить до обертання ротор електричної машини 5.

Муфта 6 в цей час роз'єднана і приводний двигун дизеля 7 знаходиться в готовності до пуску (у режимі чергування). Друга статорна обмотка суміщеної електричної машини працює в генераторному режимі та

забезпечує електропостачання ВЛ СЦБ. Підтримка напруги на шинах ВЛ СЦБ в заданих границях здійснюється регулятором 8 збудження, у якості якого може бути застосований трансформатор фазового компаундування з коректором напруги.

Захист шин мережевого вводу від коротких замикань і перевантажень здійснюється першим реле 14 струму, спрацювання якого забезпечить вимкнення вимикача 2 мережевого вводу та першого вимикача 4 суміщеної електричної машини, а також ввімкнення через реле 20 пуску приводного двигуна дизеля 7, що забезпечує перехід системи в режим резервного електропостачання з приводом від двигуна внутрішнього згорання.

Реле 15 частоти забезпечує переведення системи в режим резервного електропостачання при зниженні частоти напруги на шинах ВЛ СЦБ до значення, що визначається відповідною уставкою ($\pm 1\%$). Спрацювання реле частоти відбувається у випадку, коли частота напруги живлячої мережі упала нижче допустимого значення, або при переході в режим резервного електропостачання при зникненні напруги на вводі мережі, у випадку відмови блока 19 виявлення режимів роботи, який повинен фіксувати переведення першої статорної обмотки в генератор-компенсаторний режим і забезпечення через тиристор 18 запуск приводного двигуна, вимкнення вимикача 2 мережевого вводу та першого вимикача 4 електричної машини. Захист шин ВЛ СЦБ здійснюється другим вимикачем 12 суміщеної електричної машини. Друге реле 22 струму забезпечує захист першої статорної обмотки електричної машини від перевантажень при великих відхиленнях живлячої напруги мережі. Необхідність у такому захисті може з'явитися, наприклад, у випадку, коли напруга мережевого вводу має значення, що дорівнює максимально допустимому за умови якості напруги, напруга на шинах живлення ВСЛ СЦБ

дорівнює номінальному значенню і навантаження цих шин дорівнює номінальному та носить активно-індуктивний характер. Захист також потрібен і в іншому крайньому випадку, коли значення напруги мережевого вводу дорівнює мінімально допустимому з умов якості напруги, напруга на шинах ВЛ СЦБ дорівнює номінальній та навантаження цих шин носить активно-ємнісний характер. В обох випадках може з'явитися перенапруга першої статорної обмотки реактивним струмом і для захисту цієї обмотки необхідно вимкнути мережевий ввід.

Для зменшення часу перехідного процесу від режиму чергування до режиму резервного живлення зараз знаходяться на стадії розроблення електричні машини з використанням роторів зі збільшеними масогабаритними показниками, які є за рахунок енергії, запасеної в них, стартерами для запуску дизеля.

Наявність у магнітопроводі суміщеної електричної машини потребує уточнення умов вибору електромагнітних навантажень, особливо в тій частині розрахунку, яка пов'язана з розподілом навантажень між обмотками. При цьому необхідно розрізняти два можливих варіанти виконання суміщеної електричної машини: на базі магнітопроводу серійного асинхронного двигуна (варіант використання базової електричної машини); на базі спеціальної геометрії магнітопроводу (варіант розроблення нової системи).

Під час розрахунку суміщеної електричної машини за першим варіантом, з використанням базової машини, яку виготовляють в умовах виробництва машин єдиних серій з використанням налагодженої технології, що оправдано економічно, при заданих основних розмірах необхідно визначити активну потужність, яка виробляється в машині. Під час розрахунку суміщеної електричної машини за другим варіантом потрібно визначити її основні розміри при заданих значеннях активної потужності. І в тому, і в іншому

варіанті розрахунку необхідно уявити основні параметри суміщених електричних машин. До таких параметрів належать: струм I , напруга U , потужність P , кількість витків обмотки w , частота f , індуктивність обмотки L , активний опір R , магнітна проникність речовини магнітопроводу μ , маса M , деякий характерний розмір D (діаметр D , довжина l , повітряний зазор δ), температура Θ , коефіцієнт тепловіддачі K_t , теплоємність C . Для встановлення зв'язків між основними параметрами використаємо елементи теорії розмірності. Введемо розмірності основних параметрів, що розглядаються в одиницях виміру довжини $[L]$, маси $[M]$, температури $[\Theta]$, сили струму $[I]$, часу $[T]$. Знайдемо серед цих розмірних величин основні, для яких визначник Δ не буде дорівнювати нулю. У якості основних (незалежних) одиниць оберемо такі: I, f, μ, Θ, D . Тоді отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} [I] = [I]^1 \cdot [T]^0 \cdot [M]^0 \cdot [\Theta]^0 \cdot [D]^0; \\ [f] = [I]^0 \cdot [T]^{-1} \cdot [M]^0 \cdot [\Theta]^0 \cdot [D]^0; \\ [\mu] = [I]^0 \cdot [T]^{-2} \cdot [M]^1 \cdot [\Theta]^0 \cdot [D]^0; \\ [\Theta] = [I]^0 \cdot [T]^0 \cdot [M]^0 \cdot [\Theta]^{-1} \cdot [D]^0; \\ [D] = [I]^0 \cdot [T]^0 \cdot [M]^0 \cdot [\Theta]^0 \cdot [D]^1. \end{cases} \quad (1)$$

Системі рівнянь (1) відповідає такий визначник:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = -1 \neq 0. \quad (2)$$

Встановимо зв'язки параметрів суміщеної електричної машини з основними одиницями, тобто встановимо критерії подібності. Перший з них π_1 отримаємо так:

$$\pi_1 = \frac{[D]^2 \cdot [M]^1 \cdot [T]^{-3} \cdot [I]^2}{[I]^{\alpha_1} \cdot [T]^{-\beta_1} \cdot [T]^{-2\gamma_1} \cdot [M]^{\gamma_1} \cdot [\Theta]^{\xi_1} \cdot [D]^{\varphi_1}}. \quad (3)$$

Прирівнюючи показники ступеня однойменних величин чисельника та знаменника, отримаємо, що $\alpha_1 = 2, \varphi_1 = 2, \gamma_1 = 1, \beta_1 = 1, \xi_1 = 0$. Так само будемо мати, що

$$\pi_1 = \frac{P}{I^2 \cdot f \cdot \mu \cdot D^2} = const. \quad (4)$$

Вводячи поняття лінійного навантаження електричної машини $A = I/l$ та виходячи з того, що величину індукції B можна представити як добуток магнітної проникності μ і напруженості H і враховуючи другий закон Кірхгофа для магнітного кола, представимо перший критерій подібності як

$$D^2 \cdot l = \frac{P \cdot K}{A \cdot B \cdot f}, \quad (5)$$

де K – постійний коефіцієнт.

Фактично перший критерій подібності являє собою основне розрахункове рівняння електричної машини змінного струму:

$$D^2 \cdot l = \frac{8,6 \cdot 10^6 \cdot P}{K_{об} \cdot A \cdot B_\delta \cdot n}, \quad (6)$$

де $K_{об}$ – обмотковий коефіцієнт;

B_δ – індукція в зазорі;

$n = 60 \cdot f / p$ – кількість обертів ротора;

P – кількість пар полюсів.

При введенні другого критерію подібності π_2 використаємо таке співвідношення:

$$\pi_2 = \frac{[D]^2 \cdot [M]^1 \cdot [T]^{-3} \cdot [I]}{[I]^{\alpha_2} \cdot [T]^{-\beta_2} \cdot [T]^{-2\gamma_2} \cdot [M]^{\gamma_2} \cdot [\Theta]^{\xi_2} \cdot [D]^{\varphi_2}} \quad (7)$$

Із формули (7) випливає, що $\alpha_2 = 1$, $\varphi_2 = 2$, $\gamma_2 = 1$, $\beta_2 = 1$, $\xi_2 = 0$.
Формулу (7) приводимо до вигляду

$$\pi_2 = \frac{U}{I \cdot f \cdot \mu \cdot D^2} \quad (8)$$

Третій критерій π_3 визначається як

$$\pi_3 = \frac{[L]}{[I]^{\alpha_3} \cdot [f]^{\beta_3} \cdot [\mu]^{\gamma_3} \cdot [\Theta]^{\xi_3} \cdot [D]^{\varphi_3}} = \frac{L \cdot I^2}{\mu \cdot D^2} \quad (9)$$

Для четвертого π_4 , п'ятого π_5 , шостого π_6 критеріїв отримаємо

$$\pi_4 = \frac{[R]}{[I]^{\alpha_4} \cdot [f]^{\beta_4} \cdot [\mu]^{\gamma_4} \cdot [\Theta]^{\xi_4} \cdot [D]^{\varphi_4}} = \frac{R \cdot I^2}{f \cdot \mu \cdot D^2} \quad (10)$$

$$\pi_5 = \frac{[K_T]}{[I]^{\alpha_5} \cdot [f]^{\beta_5} \cdot [\mu]^{\gamma_5} \cdot [\Theta]^{\xi_5} \cdot [D]^{\varphi_5}} = \frac{K_T \cdot \Theta}{f \cdot \mu} \quad (11)$$

$$\pi_6 = \frac{[C]}{[I]^{\alpha_6} \cdot [f]^{\beta_6} \cdot [\mu]^{\gamma_6} \cdot [\Theta]^{\xi_6} \cdot [D]^{\varphi_6}} = \frac{C \cdot \Theta}{f^2 \cdot D^2} \quad (12)$$

Проаналізуємо отримані співвідношення (7) – (12). Критерій π_2 фактично визначає ЕРС, що отримується від одного витка статорної обмотки при заданих розмірах статора і тим самим визначає необхідну кількість витків статорної обмотки. Критерій π_3 встановлює величину втрат у сталі, а критерій π_4 визначає величину втрат у міді. Критерій π_5 визначає кількість тепла, що передається в навколишнє середовище з одиниці площі, і тим самим визначає вимоги, що висуваються до системи відведення тепла. Критерій π_6 встановлює кількість тепла, що іде на нагрів обмоток, і визначає вимоги, що висуваються до ізоляції. Знайдені критерії дозволяють здійснити вибір електромагнітних навантажень запропонованого перетворювача частоти.

Розрахунок суміщеної електричної машини ведеться в такій послідовності:

1. Вибір базової електричної машини проводиться з урахуванням рекомендацій, викладених у підрозділах [3], при цьому визначаються параметри магнітопроводу, що забезпечують утворення необхідних електромагнітних полів «двигуна» та «генератора», розраховуються сумарні електромагнітні навантаження, попередні значення електромагнітних навантажень «двигуна» та «генератора», потужність перетворювача в габариті базової машини.

2. Вибір схеми з'єднання обмоток статора та ротора. Розглядаються варіанти виконання обмоток: роздільної та суміщеної, що забезпечують взаємну компенсацію в обмотках впливу електрорушійних сил, що створюються

різнополюсними магнітними полями, які обертаються. Вираховуються обмоткові коефіцієнти. За результатами розрахунків електромагнітних навантажень визначаються кількість витків і переріз провідників обмотки. За формулами, які використовуються при розрахунку звичайних машин змінного струму, визначаються активні та індуктивні опори обмоток «двигуна» та «генератора».

3. Розрахунок магнітного кола. Використовуються розрахункові формули, які застосовуються для звичайних машин змінного струму. Розрахунок проводиться окремо для генератора та двигуна. Особливість розрахунку полягає в тому, що значення сумарної індукції в зазорі B_{δ} повинно бути збільшено в $1,2 \div 1,4$ разу порівняно з індукцією в зазорі базової електричної машини. Це пов'язано з тим, що звичайно значення індукції в повітряному зазорі визначає об'єм сталі на одиницю енергії, необхідної на намагнічування магнітопроводу. В одномашинній системі «двигун – генератор» ця енергія поступає від двох різнополюсних полів. Виходячи з умови рівності середніх щільностей потоків енергії базової та суміщеної машин

$$F_{\delta} \cdot B_{\delta\delta} = F_{\delta} \cdot B_{\delta\delta} + F_{\Gamma} \cdot B_{\delta\Gamma} \quad (13)$$

визначаються граничні умови для розрахунку магнітного кола:

$$B_{\delta\delta} + B_{\delta\Gamma} = B_{\delta\delta} \quad (14)$$

або

$$B_{\delta\delta}^2 + B_{\delta\Gamma}^2 = B_{\delta\delta}^2. \quad (15)$$

Умова (14) має місце для лінійної магнітної характеристики, умова (15) – для нелінійної (прямокутної) магнітної характеристики. Розрахунковий струм намагнічування, який визначається для кожної

«окремої» електричної машини, повинен бути збільшений приблизно в 1,5 разу.

4. Розрахунок параметрів суміщеної електричної машини. Проводиться електромагнітний розрахунок генератора, визначаються його струми, напруги, втрати в міді та сталі. Далі визначається потужність двигуна та проводиться електромагнітний розрахунок двигуна і знаходяться його струми, напруги, втрати в міді та сталі. При розрахунку втрат у сталі двигуна та генератора використовуються формули для розрахунку втрат, однак знайдені значення повинні бути збільшені приблизно в 1,2 разу. При знаходженні параметрів робочого режиму розраховуються такі величини: розрахункова повна потужність «генератора» S_{Γ} ; розрахункові опори «генератора» r_{Γ} , $x_{f\Gamma}$, x_{Γ} , $r_{f\Gamma}$, z_{Γ} , $x_{d\Gamma}$, $x_{q\Gamma}$, $x'_{d\Gamma}$, $x'_{q\Gamma}$ та $x''_{d\Gamma}$; розрахункові опори навантаження «генератора» r_{H} , x_{H} , z_{H} ; активна, реактивна складові струму статора та фазний струм статора $I_{a\Gamma}$, $I_{p\Gamma}$, I_{Γ} ; коефіцієнт потужності статора $\cos \varphi_{\Gamma}$; струм ротора при номінальному навантаженні I_{δ} ; лінійна напруга, що прикладається до кола ротора «генератора» U_f ; лінійне навантаження ланцюгів статора та ротора $A_{\Gamma 1}$, $A_{\Gamma 2}$; щільності струму обмоток статора та ротора $J_{\Gamma 1}$, $J_{\Gamma 2}$; розрахункова потужність двигуна P_d , яка дорівнює сумі потужності на валу двигуна, потужності механічних і додаткових втрат; розрахункові опори «двигуна» r_d , x_{fd} , x_d , r_{fd} , z_d , x_{dr} , x_{qr} , x'_{dr} ; активна та реактивна складові струму статора двигуна та фазний струм статора I_{ad} , I_{pd} , I_d ; лінійні навантаження та щільності струмів кіл статора та ротора двигуна A_{d1} , A_{d2} , I_{d1} , I_{d2} .

5. Вібраційний розрахунок. Вважаючи, що розподіл магнітних полів у повітряному зазорі є синусоїдальним, то миттєве значення результуючої індукції B_{δ} магнітних полів Φ_1 та Φ_2 визначається сумою миттєвих індукцій B_{1x} та B_{2x} :

$$B_{\delta x} = B_1 \sin(\omega t + (\pi / \tau_1)x) + B_2 \sin(\omega t + (\pi / \tau_2)x), \quad (16)$$

де $\omega_1 = 2\pi f_1$, $\omega_2 = 2\pi f_2$ – кутові частоти струмів «двигуна» та «генератора»;

$\tau_1 = \pi D_1 / 2p_1$, $\tau_2 = \pi D_2 / 2p_2$ – полюсний поділ полів Φ_1 та Φ_2 ;

x – поточна просторова координата по колу статора в повітряному зазорі;

B_1 та B_2 – амплітудні значення магнітних індукцій полів Φ_1 та Φ_2 в повітряному зазорі.

Переходячи від просторової координати x до поточної кутової координати α , що визначається з рівності

$$\alpha = \pi \cdot x / \tau_1 \cdot p_1 = \pi \cdot x / \tau_2 \cdot p_2, \quad (17)$$

формулу (17) представимо як

$$B_{\delta\alpha} = B_1 \sin(\omega_1 t + \alpha p_1) + B_2 \sin(\omega_2 t + \alpha p_2). \quad (18)$$

Елементарне значення електродинамічної сили dF , яка з'являється між статором і ротором у точці зазора з кутовою координатою α в момент часу t визначається так:

$$dF = K' B_{\delta\alpha} dS = K B_{\delta\alpha} d\alpha, \quad (19)$$

де $dS = l \cdot dx = ((l \cdot D) / 2) d\alpha$ – площа елементарної площадки в повітряному зазорі, кут нахилу якої дорівнює α ;

$K = K'((l \cdot D) / 2) = 2,03 \cdot 10^{-2} \cdot D \cdot l$ – постійний коефіцієнт.

Результуюча електродинамічна сила F , що діє на поверхні статора та ротора, визначається шляхом додавання всіх елементарних сил dF з урахуванням кута нахилу елементарних площадок α , який змінюється в діапазоні від 0 до 2π . Очевидно, що можлива поява трьох сил:

$$F_1 = \int_0^{2\pi} K \cdot B_1^2 \cdot \sin^2(\omega_1 t + p_1 \alpha) \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha; \quad (20)$$

$$F_2 = \int_0^{2\pi} K \cdot B_2^2 \cdot \sin^2(\omega_2 t + p_2 \alpha) \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha; \quad (21)$$

$$F_3 = \int_0^{2\pi} K \cdot B_1 \cdot \sin(\omega_1 t + p_1 \alpha) B_2 \cdot \sin(\omega_2 t + p_2 \alpha) \cos \alpha \cdot d\alpha; \quad (22)$$

Перший і другий інтеграли F_i ($i = 1, 2$) знаходяться так:

$$F_i = \int_0^{2\pi} K \cdot B_i^2 \cdot \sin^2(\omega_i t + p_i \alpha) \cos \alpha \cdot d\alpha = K \cdot B_i^2 \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega_i t + p_i \alpha) \cos \alpha \cdot d\alpha =$$

$$= \frac{K \cdot B_i^2}{3p_i} \sin^3(\omega_i t + p_i \alpha) \left| \begin{array}{c} 2\pi - \omega_i t \\ p_i \\ -\omega_i t \\ p_i \end{array} \right. = 0. \quad (23)$$

Таким чином, електродинамічна сила, яка з'являється під дією свого поля, дорівнює нулю. Електродинамічна сила,

яка з'являється від спільної дії полів Φ_1 та Φ_2 , дорівнює

$$\begin{aligned}
 F_3 &= K \cdot B_1 \cdot B_2 \cdot \int_0^{2\pi} \sin(\omega_1 t + p_1 \alpha) \cdot \sin(\omega_2 t + p_2 \alpha) \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha = \\
 &= K \cdot B_1 \cdot B_2 \cdot \left\{ \int_0^{2\pi} \sin \omega_1 t \cdot \sin \omega_2 t \cdot 0,5 [\cos(p_2 - p_1)\alpha + \cos(p_2 + p_1)\alpha] \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha + \right. \\
 &\quad + \int_0^{2\pi} \sin \omega_1 t \cdot \cos \omega_2 t \cdot 0,5 [\sin(p_1 + p_2)\alpha - \sin(p_1 - p_2)\alpha] \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha + \\
 &\quad + \int_0^{2\pi} \cos \omega_1 t \cdot \sin \omega_2 t \cdot 0,5 [\sin(p_2 + p_1)\alpha + \sin(p_2 - p_1)\alpha] \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha + \\
 &\quad \left. + \int_0^{2\pi} \cos \omega_1 t \cdot \cos \omega_2 t \cdot 0,5 [\cos(p_2 - p_1)\alpha + \cos(p_2 + p_1)\alpha] \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha \right\}. \quad (24)
 \end{aligned}$$

Другий і третій інтеграли, які входять у вираз (24), визначаються аналогічно виразу (23) і дорівнюють нулю. Перший і четвертий інтеграли, які входять у вираз

(24), у випадку, коли $p_2 - p_1 = 1$, відрізняються від нуля, і величина сили F_3 в цьому випадку дорівнює

$$\begin{aligned}
 F_3 &= K \cdot B_1 \cdot B_2 \cdot 0,5(\sin \omega_1 t \cdot \sin \omega_2 t + \cos \omega_1 t \cdot \cos \omega_2 t) \int_0^{2\pi} \cos^2 \alpha \cdot d\alpha = \\
 &= 0,25 \cdot K \cdot B_1 \cdot B_2 \cdot \cos \omega_1 t \int_0^{2\pi} (1 - 2 \cos 2\alpha) \cdot d\alpha = \frac{\pi}{2} \cdot K \cdot B_1 \cdot B_2 \cdot \cos \omega_1 t. \quad (25)
 \end{aligned}$$

Таким чином, для уникнення можливості появи вібраційних електромагнітних сил необхідно при виборі кількості пар полюсів «двигуна» та «генератору» дотримуватись умови $p_2 - p_1 \neq 1$.

Суміщена електрична машина може працювати у двох режимах роботи: у режимі генератора та в режимі двигуна. Своєрідність режимів роботи накладає обмеження на синтез регулятора напруги. Зазначимо, що регулятор напруги, поперше, повинен бути двоканальним, реалізуючи свої закони керування в мережі частотою 50 Гц; по-друге, регулятор

напруги повинен бути таким, що перенастроюється та забезпечує можливість роботи в мережі 50 Гц як у режимі генератора, так і в режимі двигуна.

Для розв'язання задачі синтезу регулятора напруги представимо рівняння кожної електричної машини в операторній формі:

$$\Psi_{di}(p) = G(p)_i U_{fi} + x_{di}(p)_i I_{di}; \quad (26)$$

$$\Psi_{qi} = x_{qi}(p)_i I_{qi}; \quad (27)$$

де $G(p)_i$ – операторна провідність,

$$G(p)_i = \frac{p(x_{rdi}x_{adi}^2 - x_{fi}x_{adi} + x_{adi}x_{rdi})}{p^2(x_{rdi}x_{fi} - x_{adi}^2) + p(x_{rdi}r_{fi} + x_{fi}r_{ri}) + r_{ri}r_{fi}}; \quad (28)$$

$x_{di}(p)$ – операторний опір по осі d ,

$$x_{di}(p) = x_{di} - \frac{p^2(x_{rdi}x_{adi}^2 - 2x_{fi}x_{adi}^2 + x_{fi}x_{adi}^2) + p(x_{adi}^2r_{fi} + x_{adi}^2r_{ri})}{p^2(x_{rdi}x_{fi} - x_{adi}^2) + p(x_{rdi}r_{fi} + x_{fi}r_{ri}) + r_{ri}r_{fi}}; \quad (29)$$

$x_{qi}(p)$ – операторний опір по осі q ,

$$x_{qi}(p) = x_{qi} - \frac{p \cdot x_{aqi}^2}{p \cdot x_{rqi} + r_{ri}}. \quad (30)$$

Запишемо рівняння рівноваги напруги в проекціях на осі d та q :

$$-U_{di} = r_i \cdot I_{di} + p \cdot G_i(p) \cdot U_{fi} + p \cdot x_{di}(p) \cdot I_{di} + x_{qi}(p) \cdot I_{qi}; \quad (31)$$

$$-U_{qi} = r_i \cdot I_{qi} + p \cdot x_{qi}(p) \cdot I_{qi} - G_i(p) \cdot U_{fi} - x_{di}(p) \cdot I_{di}. \quad (32)$$

Рівняння (31) та (32) отримані при припущенні про постійність частоти обертання ротора $\omega = 1$ та $p \cdot \gamma = 1 + p \cdot \delta = 1$. Це припущення правильне для даної машини, особливо для початкового етапу перехідного процесу. Рівняння (30) та (31) показують залежність напруги від

параметрів електричних машин, характеру та величини навантаження та режиму збудження. У випадку, коли електричні машини не мають демпферних обмоток по осях d та q , можна стверджувати, що $r_{ri} \rightarrow \infty$. При цьому вирази для $G_i(p)$, $x_{di}(p)$, $x_{qi}(p)$, спрощуються та набувають вигляду

$$G_i(p) = \frac{1}{T \cdot d_{oi} \cdot p + 1} \cdot \frac{x_{adi}}{r_{fi}} = \frac{A_i}{B_i(p)}; \quad (33)$$

$$x_d(p) = \frac{x_{di} \cdot T_{di} \cdot p + x_{di}}{T_{doi} \cdot p + 1} = \frac{C_i(p)}{B_i(p)}; \quad (34)$$

$$x_{qi}(p) = x_{qi}; \quad T_{doi} = x_{fi} / r_{fi}; \quad x'_{di} = x_{di} - (x_{adi}^2 - x_{fi}). \quad (35)$$

Рівняння (33) та (34) в цих умовах набудуть вигляд

$$-U_{di} = \frac{p \cdot C_i(p)}{B_i(p)} \cdot I_{di} + \frac{p \cdot A_i}{B_i(p)} \cdot U_{fi} + x_{qi} \cdot I_{qi}; \quad (36)$$

$$-U_{qi} = p \cdot x_{qi} \cdot I_{qi} - \frac{A_i}{B_i(p)} \cdot U_{fi} - \frac{C_i(p)}{B_i(p)} \cdot I_{di}. \quad (37)$$

Рівняння (36) та (37) отримані в припущенні, яке звичайно приймається при

дослідженні електричних машин, що $r_i = 0$. З рівнянь (36) та (37) випливає, що

$$B_i(p) \cdot U_{di} = -p \cdot C_i(p) \cdot I_{di} - p \cdot A_i \cdot U_{fi} - x_{qi} \cdot I_{qi}; \quad (38)$$

$$B_i(p) \cdot U_{qi} = A_i \cdot U_{fi} + C_i(p) \cdot I_{di} - p \cdot x_{qi} \cdot I_{qi}. \quad (39)$$

Використовуючи формули (38) та (39), запишемо передаточні функції по каналах керування $W_{кер i}(p)$:

$$W_{дкер i}(p) = \frac{p \cdot A_i}{B_i(p)}; \quad W_{ккер i}(p) = \frac{A_i}{B_i(p)}. \quad (40)$$

При розв'язанні задачі синтезу регулятора напруги закон керування будемо знаходити з умови виконання вимоги про постійність напруги на

затискачах і-ї електричної машини. При цьому стабілізація напруги досягається у випадку, якщо закон керування має вигляд

$$U_{fi} = \frac{B_i(p)}{A_i} \cdot U_{qi0} + \frac{p \cdot x_{qi}}{A_i} \cdot I_{qi} - \frac{C_i(p)}{A_i} \cdot I_{di}, \quad (41)$$

де U_{qi0} – проекція напруги на вісь q в попередньому режимі роботи.

Із умови забезпечення постійності величини $U_{qi0} = const$ випливає, що

$$U_{fi} = \frac{U_{qi0}}{x_{adi}} + \frac{x_{ai}}{x_{adi}} \cdot p \cdot I_{qi} - \frac{x'_{di} \cdot T_{d0i} \cdot p + x_d}{x_{adi}} \cdot I_{di}. \quad (42)$$

Таким чином, регулятор, що синтезується, належить до класу комбінованих регуляторів сильної дії, які суміщують регулювання з відхилення з регулюванням за збудженням. У сигналі за збудженням при цьому є не тільки величина струму навантаження, але й її перша похідна. Знайдений закон керування режимом збудження забезпечує стабілізацію напруги в генераторному режимі роботи. У режимі двигуна при роботі по мережі 50 Гц регулятор напруги

повинен бути перенастроений таким чином, щоб машини, яка є двигуном, працювала в якості синхронного компенсатора та була готовою в будь-який момент сприйняти все навантаження мережі 50 Гц. Природно, що під час роботи в режимі двигуна необхідно змінювати струм збудження регулятора напруги залежно від зміни навантаження на шинах мережі 50 Гц таким чином, щоб у момент зникнення напруги в мережі 50 Гц провал напруги дорівнював нулю. Це буде мати місце за умови

$$(E - I_p \cdot \cos \Theta \cdot x_d)^2 + I_p^2 \cdot \sin^2 \Theta \cdot x_q \approx 1. \quad (43)$$

З рівняння (42) випливає, що для забезпечення стабілізації напруги струм

збудження повинен змінюватися за законом

$$I_f = \frac{1}{x_f} \left(\sqrt{l - I_p^2 \cdot \sin^2 \Theta \cdot x_q^2} + I_p \cos \Theta \cdot x_d \right). \quad (44)$$

На рис. 2 наведена схема системи регулювання напруги, яка дозволяє здійснити незалежне регулювання напруги в різних режимах роботи суміщеної

електричної машини. Регулятор напруги виконано двоканальним. Перший канал (регулятор 9) забезпечує стабілізацію напруги в мережі РП 10 кВ, другий канал

(регулятор 40) забезпечує стабілізацію напруги в мережі живлення ВЛ СЦБ. Розглянемо роботу каналів регулятора. Під час роботи в режимі двигуна суміщеної машини, тобто в режимі, коли є напруга живлення на мережевому ввіді, обмотка коректування 26 суматора 9 приєднана до виходу вимірювача реактивного навантаження 20 в мережі вводу машини. При цьому обмотка збудження 8 отримує через випрямляч 21 результуючий сигнал з

виходу вторинної обмотки 25 суматора регулятора напруги 11, забезпечуючи тим самим регулювання напруги залежно від величини реактивного навантаження мережі РП 10 кВ та виключаючи провал напруги на шинах живлення ВЛ СЦБ 3 при зникненні напруги на ввіді 1. У випадку, коли напруга на ввіді 1 зникла, перша статорна обмотка суміщеної машини 5 з режиму двигуна переходить у генераторний режим.

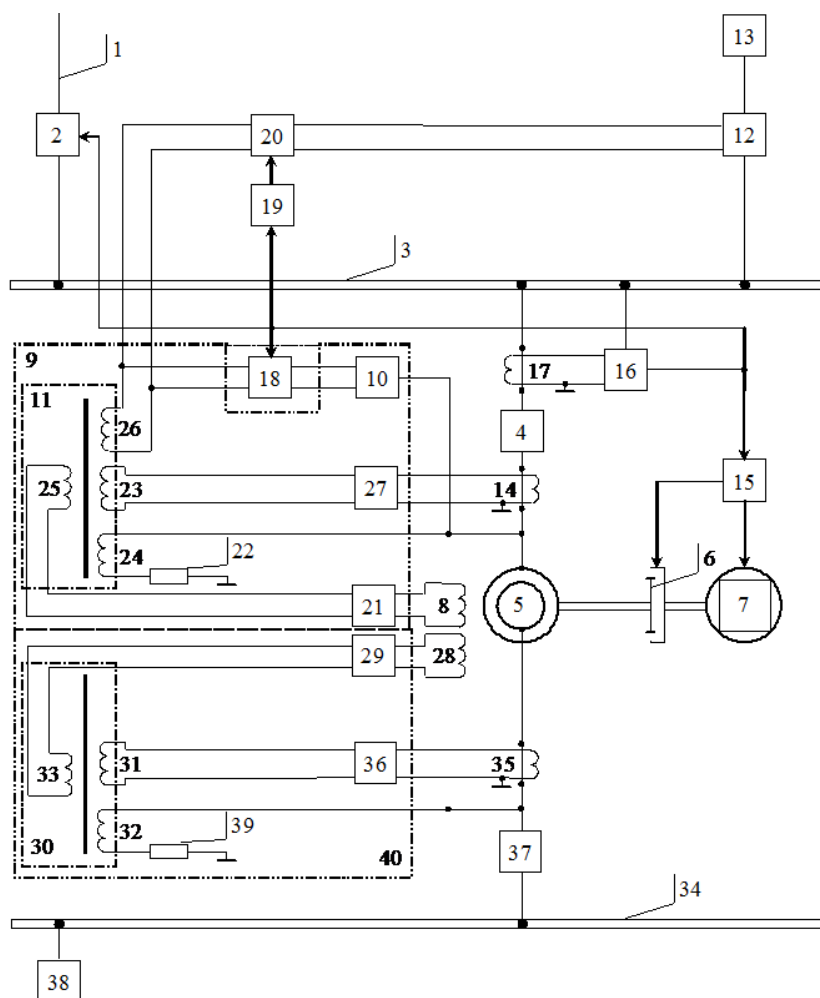


Рис. 2. Схема регулятора напруги резервного джерела

Перехід суміщеної електричної машини 5 у генераторний режим роботи фіксується блоком виявлення режимів роботи 16, який спрацьовує та вмикає реле пуску приводного двигуна 15, вмикає

вимикач мережевого вводу 2, відкриває першу 18 і закриває другу 19 схеми заборони.

Реле пуску 15, спрацювавши, вмикає роз'єднувальну муфту 6 і вмикає в роботу

схему пускової автоматики приводного дизеля 7. Регулятор 9 після закривання другої схеми заборони 19 і відкриття першої схеми заборони 18 перенастроюється та переходить на стабілізацію напруги в генераторному режимі роботи першої статорної обмотки суміщеної електричної машини 5. Другий канал регулятора постійно забезпечує стабілізацію напруги на шинах живлення 34 в генераторному режимі роботи другої статорної обмотки суміщеної електричної машини 5.

Висновки. У процесі рішення завдань дослідження було встановлено, що для систем, у яких у якості резервного джерела електричної енергії використовуються дизель-генератори, найбільш перспективною є ДІ УГЖ на основі суміщеної електричної машини. Результати досліджень при цьому дозволяють обґрунтувати прийняті технічні рішення,

що дає змогу при їхній реалізації забезпечити досягнення бажаного ефекту при впровадженні на тягових підстанціях для забезпечення швидкісного руху.

Запропонована методика проектування суміщених електричних машин дозволяє обґрунтовано вибрати електромагнітні та лінійні навантаження електричних машин перетворювача, розрахувати їхні магнітні ланцюги, вибрати параметри, перевірити можливість виникнення вібрацій і вибрати структуру регуляторів напруги. Вірогідність і обґрунтованість отриманих результатів підтверджена в процесі імітаційного моделювання УГЖ. Розроблені рекомендації дозволяють вдосконалити відомі дизель-інерційні системи [6] і запропонувати ряд рішень при модернізації тягових підстанцій і для використання в новітніх блочно-модульних підстанціях при швидкісному русі.

Список використаних джерел

1. Долдин, В. М. Электроснабжение нетяговых потребителей железнодорожного транспорта. Устройство, обслуживание, ремонт [Текст]: учеб. пособие / под. ред. В. М. Долдина. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2010. – 304 с.
2. Марикин, А. Н. Новые технологии в сооружении и реконструкции тяговых подстанций [Текст]: учеб. пособие для вузов ж-д транспорта / А.Н. Марикин, А.В. Мизинцев. – М.: ГОУ «Учебное методический центр по образованию на железнодорожном транспорте» 2008. – 220 с.
3. Феоктистов, В. П. Электрические железные дороги [Текст]: учебник / под ред. проф. В.П. Феоктистова, проф. Ю.Е. Просвинова; [Моск. ун-т путей сообщения; Самарская гос. акад. путей сообщения]. – Самара: СамГАПС, 2006. – 312 с.
4. Сулейманов, В. М. Электрические сети и системы [Текст]: учебник / В.М. Сулейманов, Т. Л. Кацадзе. – К.: НТУУ «КПИ», 2008. – 504 с.
5. Онищенко, Г. Б. Электрический привод [Текст]: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г. Б. Онищенко. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 288 с.
6. Тер-Оганов, Э. В. Электроснабжение железных дорог [Текст]: учебник для студентов университета (УрГУПС) / Э. В. Тер-Оганов, А. А. Пышкин. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2014. – 432 с.
7. Бородулин, Б. М. Симметрирование токов и напряжений на действующих тяговых подстанциях переменного тока [Текст] / Б.М. Бородулин // Вестник Всерос. науч. иссл. ин-та ж.-д. трансп. – 2003. – № 92. – С. 17-24.
8. Веников, В. А. Электрические системы. Электрические сети [Текст] / В. А. Веников, А. А. Глазунов, Л. А. Жуков; под ред. В. А. Веникова, В. А. Строева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1998. – 511 с.

9. The DTT device: Power supplies and electrical distribution system [Text] / A. Lampasi [et al.] // Fusion Engineering and Design. – 2017, January.
10. Offset-Free Model Predictive Control for Output Voltage Regulation of Three-Phase Inverter for Uninterruptible Power Supply Applications [Text] / Seok-Kyoon Kim, Chang Reung Park, Young Il Lee // IFAC Proceedings Volumes. – 2014. – Vol. 47. – P. 129-134.
11. Integrated modelling of variable renewable energy-based power supply in Europe [Text] / H. C. Gils [et al.] // Energy. – 2017, January. – Vol. 123. – P. 173-188.
12. Система гарантованого живлення [Текст]: а. с. № 1576987. СССР, МКИ Н 02 J 9/02 / Кононов Б.Т., Виксман А.С., Супрун О.Д.; опубл. 1990, Бюл. № 25.

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

Семененко Юрій Олександрович, асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-74. E-mail: slider2012@i.ua.

Ушаков Олександр Васильович, магістрант кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-74. E-mail: slider2012@i.ua.

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

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

Uschakov Oleksandr Vasulovych, graduate student Department of electricity, electrical engineering and electrical engineering, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-74. E-mail: slider2012@i.ua.

Стаття прийнята 20.04.2017 р.

УДК 624.074:[624.012.4+624.014.2]

CALCULATION OF COMPRESSED AND BENDED STEEL REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS IN THE RETAINED FORMWORK

Dr. techn. science O. Lapenko, postgraduate D. Skrebnieva, O. Shevchenko, N. Masud

РОЗРАХУНОК СТИСНУТИХ І ЗІГНУТИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ У НЕЗНІМНІЙ ОПАЛУБЦІ

Д-р техн. наук О. І. Лапенко, аспіранти Д. С. Скребнева, О. В. Шевченко, Н. Н. Масуд

РАСЧЁТ СЖАТЫХ И СОГНУТЫХ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКЕ

Д-р техн. наук А. И. Лапенко, аспиранты Д. С. Скребнева, О. В. Шевченко, Н. Н. Масуд

The problems of calculation of compressed and bended steel reinforced concrete structures in the retained formwork were considered. Apart it's necessary to consider the questions which are related with calculation tube concrete tube structures. As the role of steel tube in the tube concrete reduced mainly to reduced of transversal expanding of concrete core at the element compression,

but from the theory of concrete strength it's known, that with the increasing of transversal compression the strength of concrete may increase significantly, then a major role in bearing capacity tube concrete element must perform work steel pipe in the transverse direction.

The method is developed in the compressed elements from steel i-sections with lateral cavities, filled by concrete. The method of calculation by the deformed scheme is more accurately express the real picture of elements deformation.

The method of calculating of bending reinforced concrete elements in non-removable formwork to a transverse force. The conclusion of the feasibility of using the calculated deformation model that best corresponds to the real work of load bearing structures was made.

The program of calculation of the computer, which provides a satisfactory convergence with experimental data is composed by the developed methodology.

Key words: *steel reinforced concrete constructions, steel tube, retained formwork, stress-strain state.*

Розглянуто питання розрахунку стиснутих і зігнутих сталезалізобетонних конструкцій у незнімній опалубці. Зроблено висновок про доцільність використання розрахункової деформаційної моделі, яка найкраще відповідає реальній роботі несучих конструкцій.

Ключові слова: *сталезалізобетонні конструкції, труобетон, незнімна опалубка, напружено-деформований стан.*

Рассмотрены вопросы расчета сжатых и изогнутых сталежелезобетонных конструкций в несъемной опалубке. Сделан вывод о целесообразности использования расчетной деформационной модели, которая наилучшим образом соответствует реальной работе несущих конструкций.

Ключевые слова: *сталежелезобетонные конструкции, труобетон, несъемная опалубка, напряженно-деформированное состояние.*

Introduction. Reinforced concrete structures in the retained formwork are different [8]. Besides design characteristics (reinforcing by tubes, sheets or rolling sections, profiled sheets), purpose (columns, beams, slabs), they are differed by stressed state (central or noncentral compression, bending). For today, there are many ways of calculation of reinforced concrete structures, which provide a certain degree of reliability in the operation. Calculation of reinforced concrete structures in the retained formwork can be performed by the next methods:

- with using of calculated deformation model;
- with using of boundary efforts in the concrete, reinforcement and steel, based on their plastic work;
- by resulted to steel section.

The numerical calculations of load bearing capacity structures with using of method of finite elements with the help of computers are enough deeply developed and widely spread at the given time. The problems of calculation of reinforced concrete structures are considered in the international normative document Eurocode 4 [2].

Materials and methods. Apart it's necessary to consider the questions which are related with calculation tube concrete tube structures. As the role of steel tube in the tube concrete reduced mainly to reduced of transversal expanding of concrete core at the element compression, but from the theory of concrete strength it's known, that with the increasing of transversal compression (lateral pressure) the strength of concrete may increase significantly, then a major role in bearing capacity tube concrete element must perform

work steel pipe in the transverse direction. This can be achieved by adjusting the geometrical and mechanical parameters tube concrete element. For example, tube concrete elements with thin-walled steel pipes more efficient because in the result of powerful effect of these elements the steel pipe resists only in the transverse direction. That's why in the general case at the calculation of compressed tube concrete elements it's necessary to use the formula

$$N = \alpha R_b A_b + \beta R_s A_s, \quad (1)$$

where $R_b A_b$ – bearing capacity of concrete core at compression;

$R_s A_s$ – bearing capacity in compression of steel tube;

α, β – corrective coefficients.

The proposed methods of factors determining the efficiency of steel and concrete α , and β based on theorems and postulates of mechanics of solid deformable environment, primarily on the methods of the

theory of plasticity and strength theory [7]. They take into account the peculiarity of tube concrete element work of element as internally static undetermined system and peculiarities of steel tube resistance, that can be thin-walled (resistance only in the transverse direction), as well as thick-walled (resistance in transverse and longitudinal direction).

Mathematical apparatus of fundamental methods is the most structural. He completely, and the integral part of the calculated bearing capacity of steel tube element has a clear physical meaning and requires the use of empirical coefficients. Therefore, the fundamental methods are universal, with high precision and have a perfect analytical completed form.

It completely and by the separate parts of calculated load-bearing capacity of the tube concrete element has a clear physical meaning and doesn't require the use of empirical coefficients. Therefore, the fundamental methods are universal, with high accuracy and have a perfect analytical completed view.

At calculating noncentral compressed elements are used the condition:

$$N_{pb} = \frac{2\sigma'_{zs} r t_s}{1 + \cos \alpha} \int_{\alpha}^{\gamma} (\cos \alpha - \cos \beta) d_b \beta + 2\sigma'_{zs} r t_s \int_{\gamma}^{\pi} d_b \beta + 2\sigma'_{zb} r^2 \int_{\gamma}^{\pi} \sin^2 \beta^2 d_b - \frac{2\sigma_y r t_s}{1 + \cos \alpha} \int_0^{\alpha} (\cos \beta - \cos \alpha) d_b \beta + \frac{2\sigma'_{zb} r^2}{1 + \cos \alpha} \int_{\alpha}^{\gamma} (\cos \alpha - \cos \beta) \sin^2 \beta^2 d_b, \quad (2)$$

where N_{pb} – bearing capacity tube concrete element;

σ_y – boundary of fluidity metal pipe;

r – middle radius of tube;

t_s – thickness of wall of tube shell.

The position of neutral axis (value of angle α) is calculated from condition:

$$e_0 + r \cos \alpha = M / N.$$

Method of determining the stress-strain state of steel concrete elements with sheet reinforcement under axial compression based

on experimental researches of centrally compressed samples. It is believed that the metal and concrete reliably "welded" and throught this limit is the impact of one component of the transversal cross section of the others. From the schedules of dependence of longitudinal and transverse strains on the load revealed that they have a curvilinear nature, it means that prototypes work both in elastic ($\approx 60\%$ of the destructive effort) and a plastic stage. Therefore, these two stages of prototypes are considered separately.

In the elastic stage the longitudinal and transverse stresses can be determined by the

general formulas of Hooke's law equations that have the view

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 2G \left(\varepsilon_x + \frac{3\nu}{1-2\nu} \varepsilon_{cp} \right); \\ \sigma_y &= 2G \left(\varepsilon_y + \frac{3\nu}{1-2\nu} \varepsilon_{cp} \right); \\ \sigma_z &= 2G \left(\varepsilon_z + \frac{3\nu}{1-2\nu} \varepsilon_{cp} \right), \end{aligned} \quad (3)$$

where $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – deformation along respective axes;

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – tension along respective axes;

$$G = \frac{E_i}{2(1+\nu_i)};$$

$$\varepsilon_{cp} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z}{3};$$

E_i, ν_i – modulus of elasticity and coefficient of transverse deformation of the i -material;

$i = s, sl, b$ – materials, which consisted the transversal cross-section.

In the case, when the dependence of the deformations from the loads obtain the curvilinear nature due to the development of elastic and plastic deformations, stresses are determined using the theory of small elastic-plastic strains. In this case, the relationship between the individual components of stresses and strains by the form is the analogical to elastic stage, but with the replacement of constant modulus of elasticity E on variable strain module E' . According to this method it was compiled the calculation program for PC.

The method is developed in the compressed elements from steel i -sections

with lateral cavities, filled by concrete. The method of calculation by the deformed scheme is more accurately express the real picture of elements deformation. It admits the work of compressed elements in the stress strain state before the moment of the achievement of boundary deformations. According to this method the scheme of deformation of geometrical elements axis under the action of load with taking into account of physical and mechanical characteristics of every elementary part of steel i -section, rod reinforcement of concrete is defined.

Calculations of steel reinforced concrete compressed elements with taking into account of deformation model of transversal cross-section elements include:

- equation of equilibrium of external and internal forces in the normal cross-section;
- conditions of normal section deformation;
- diagrams of state (deformation) of concrete, rebar, steel.

To determine the stress-strain state in the normal section two known equilibrium equations are used:

- equilibrium equation of projection of forces on the longitudinal axis of structure;
- the equation of equilibrium of moments in respect of any chosen axis in the section of structure that is perpendicular to the plane of action of bending moment.

At the calculating of steel concrete structures in general case the structure cross-section is considered as a set m of elementary sections of concrete (with index i), of p reinforcement rods (with index k) and of n elementary areas of steel part of structures (with index j). In this case, the equilibrium equations are:

$$N - \sum_{i=1}^m \sigma_{bi} A_{bi} - \sum_{j=1}^n \sigma_{rj} A_{rj} - \sum_{k=1}^p \sigma_{sk} A_{sk} = 0; \quad (4)$$

$$Ne - \sum_{i=1}^m \sigma_{bi} A_{bi} y_{bi} - \sum_{j=1}^n \sigma_{rj} A_{rj} y_{rj} - \sum_{k=1}^p \sigma_{sk} A_{sk} y_{sk} = 0 \quad (5)$$

where N - external longitudinal force; e - distance from the force N to selected axis $O-O$, that is located in the limits of structure cross-section corresponding to which the moments of internal forces in the concrete, steel and reinforcement with taking into account bending are determined;

A_{bi} , A_{rj} , A_{sk} - area of elementary areas according to concrete, steel and reinforcement;

y_{bi} , y_{rj} , y_{sk} - distance from the selected torque axis to the center of gravity of elementary sections (according to concrete, steel and reinforcement);

σ_{bi} , σ_{rj} , σ_{sk} - stress on elementary areas under concrete and steel reinforcement.

Condition of deformation of the normal structure section is taken as a plane of rotation of the linear strain distribution by the height of the section from the considered impacts.

At calculating of efforts in the section of compressed steel reinforced concrete element of stresses in concrete, reinforcement and steel are defined by the deformations with help of state of materials diagrams which are associated stresses with deformations. State diagrams are presented in the form of noded (basic) points that define the most characteristic stages of stress-strain state materials. Parameters of base point of diagrams of materials state are normative resistances of materials and the corresponding to it the strains. The value of parameters of additional basic points are defined as derived from the parameters of main base point.

Parameters base point that corresponds to the elastic limits of fittings, assumed to be the current resistance fittings and its corresponding strain:

Parameters of main base point that corresponds to the limit of elastic work of reinforcement, assumed to be the equal to the

calculated resistance of reinforcement $\sigma_{so} = R_s$ and its corresponding strain:

$$\varepsilon_{so} = \frac{R_s}{E_s} \quad (6)$$

where E_s - modulus of elasticity of reinforcement.

The similar values of parameters of base points and calculated dependences are assumed for steel. State diagrams of steel and reinforcement in tension and compression are assumed equal.

Calculation of compressed steel reinforced concrete elements can be done by boundary efforts with use of two equilibrium conditions.

The methods of reinforced concrete structures in non-removable formwork that work on a bend for all types of cross-sections that are discussed in [1]. So at consideration of stress-strain state of reinforced concrete elements with an external sheet reinforcement the preconditions are accepted and known:

- follows to the hypothesis of flat sections;
- follows to the static condition:

$$\sum N_i = 0 ; \quad \sum M_i = 0 ; \quad (7)$$

- resistance of concrete in tension is assumed to be zero;

- resistance of concrete on compression stresses conditionally is represented by stress that equals R_b , (multiplied, in the necessary cases by a factor of work conditions), evenly distributed over the part of the compressed area;

- tensile strain in sheet and rod reinforcement are assumed not more than calculated tensile resistance R_y and R_{sc} ,

multiplied, in the necessary case by a factor of working conditions;

- compressive stresses in the sheet and rod reinforcement are assumed not more than the calculated resistances to compression and R_y and R_{sc} multiplied if necessary by a factor working conditions.

At approach of beams on bend destruction took place on a normal section. The reason was achievement of stresses of fracture yield strength steel bars and detachment vertical reinforcement sheet with further destruction of the concrete in the compressed zone section. Evaluation of the strength elements on the boundary conditions for the destruction of these forms can be presented on the basis of joint decisions longitudinal balance of forces depending on

the scheme of internal efforts. In this case, the design scheme is considered normal cross section (Figure 1, Figure 2).

At experiment of beams on bend of destruction took place on a normal section. The reason of distruction was to achieve stress of yield strength steel reinforcement and detachment of vertical sheet reinforcement with further destruction of the concrete in the compressed zone of section. Evaluation of the strength elements on the boundary conditions for the destruction of these forms can be presented on the basis of mutual decision of equilibrium of longitudinal force depending on the scheme of internal efforts. In this case, the design scheme of normal cross section is considered (Figure 1, Figure 2).

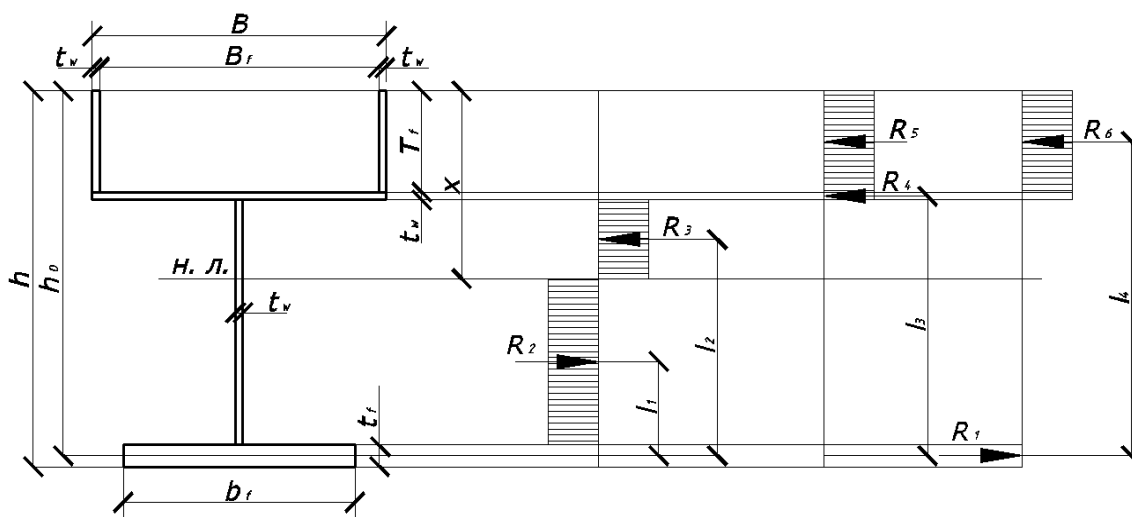


Fig. 1. Diagram of internal efforts in the normal section

The conditions of static (7):

$$R_y(t_w(h - t_f - 2x + T_f + t_w - B) - T_f(B - B_f) + R'_y b_f t_f - R_b B_f T_f) = 0. \quad (8)$$

$$M_p \leq T_f(R_y(B - B_f) + R_b B_f) \times (h_0 - 0,5t_f) + R_y t_w(B(h_0 - T_f - 0,5t_w) + (x - T_f - t_w)(h_0 - T_f - t_w - 0,5 \times (x - T_f - t_w))) - (h - t_f - x)(h_0 - x - 0,5(h_0 - x - 0,5t_f)). \quad (9)$$

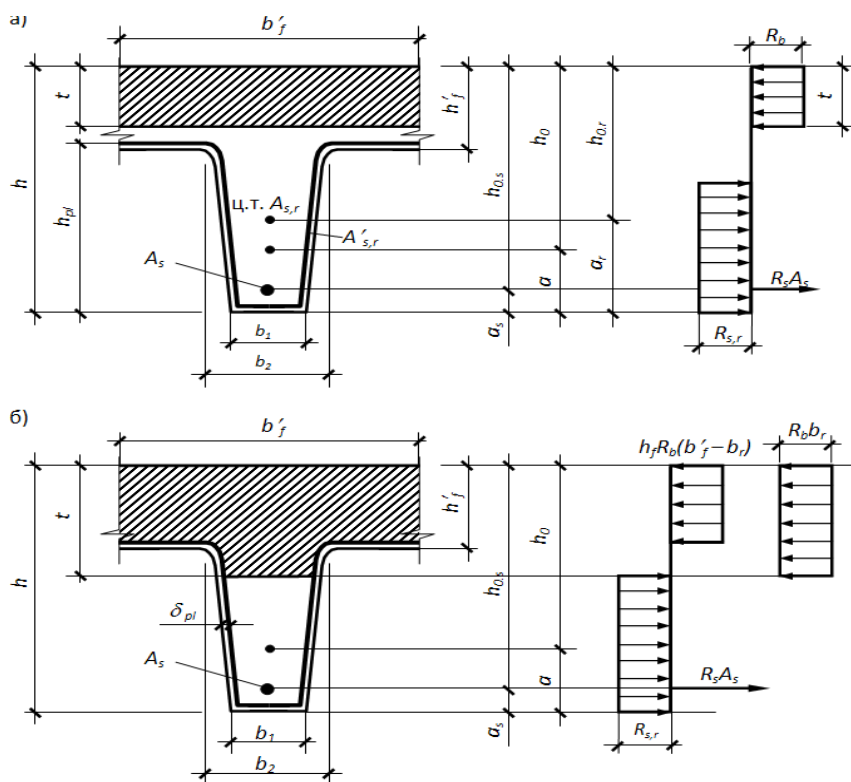


Fig. 2. I-section transversal sections and their calculated scheme:
 a – neutral line within the shelf; б – neutral line within the shelf of i-section edge

The method of calculating of bending reinforced concrete elements in non-removable formwork to a transverse force. The calculation of elements with sheet reinforcement should use by the formula:

$$Q_u \leq \frac{\varphi_{b4} R_{bt} b h_0^2}{c} + 2 R_{yw} t_w c \cdot \quad (10)$$

To calculate the movement of the bending concrete elements in non-removable formwork is received by the formula:

$$f_M = \frac{M_{poz}}{0,85 \cdot I_{red} \cdot E_s} \cdot \left(\frac{3l^2 - 4a^2}{24} \right) \cdot \quad (11)$$

The proposed formulas for calculating anchor means to ensure the mutual operation of concrete and steel in reinforced concrete structures in non-removable formwork.

Conclusion. The developed algorithms of calculation allow to calculate with sufficient accuracy to determine the efforts of destruction and curvature of steel reinforced concrete pillars, beams and floor slabs and reflect the distribution of strains and stresses not only in concrete but also in steel reinforcement. The program of calculation of the computer, which provides a satisfactory convergence with experimental data is composed by the developed methodology.

References

1. Babych, E. E. Porivnjannja vyznachennja napruzhenno-deformovanogo stysnuto-zignutyh zalizobetonnyh elenentiv z vykorystannjam riznyh diagram deformuvantja betonu / E.E. Babych // Resursoekonomichni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy: zb. Naukovykh prats`. – Rivne: NUVHP, 2009. – Vyp. 16. Ch.2.

2. Eurocod 4. Common Unified Rules for Composite Steel and concrete Structures European Committee for Standardization. (CEN) ENV. 1994 – 1-1:1992. – 180 p.
3. Fan J. Long-Term Behavior of Composite Beams under Positive and Negative Bending. I: Experimental Study / J. Fan, J. Nie, Q. Li, H. Wang // Journal of Structural Engineering. – Vol. 136. – 2010. – No. 7. – P. 849-857.
4. Flaga, K. On crack development in reinforced slab of steel concrete composite beams / K. Flaga, K. Furtak // Visnyk Natsionalnogo Universytetu «Lvivska politehnika». Teoriya i praktika. – №664. – Lviv, 2010. – P. 378-386.
5. Steel-concrete composite structures proceeding of the 4 - international conference. Kosice Slovakia. – June 1994.
6. Storozhenko, L. I. Experimental research of bendable framings made from Steel double-T with cavity filled with concrete / L.I. Storozhenko, S.V. Yakhin, O.V. Nizhnik // XLIX Conferences Naukova. – Krunica, 2003. – P. 237-244.
7. Storozhenko, L. I. Stalezalizobetonni konstruktsii / L.I. Storozhenko, O.V. Semko, V.F. Pents // Poltava: 2005. – 181 s.
8. Storozhenko, L. I. Zalizobetonni konstruktsii v neznimniy opalubtsi / L.I. Storozhenko, O.I. Lapenko // Poltava: ASMI, 2008. – 312 s.

Лапенко Олександр Іванович, д-р техн. наук, професор, Національний авіаційний університет, Навчально-науковий інститут аеропортів, завідувач кафедри комп'ютерних технологій будівництва. Тел.: (044)406-71-60, +38(067)-234-79-99. E-mail: my-partner@ukr.net.

Скребнева Дарія Сергіївна, аспірантка, Національний авіаційний університет, Навчально-науковий інститут аеропортів, кафедра комп'ютерних технологій будівництва. Тел. (044) 406-74-24, +38(093)-199-48-35. E-mail: jellybon1111@gmail.com.

Шевченко Олександра Володимирівна, аспірантка, Національний авіаційний університет, Навчально-науковий інститут аеропортів, кафедра комп'ютерних технологій будівництва. Тел.(044)406-74-24, +38(098)-075-34-99. E-mail: brygantina@mail.ru.

Масуд Надім Нурович, аспірант, Національний авіаційний університет, Навчально-науковий інститут аеропортів, кафедра комп'ютерних технологій будівництва. Тел.(044)406-74-24, +38(073)-484-43-33. E-mail: olimppzb@ukr.net.

Lapenko Olexander, Dr. techn. science, professor, National Aviation University, Educational-Scientific Institute of Airports, Computer Technologies of Construction Department. Tel.: (044) 406-71-60, +38(067)-234-79-99. E-mail: my-partner@ukr.net.

Skrebnieva Dariia, postgraduate, National Aviation University, Educational-Scientific Institute of Airports, Computer Technologies of Construction Department. Tel.: (044) 406-74-24, +38(093)-199-48-35. E-mail: jellybon1111@gmail.com.

Shevchenko Olexandra, postgraduate, National Aviation University, Educational-Scientific Institute of Airports, Computer Technologies of Construction Department. Tel.: (044) 406-74-24, +38(098)-075-34-99. E-mail: brygantina@mail.ru.

Masud Nadim, postgraduate, National Aviation University, Educational-Scientific Institute of Airports, Computer Technologies of Construction Department. Tel.(044)406-74-24,+38(073)-484-43-33.E-mail: olimppzb@ukr.net.

Стаття прийнята 20.04.2017 р.

УДК 273

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТЕЙ ПРОКЛАДОК СКРІПЛЕНЬ ТРЕП І ТРЕП-Ш

Д-р техн. наук О. М. Даренський, старш. викл. Е. А. Беліков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТЕЙ ПРОКЛАДОК СРЕПЛЕНИЙ ТРЕП И ТРЕП-Ш

Д-р техн. наук А. Н. Даренский, старш. преп. Э. А. Беликов

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF STIFFNESS OF STRIP REPLENI TRAP-N AND TRAP

Ph.D., A. N. Darenskiy, senior lecturer E. A. Byelikov

У статті надано результати експериментальних досліджень жорсткостей прокладок перспективних скріплень типів ТРЕП і ТРЕП-Ш. Дослідження проводилися в лабораторних умовах для отримання значень статичної та динамічної жорсткості при стисненні, а також жорсткості прокладок при зсуві. Випробувались як нові прокладки, так і прокладки, які були в експлуатації протягом 8 років. Це дало можливість отримати емпіричні залежності параметрів, що досліджувались, від термінів експлуатації.

Ключові слова: жорсткість підрейкової прокладки, коефіцієнт тертя вкладиша по підозві рейки, сила клемного натискання, пружні динамічні вертикальні деформації, сила монтажного натискання клеми.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований жесткостей прокладок перспективных скреплений типов ТРЕП и ТРЕП-Ш. Исследования проводились в лабораторных условиях для получения значений статической и динамической жесткости при сжатии и жесткости на сдвиг прокладки. Были исследованы новые прокладки и прокладки, которые были в эксплуатации в течение 8 лет. Исследования прокладок, которые были в эксплуатации, позволили получить эмпирические зависимости изменения указанных параметров от времени.

Ключевые слова: жесткость подрельсовой прокладки, коэффициент трения вкладыша по подошве рельса, сила клемного нажатия, упругие динамические вертикальные деформации, сила монтажного нажатия клеммы.

The article presents the results of experimental studies of horstkorta gaskets fasteners types of TRAP-N and TRAP. These bonds differ from the common bonds of KB less consumption of materials and the lack of threaded connections.

As a result of researches made in the laboratory were obtained stiffness of the gasket when compressed under static and dynamic zagrozenia. To determine the horizontal shear stiffness of bonds of these types were obtained stiffness of the pads when they shift, depending on the size of their compression by the vertical forces.

Studies of pads that have been in use, possible to obtain empirical dependences of change of these parameters over time.

Key words: stiffness of the rail pads, the coefficient of friction of liner along the base of the rail, the terminal pressing force, the elastic dynamic vertical deformation, the force pressing 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 у таких умовах є скріплення КБ. Цей тип скріплення має суттєві недоліки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання динаміки взаємодії рухомого складу і колії для умов магістральних залізниць і колій незагального користування розглядалися в роботах [1-4]. Фундаментальний внесок у вирішення питань взаємодії рухомого складу і колії належить таким науковцям: В.І. Ангелейко, Е. І. Даниленко, В. В. Рибкін, В.А. Лазарян, М. А. Фрішман, М.Ф. Веріго, С.П. Першин, В. Ф. Яковлев, А. Я. Коган. У цих дослідженнях використовувалася загальна розрахункова схема колії у вигляді балки на суцільній пружній основі. Ця схема передбачає стабільність пружних дисипативних характеристик підрейкової основи. Така схема для умов промислового транспорту надмірно ідеалізує колію та її технічний стан. У роботах розроблено 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.

Мета та задачі дослідження. Метою даної роботи є визначення результатів проведених експериментальних робіт, де були одержані параметри і залежності, що характеризують жорсткість прокладок-амортизаторів проміжних скріплень ТРЕП, ТРЕП-Ш: при стисненні при статичному навантаженні монтажними силами; при стисненні при динамічному навантаженні в діапазонах відповідно до осьових навантажень; емпіричні залежності змін динамічної жорсткості прокладки при

стисненні від термінів служби прокладок у колії; емпіричні залежності змін жорсткості прокладок при зсуві від величини їх стиснення вертикальними силами; емпіричні залежності змін жорсткості прокладки при зсуві від термінів їх служби в колії.

Основна частина дослідження

Пружні характеристики прокладок.

У дослідних розрахунках прийнято приймати жорсткість прокладки величиною постійною, замінюючи їх графічний тип (м'який чи жорсткий) на лінійний: на робочій ділянці методом хорд або дотичних. При цьому важливо правильно вибрати робочу ділянку, оскільки жорсткості елементів скріплень, одержані дослідними методами, можна використовувати тільки в межах тих амплітуд, для яких вироблена лінеаризація.

У роботах [5-11] встановлено, що під дією на вузли проміжних скріплень вертикальних сил жорсткості нешпальних і підрейкових прокладок при стисненні є складовими вертикальної жорсткості скріплень. При дії горизонтальних сил у вузлах скріплень виникають реактивні моменти опорів крученню рейки за рахунок нерівномірного стиснення прокладок, і виникають реактивні сили опору поперечному вигину рейки, на формування яких впливає робота прокладок на зсув.

При стисненні або зсуві гуми та інших полімерних матеріалів деформації продовжуються і після того, як навантаження досягає постійного значення. Якщо ці явища є оборотними, вони називаються пружною післядією [12, 13]. У результаті пружної післядії жорсткості прокладок змінюються залежно від виду діючого навантаження.

Залежність тангенціальної напруги в прокладках від деформацій зсуву в першому наближенні характеризується законом Гука:

$$\tau = G \frac{\psi}{h}, \quad (1)$$

де τ - тангенціальні напруги зсуву, Па;

ψ - деформації зсуву, м;

h - товщина шару гуми або іншого полімерного матеріалу, м;

G - модуль зсуву, Па.

Оскільки $\tau = \frac{R_{\Gamma}}{F_{\text{оп}}}$, можна записати

$$R_{\Gamma} = G \cdot F_{\text{оп}} \frac{\psi}{h}, \quad (2)$$

де R_{Γ} - горизонтальна сила, Н;

$F_{\text{оп}}$ - площа опорної поверхні прокладки, м².

Тоді жорсткість прокладки при зсуві визначається як

$$u^{\Gamma} = \frac{R_{\Gamma}}{\psi} = \frac{G \cdot F_{\text{оп}}}{h}. \quad (3)$$

Оскільки прокладка працює на зсув будучи стиснутою прикріплюючими клеями і, крім того, нерівномірно стиснутою за рахунок сумісної дії вертикальних R_y і горизонтальних R_x чи

R_z сил, то величина h є змінною. Тому потрібно експериментально визначити залежність жорсткості прокладки при зсуві як функцію величини її стиснення Δh .

Випробування проводилися пресом (дослідний прес з максимальним навантаженням 10 т) ДП-10 при статичних навантаженнях (рис. 1) і на універсальному дослідному пульсуючому гідравлічному пресі УДМ-50 при динамічному навантаженні (рис. 2).

Таким чином, при плануванні експериментальних досліджень пружних характеристик прокладок передбачалося визначити статичну і динамічну жорсткості найпоширеніших типів гумових і гумокордових прокладок скріплень типу ТРЕП і ТРЕП-Ш при стисненні і бічному зсуві.

Прокладки при динамічному навантаженні випробувалися в спеціальному пристосуванні (рис. 3), яке дозволяє проводити дослідження як на дію тільки сил стиснення (кут нахилу робочого майданчика $\alpha = 0$), так і на сумісну дію

стискальних і зсувних сил. Співвідношення зсувних і стискальних сил задавалося зміною кута нахилу робочого майданчика.



Рис. 1. Випробування на статичне навантаження прокладки ППТ і ПНТ



Рис. 2. Випробування прокладок ППТ і ПНТ при динамічному навантаженні

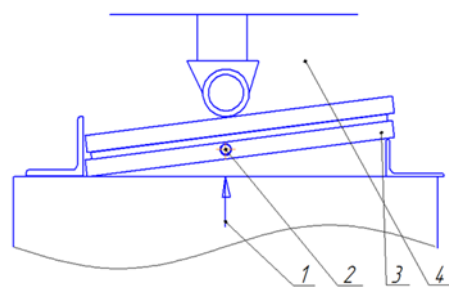


Рис. 3. Схема установки для випробувань прокладок: 1 – навантаження; 2 – мішень відеофіксації перемішень; 3 – робочий майданчик; 4 – дослідні прокладки (підрейкова чи нашпальна)

При статичних випробуваннях на стиснення прокладок навантаження прикладалося безперервно в діапазоні від 0 до 95 кН з постійною швидкістю 0,2 кН/с з подальшим повним розвантаженням.

Інтервали динамічного навантаження при випробуваннях прокладок тільки на стиснення на 100 кН відповідають навантаженням на шпалу при русі екіпажів з осьовими навантаженнями 210 кН, 265 кН, 343 кН, 440 кН.

При статичних випробуваннях деформації прокладок вимірювалися приладами годинникового типу з точністю 0,01 мм. При динамічних застосовувалася відеоцифрова система [14], точність вимірювань була оцінена 0,01 мм. Прокладки випробовувалися при позитивних температурах 12-22 °С. Перед записом деформацій заздалегідь "тренували" прокладки - приблизно 200-300 пульсацій.

При статичних і динамічних навантаженнях випробовувалося по 25 прокладок кожного типу для скріплення ТРЕП і

ТРЕП-Ш. Набуті значення піддавалися статистичній обробці за загальноприйнятою методикою з визначенням мінімальних, максимальних, середніх значень і середньоквадратичних відхилень [18].

Отримані в результаті лабораторних випробувань значення статичної U_{st} динамічної U_{din} жорсткості прокладок і середньоквадратичне відхилення цих величин наведені в табл. 1.

Збільшення динамічної жорсткості прокладок типів ППТ і ПНТ порівняно зі статичною жорсткістю складає від 1,7 до 13,7 разу при різних діапазонах навантажень, що узгоджується з даними інших досліджень.

Динамічна жорсткість прокладок зростає в 7,0-7,4 разу зі збільшенням інтервалів навантажень від 20-35 до 55-105 кН. Це можна пояснити, зокрема, деформацією рифлених прокладок і збільшенням їхніх опорних поверхонь.

Таблиця 1

Жорсткості прокладок при стисненні ТРЕП і ТРЕП-Ш на залізобетонних шпалах

Тип скріплення	Призначення прокладки	Статична жорсткість і її середньоквадратичне відхилення 0-50 мм, кН/м		Динамічна жорсткість і її середньоквадратичні відхилення, кН/м									
				Діапазони навантажень, кН (частота коливань, Гц)									
				20-35 (5,5)		30-57,5 (5,5)		45-87,5 (5,5)		55-105 (5,5)		55-105 (11,0)	
$u_{ст}$	S	$u_{дин}$	S	$u_{дин}$	S	$u_{дин}$	S	$u_{дин}$	S	$u_{дин}$	S	$u_{дин}$	S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15
ТРЕП, ТРЕП-Ш	ППТ	$12,33 \cdot 10^3$	$0,86 \cdot 10^3$	$20,6 \cdot 10^3$	$1,03 \cdot 10^3$	$63,9 \cdot 10^3$	$4,47 \cdot 10^3$	$102,4 \cdot 10^3$	$8,01 \cdot 10^3$	$148,8 \cdot 10^3$	$11,9 \cdot 10^3$	$164,3 \cdot 10^3$	$9,59 \cdot 10^3$
ТРЕП-Ш	ПНТ	$7,97 \cdot 10^3$	$0,32 \cdot 10^3$	$15,2 \cdot 10^3$	$0,91 \cdot 10^3$	$35,3 \cdot 10^3$	$2,12 \cdot 10^3$	$81,7 \cdot 10^3$	$3,27 \cdot 10^3$	$96,2 \cdot 10^3$	$5,77 \cdot 10^3$	$106,4 \cdot 10^3$	$6,36 \cdot 10^3$

З часом відбуваються зміни фізико-хімічних характеристик полімерних матеріалів і їхніх складових. У результаті цих явищ змінюються механічні характеристики матеріалу, що використовується як амортизатор у механічних пристроях і конструкціях, зокрема збільшується жорсткість таких амортизаторів. Зміни механічних характеристик прийнято називати старінням матеріалу. Збільшення амортизаційної жорсткості гумових амортизаторів при стисненні з часом відзначено в роботах [15, 17].

Для визначення кількісних характеристик змін динамічної жорсткості прокладок проміжних скріплень при стисненні в результаті старіння були проведені випробування прокладок, що були в експлуатації, за викладеною вище методикою.

Випробовувались прокладки ПНТ і підрейкова підкладка ППТ, які були зняті з дослідної ділянки «Південно-західної залізниці» після 8 років експлуатації.

У результаті випробувань прокладок, що були в експлуатації, на динамічне

стиснення було встановлено, що жорсткість прокладок типу ПНТ (ТРЕП-Ш) збільшилася в середньому на 20 %, ППТ – на 19 %.

Таким чином, припускаючи лінійну залежність зміни жорсткостей прокладок при динамічному стисненні від терміну їх служби, можна одержати емпіричні рівняння, наведені в табл. 2.

Для визначення залежності жорсткості підрейкових і нащпальних прокладок при зсуві від величини їх стиснення ΔZ вертикальними силами [11] були проведені випробування в установці, яка зображена на рис. 3. Прокладки випробовувалися під дією пульсуючого динамічного навантаження в діапазонах 20-35; 30-57,5; 40-87,5 і 55-105 кН. При кожному діапазоні навантаження кут нахилу робочого майданчика встановлювали послідовно рівним 4^0 та 8^0 . Таким чином, співвідношення, яке зсுவує і стискає, щодо навантажень складало 0,07 та 0,14 при кожному діапазоні навантажень.

Таблиця 2

Залежність змін жорсткостей прокладок при стисненні від терміну їх служби в колії (роки)

Тип скріплення	Тип прокладки	Емпірична залежність $u_{np}^{дин}(t) = f(t)$ (кН/м)	Середня помилка апроксимації, %
ТРЕП, ТРЕП-Ш	ППТ	$u_{np}^{дин}(t) = u_{np}^{дин} + 0,08 \cdot 10^4 t$	4,17
ТРЕП-Ш	ПНТ	$u_{np}^{дин}(t) = u_{np}^{дин} + 0,51 \cdot 10^4 t$	2,84

Залежність жорсткостей прокладок при зсуві від величини їх стиснення Δh є показовими функціями і були апроксимовані виразами вигляду

$$U_z^{дин} = a \cdot \Delta z^b, \quad (5)$$

де Δz – величина стиснення прокладки, м;

a, b – емпіричні параметри рівнянь.

Ці параметри були визначені методом якнайменших квадратів за даними випробу-

вань прокладок на сумісну дію стискальних і зсувних сил. Одержана залежність жорсткостей прокладок при зсуві в поперечному u^{Fz} напрямі наведені в табл. 3.

Випробування прокладок, що були в експлуатації, на сумісну дію стискальних і зсувних сил дозволило одержати емпіричну залежність зміни жорсткості прокладок при зсуві від терміну роботи їх у колії. Збільшення цієї жорсткості після 8 років експлуатації для поліуретанових прокладок скріплення ПНТ і ППТ складає в серед-

ньому 23-25 %. Застосовуючи лінійний закон зміни жорсткості прокладок при зсуві

від терміну служби, була одержана орієнтовна залежність, наведена в табл. 4.

Таблиця 3

Залежності змін жорсткостей прокладок при зсуві від величини їх стиснення Δz

Тип скріплення	Тип прокладки	Залежності жорсткості при зсуві $u_{np}^r = f(\Delta z)$, кН/м ($\Delta z \cdot 10^{-3}$, м)	Коефіцієнт кореляції
ТРЕП, ТРЕП-Ш	ППТ	$u_{ППТ}^r = 2.452 \cdot 10^3 \cdot \Delta z^{2.0312}$	0,9236
ТРЕП-Ш	ПНТ	$u_{ПНТ}^r = 1.865 \cdot 10^3 \cdot \Delta z^{2.4465}$	0,9727

Таблиця 4

Залежності змін жорсткості прокладок при зсуві від терміну їх служби в колії (роки)

Тип скріплення	Тип прокладки	Емпіричні залежності $u_{np}^r(t) = f(t)$ (кН/м)	Середня помилка апроксимації, %
ТРЕП, ТРЕП-Ш	ППТ	$U_{np}^r(t) = U_{np}^r + 0.11 \cdot 10^4 \cdot t$	4,17
ТРЕП-Ш	ПНТ	$U_{np}^r(t) = U_{np}^r + 0.31 \cdot 10^4 \cdot t$	2,84

Висновок. У результаті проведених експериментальних робіт були одержані такі параметри і залежності, що характеризують жорсткість прокладок-амортизаторів проміжних скріплень ТРЕП, ТРЕП-Ш:

- жорсткості прокладок при стисненні при статичному навантаженні монтажними силами;
- жорсткості прокладок при стисненні при динамічному навантаженні в діапазонах, відповідних осьовим навантаженням

210 кН, 265 кН, 343 кН, 440 кН на вісь спеціального рухомого складу промислового транспорту;

- емпіричні залежності змін динамічної жорсткості прокладки при стисненні від термінів служби прокладок у колії;
- емпіричні залежності змін жорсткості прокладок при зсуві від величини їх стиснення вертикальними силами;
- емпіричні залежності змін жорсткості прокладки при зсуві від термінів їх служби в колії.

Список використаних джерел

1. Bogacz, R. On new effects of wheel-rail interaction/ [Text] R. Bogacz, R.Konowrocki//Archive of Applied Mechanics. – 2012. – Т. 82. – №. 10-11. – P. 1313-1323.
2. Kaiyun Wang, Chao Huang, Wanming Zhai, Pengfei Liu, Shen Wang. Progress on wheel-rail dynamic performance of railway curve negotiation // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). – 2014. – № 1. – P. 209-220.
3. Dailydka, S. Modelling the interaction between railway wheel and rail [Text] / J. Sadeghi, S. Shoja // Transport. – 2008. – Т. 23. – №. 3. – С. 236-239.
4. Otero, J. A mathematical model to study railway track dynamics for the prediction of vibration levels generated by rail vehicles [Text] / J. Otero, M.A. Martínez, de los Santos,

S.Cardona // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F:Journal of Rail and Rapid Transit. – 2011. – P. 62-71.

5. Даренський, О. М. Аналіз просторової жорсткості скріплення типу КППТ-7 [Текст] / О. М. Даренський, Е. А. Беліков // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 151. – Т. 2. – С. 185.

6. Даренський, О. М. Перспективні конструкції проміжних скріплень для умов промислового залізничного транспорту [Текст] / О. М. Даренський, Е. А. Беліков // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – № 2. – С. 57-61.

7. Даренський, О. М. Аналіз розвитку теорій розрахунків залізничних колій [Текст] / О. М. Даренський, Е. А. Беліков // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 149-155.

8. Даренський, О. М. Аналіз горизонтальної поперечної жорсткості скріплення КППТ-7 [Текст] / О. М. Даренський, Е. А. Беліков // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 155. – С. 28-30.

9. Даренський, О. М. Жорсткість скріплень КППТ-7 під дією горизонтальних поперечних сил [Текст] / О. М. Даренський, Е. А. Беліков // Залізничний транспорт України. – 2015. – № 5. – С. 33-36.

10. Даренський, О. М. Аналіз вертикальної просторової жорсткості скріплення типу КППТ-7 [Текст] // О. М. Даренський, Е. А. Беліков // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 155. – С. 190-195.

11. ГОСТ 252-75. Резина. Метод определения относительного гистерезиса и полезной упругости при растяжении [Текст]. – Введ. 01.01.77 до 01.01.87. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 5 с.

12. Дырда, В. И. Расчет силовых резинотехнических изделий, используемых в горном машиностроении [Текст] / В. И. Дырда, А. В. Мазнецова, Т. Е. Твердохлеб. – М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1991. – 64 с.

13. Даренский, А. Н. Видеоцифровая система элементов измерения перемещений железнодорожного пути [Текст] / А.Н. Даренский, Н.В. Бугаец, В.Г. Витольберг // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 109. – С. 222-231.

14. Карпущенко, Н. И. Совершенствование рельсовых скреплений [Текст] / Н. И. Карпущенко, Н. И. Антонов. – Новосибирск: Изд-во СГУСа, 2003. – 300 с.

15. Ладыгин, Ю. Н. Лабораторные испытания рельсовых скреплений [Текст] / Ю. Н. Ладыгин, Ю. М. Стойда // Путь и путевое хозяйство. – 2005. – № 12. – С. 8-12.

16. Технічні вказівки з використання старопридатних матеріалів верхньої будови колії на залізницях України (ЦП-0150) [Текст]. – К.: Держ. адмін. залізн. транспорту України, 2006. – 56 с.

17. Даренський, О. М. Експериментальне визначення пружних характеристик елементів проміжного скріплення КПП-5 [Текст] / О.М. Даренський, В.Г. Вітольберг // Зб. наук. праць ДонНІИЖТ. – 2008. – № 13. – С. 139-143.

Даренський Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту.

Беліков Едуард Анатолійович, старший викладач, завідувач навчальної лабораторії кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-67.

Darenskiy Alexander Nikolaevich, Ph.D., Professor of Department "Road and Track facilities", Ukrainian State University of Railway Transport.

Byelikov Eduard Anatolyevich, senior lecturer, head of school laboratory of the Department «Road and trak facilities» Ukrainian state University of railway transport. Tel. 730-10-67.

Стаття прийнята 25.04.2017 р.

УДК 656.224

**МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У КРУПНОМУ
ТРАНСПОРТНОМУ ВУЗЛІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РЕЙКОВИХ АВТОБУСІВ**

Кандидати техн. наук О. В. Розсоха, Г. В. Шаповал,
магістранти А. В. Боков, Р. О. Щербинін

**МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПАСАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В КРУПНОМ
ТРАНСПОРТНОМ УЗЛЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЛЬСОВЫХ АВТОБУСОВ**

Кандидаты техн. наук А. В. Розсоха, А. В. Шаповал,
магистранты А. В. Боков, Р. О. Щербынин

**MODEL OF OPTIMIZATION OF PASSENGER TRANSPORTATION IN A LARGE
TRANSPORT HUBS AT THE USE OF RAIL BUSES**

Ph.D. O. Rozsokha, A. Shapoval,
magistrands A. Bokov, R. Shcherbynin

У роботі пропонується математична модель оптимізації діяльності крупного транспортного вузла, у якій враховуються тільки пасажирські перевезення. Метою оптимізації є визначення кількості рейкових автобусів, що приписані до вузла; оптимальних тарифів на перевезення; розподіл транспортних одиниць за напрямками залежно від випадкового попиту на перевезення. Враховується можливість залучення додаткових транспортних одиниць у випадку недостатності власних. У моделі враховано вплив конкурентного автомобільного транспорту.

Запропонована математична модель заснована на двохетапній дворівневій задачі стохастичного програмування з квантильним критерієм. Дана постановка задачі враховує в собі декілька відомих підходів до моделювання складних економічних відносин.

Ключові слова: *пасажирські перевезення, оптимізація, математична модель, рейковий автобус.*

В работе предлагается математическая модель оптимизации деятельности крупного транспортного узла, в которой учитываются только пассажирские перевозки. Целью оптимизации является определение числа рельсовых автобусов, приписанных к узлу; оптимальных тарифов на перевозки; распределение транспортных единиц по направлениям в зависимости от случайного спроса на перевозки. Учитывается возможность привлечения дополнительных транспортных единиц в случае недостаточности собственных. В модели учтено влияние конкурентного автомобильного транспорта.

Предложенная математическая модель основана на двухэтапной двухуровневой задаче стохастического программирования с квантильным критерием. Данная постановка задачи учитывает в себе несколько известных подходов к моделированию сложных экономических отношений.

Процесс принятия решений в данной модели имеет двухэтапную структуру. Для моделирования двухэтапности структуры принятия решения используется двухэтапная задача стохастического линейного программирования. Стратегией первого этапа является число рельсовых автобусов, приписанных к узлу, и тарифы на перевозку по каждому из направлений. На втором этапе рельсовые автобусы распределяются по направлениям в транспортном узле в зависимости от реализации случайного спроса на перевозки.

Для учета влияния конкурента используется двухуровневая задача. Предполагается участие на рынке двух игроков: лидера (транспортного узла) и последователя (конкурента в виде автотранспорта). Последователь выбирает свою стратегию, зная стратегию лидера. Стратегией последователя есть цены на перевозки по каждому из направлений и соответствующие объемы перевозок. Лидер при выборе своей оптимальной стратегии учитывает оптимальную стратегию последователя.

Ключевые слова: пассажирские перевозки, оптимизация, математическая модель, рельсовый автобус.

In this paper, a mathematical model for optimizing the activity of a large transport hub is proposed. The proposed model takes into account only passenger transportation. The goal of optimization is to determine: the number of rail buses assigned to the node; Optimal tariffs for transportation; Distribution of transport units in directions depending on the random demand for transportation. The possibility of attracting additional transport units in case of inadequate own transport is taken into account. The model takes into account the impact of competitive motor transport.

The proposed mathematical model is based on a two-stage two-level stochastic programming problem with a quantile criterion. This formulation of the problem takes into account several known approaches to modeling complex economic relations.

The decision-making process in this model has a two-stage structure. To simulate the two-stage structure of decision-making, a two-stage problem of stochastic linear programming is used. The strategy of the first stage is the number of rail buses assigned to the node, and tariffs for transportation in each direction. At the second stage, the rail buses are distributed along the directions in the transport hub, depending on the realization of the random demand for transportation.

In this case, there is the possibility of attracting for an additional fee rail buses, not assigned to the node. Rail buses serve both the directions of the transport hub and the directions from other transport nodes to the node that is being considered. So, the strategy of the second stage is the number of own rail buses allocated for transportation in each direction, and the number of additional provided rail buses in each direction.

The strategy of the first stage is determined for several planned periods. In each of the planned periods, the strategy of the second stage is selected anew, depending on the implementation of random demand and the chosen strategy of the first stage.

To take into account the influence of the competitor, a two-level task is used. It assumes the participation of two players in the market: the leader (transport hub) and the follower (competitor in the form of vehicles). The follower chooses his strategy, knowing the strategy of the leader. The follower strategy is the prices for transportation in each direction and the corresponding volumes of traffic. The leader in choosing his optimal strategy takes into account the optimal strategy of the follower.

Key words: passenger transportation, optimization, mathematical model, rail bus.

Вступ. Тенденції сьогодення на ринку транспортних послуг з перевезення пасажирів призводять до зменшення ролі залізничного та підвищення значення автомобільного й повітряного транспорту. Існує необхідність здійснювати заходи з підвищення привабливості перевезень пасажирів залізничного транспорту. Такі

заходи дають можливість галузі залізничного транспорту зберегти і ефективно використовувати існуючий технічний потенціал для здійснення структурних технологічних змін і збереження конкурентних переваг перед іншими видами транспорту.

Розподіл пасажиропотоків у крупних транспортних вузлах і визначення технічного потенціалу для його реалізації має велике значення. Особливо актуальною ця проблематика є при наявності декількох конкурентних видів транспорту. Транспортна система повинна бути гнучкою в реалізації потреб населення в перевезеннях. При цьому повинно бути забезпечено також і ефективне використання ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у розвиток теорії ефективної організації пасажирських перевезень у залізничних вузлах зробили такі вчені: Н. І. Бещева, Т. В. Бутько, П. С. Грунтов, Ф. П. Кочнев, В. Я. Негрей, О. М. Огар, М. Я. Стефанов, М. В. Правдін, А. В. Прохорченко, М. П. Іхненко, Ю. О. Пазойський та ін. [1, 2].

Існуючі методи визначення величини пасажиропотоку та розмірів руху пасажирських поїздів, розроблені вищеназваними авторами, були в основному спрямовані для поїздів звичайних магістралей залізниць. Вимогам надійності перевізного процесу та гнучкості його реалізації для сучасних ринкових умов уваги значно не приділялось.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даних досліджень є підвищення якості функціонування крупних транспортних вузлів шляхом організації пасажирських перевезень. Одним із відповідних заходів є розроблення моделі їх оптимізації при використанні рейкових автобусів.

Основна частина дослідження. Задачі оптимізації та управління складними економічними системами є предметом вивчення ряду суміжних математичних дисциплін. Практична реалізація логістичних технологій у транспортних системах повинна передбачати обов'язково врахування динаміки в прийнятті рішень, оскільки під час реалізації рішень можливі зміни певного характеру (зміна попиту, цін та ін.). При цьому виникає необхідність врахування впливу на систему випадкових

факторів і підвищення вимог до забезпечення високого рівня надійності досягнення бажаного результату при реалізації стратегії. З іншого боку, при прийнятті рішення необхідно враховувати інтереси різних суб'єктів на всіх рівнях функціонування системи.

Облік динаміки при прийнятті рішення можна здійснити за допомогою двохетапних задач стохастичного програмування, у яких стратегія другого етапу дозволяє коректувати вихідну стратегію за фактом виникнення реалізації випадкових параметрів, що діють на систему [2]. Традиційно двохетапні задачі формулюються з критеріальною функцією у формі математичного очікування. Критеріальна функція у формі математичного очікування дозволяє отримувати стратегію, що забезпечує високий прибуток у середньому. Але при моделюванні складних систем необхідно враховувати вимоги надійності. Для цього може бути використана критеріальна функція у формі квантиля, що дозволяє отримувати результат з заданою імовірністю [3].

Вперше двохетапна задача квантильної оптимізації була сформульована в роботі [4]. Математичні моделі економічних систем, які засновані на двохетапній задачі квантильної оптимізації, описані в роботах [5, 6, 7]. Через складність постановок, що розглядаються, точні розв'язки цих задач вдається отримати тільки в деяких випадках.

Врахування інтересів різних суб'єктів вимагає розгляду ігрових моделей. Моделювання конкуренції можливе за допомогою дворівневих задач [8, 9]. Дворівневі задачі в стохастичній постановці формулюються в основному з критеріальною функцією у формі математичного очікування [10].

У роботі пропонується математична модель оптимізації діяльності крупного транспортного вузла, в якій враховуються тільки пасажирські перевезення. Метою

оптимізації є визначення кількості рейкових автобусів, що приписані до вузла; оптимальних тарифів на перевезення; розподіл транспортних одиниць за напрямками залежно від випадкового попиту на перевезення. Враховується можливість залучення додаткових транспортних одиниць у випадку недостатності власних. У моделі враховано вплив конкурентного автомобільного транспорту.

Запропонована математична модель заснована на двохетапній дворівневій задачі стохастичного програмування з квантильним критерієм. Дана постановка задачі враховує в собі декілька відомих підходів до моделювання складних економічних відносин.

Процес прийняття рішень у даній моделі має двохетапну структуру. Для моделювання двохетапності структури прийняття рішення використовується двохетапна задача стохастичного лінійного програмування. Стратегією першого етапу є кількість рейкових автобусів, що приписані до вузла, і тарифи на перевезення по кожному з напрямків. На другому етапі рейкові автобуси розподіляються за напрямками у транспортному вузлі залежно від реалізації випадкового попиту на перевезення.

При цьому існує можливість залучення за додаткову плату рейкових автобусів, що не приписані до вузла. Рейкові автобуси обслуговують як напрямки з транспортного вузла, так і напрямки з інших транспортних вузлів у вузол, що розглядається. Отже, стратегією другого етапу є кількість власних рейкових автобусів, виділених для перевезень по кожному з напрямків, і кількість додатково наданих рейкових автобусів на кожному з напрямків.

Стратегія першого етапу визначається на декілька планових періодів. У кожному з планових періодів стратегія другого етапу

обирається заново залежно від реалізації випадкового попиту та обраної стратегії першого етапу.

Для урахування впливу конкурента використовується дворівнева задача. Передбачається участь на ринку двох гравців: лідера (транспортного вузла) і послідовника (конкурента у вигляді автотранспорту). Послідовник обирає свою стратегію, знаючи стратегію лідера. Стратегією послідовника є ціни на перевезення по кожному з напрямків і відповідні обсяги перевезень. Лідер при виборі своєї оптимальної стратегії враховує оптимальну стратегію послідовника.

Постановка задачі. Надано до розгляду крупний транспортний вузол, що обслуговує n напрямків. Ці напрямки відповідають іншим транспортним вузлам. Стратегією першого етапу є вектор $u = (u_1, u_1, \dots, u_n)^T$, де $u_i \in \mathbf{R}$ – тариф на перевезення одного пасажера на i -му напрямку, і величина $u_0 \in \mathbf{Z}$ – кількість рейкових автобусів, що обслуговуються в депо розглядуваного транспортного вузла.

Відомі витрати c на утримання рейкового автобуса протягом одного планового періоду.

Нехай \overrightarrow{X}_i – попит на перевезення з даного вузла в напрямку до i -го транспортного вузла протягом планового періоду; \overleftarrow{X}_i – попит на перевезення з i -го вузла в напрямку даного транспортного вузла протягом планового періоду, $i = \overline{1, n}$. Відповідні реалізації попиту будемо позначати \overrightarrow{x}_i та \overleftarrow{x}_i . Будемо вважати, що попит вимірюється в кількості пасажирів.

Введемо позначення

$$X = \left(\overrightarrow{X}_1, \overrightarrow{X}_2, \dots, \overrightarrow{X}_n, \overleftarrow{X}_1, \overleftarrow{X}_2, \dots, \overleftarrow{X}_n \right)^T,$$

$$x = \left(\overrightarrow{x}_1, \overrightarrow{x}_2, \dots, \overrightarrow{x}_n, \overleftarrow{x}_1, \overleftarrow{x}_2, \dots, \overleftarrow{x}_n \right)^T.$$

Для кожного напрямку відомий максимально можливий тариф \overline{u}_i на перевезення одного пасажера, $i = \overline{1, n}$. Дані величини регулюються антимонопольним комітетом. Позначимо $\overline{u} = (\overline{u}_1, \overline{u}_1, \dots, \overline{u}_n)^T$. Також відомо максимально можлива

кількість рейкових автобусів (інвентарний парк) \overline{u}_0 .

Дохід транспортного вузла, який взято з протилежним знаком (витрати), є оптимальним значенням критеріальної функції $\Phi(u_0, u, x)$ задачі другого типу.

Розглянемо функцію квантиля оптимального значення критеріальної функції задачі другого етапу

$$\Phi_\alpha(u_0, u) = \min \{ \varphi : P\{\Phi(u_0, u, X) \leq \varphi\} \geq \alpha \}, \quad (1)$$

де $P\{\Phi(u_0, u, X) \leq \varphi\}$ – імовірнісна міра, породжена розподілом випадкового вектора X .

Задача першого етапу формулюється у вигляді

$$cu_0 + \Phi_\alpha(u_0, u) \rightarrow \min_{u_0, u} \quad (2)$$

при обмеженнях

$$0 \leq u_i \leq \overline{u}_i, \quad i = \overline{0, n}. \quad (3)$$

Позначимо оптимальний розв'язок задачі першого етапу (u_0^*, u^*) .

Критеріальна функція (2) є сумою витрат на утримання рейкових автобусів і втрат, що пов'язані з реалізацією стратегії другого етапу і не можуть бути перебільшені з імовірністю α . Таким чином, критеріальна функція (2) являє собою мінімальні втрати, які не можуть бути перебільшені з імовірністю α .

Стратегією другого етапу є вектор

$$y = \left(\overrightarrow{y}_1^T, \overleftarrow{y}_1^T, \overrightarrow{y}_2^T, \overleftarrow{y}_2^T \right)^T \in Z^{4n}, \quad \overrightarrow{y}_1, \overleftarrow{y}_1, \overrightarrow{y}_2, \overleftarrow{y}_2 \in Z^n,$$

де \overrightarrow{y}_{1i} – кількість рейкових автобусів, задіяних у перевезеннях з вузла, що розглядається, у напрямку i -го вузла;

\overleftarrow{y}_{1i} – кількість рейкових автобусів, задіяних у перевезеннях з i -го вузла до вузла, що розглядається;

\overrightarrow{y}_{2i} – кількість рейкових автобусів, додатково задіяних у перевезеннях з вузла, що розглядається, у напрямку i -го вузла;

\overleftarrow{y}_{2i} – кількість рейкових автобусів, додатково задіяних у перевезеннях з i -го вузла до вузла, що розглядається.

Відомі такі величини: S_i^t – собівартість перевезень пасажирського поїзда (рейкового автобуса) в i -му напрямку (напрямок до i -го транспортного вузла та назад); d_i – вартість залучення додаткового рейкового автобуса на i -й напрямку; \overline{S}_i^t – собівартість руху рейкового автобуса без пасажирів в i -му напрямку; m – кількість пасажирів, що перевозяться одним рейковим автобусом; β – коефіцієнт, що враховує перевагу пасажирів при виборі виду транспорту. Якщо $\beta > 1$, то у випадку рівнозначних

тарифів на перевезення пасажир надає перевагу залізниці, при $0 < \beta \leq 1$ – автомобільному транспорту.

Нехай $\overrightarrow{z}_{1i}^*$ – оптимальний обсяг перевезень пасажирів з даного вузла до i -го транспортного вузла послідовником;

\overleftarrow{z}_{1i}^* – оптимальний обсяг перевезень пасажирів з i -го транспортного вузла в напрямку даного вузла; z_{2i}^* – оптимальна ціна на перевезення одного пасажир в i -му напрямку автотранспортом.

Введемо позначення

$$\begin{aligned} z_1^* &= \left(\overrightarrow{z}_{11}^*, \overrightarrow{z}_{12}^*, \dots, \overrightarrow{z}_{1n}^*, \overleftarrow{z}_{11}^*, \overleftarrow{z}_{12}^*, \dots, \overleftarrow{z}_{1n}^* \right)^T, \\ z_2^* &= \left(z_{21}^*, z_{22}^*, \dots, z_{2n}^* \right)^T. \end{aligned}$$

Множину оптимальних стратегій (z_1^*, z_2^*) послідовника позначимо $Z(u, y, x)$. Дана множина залежить від стратегії лідера, реалізації випадкового

попиту і визначається шляхом розв’язання задачі послідовника.

Сформулюємо задачу другого етапу в оптимістичній постановці [9]

$$\Phi(u_0, u, x) \stackrel{\Delta}{=} \min_y \min_{(z_1^*, z_2^*) \in Z(u, y, x)} \sum_{i=1}^n \left((S_i^t - mu_i) \left(\overrightarrow{y}_{1i} + \overleftarrow{y}_{1i} + \overrightarrow{y}_{2i} + \overleftarrow{y}_{2i} \right) + d_i \left(\overrightarrow{y}_{2i} + \overleftarrow{y}_{2i} \right) + S_i^t \left| \overrightarrow{y}_{1i} - \overleftarrow{y}_{1i} \right| \right) \quad (4)$$

при обмеженнях

$$\sum_{i=1}^n \max \left(\overrightarrow{y}_{1i}, \overleftarrow{y}_{1i} \right) \leq u_0; \quad (5)$$

$$m \left(\overrightarrow{y}_{1i} + \overrightarrow{y}_{2i} \right) \leq \overrightarrow{x}_i, \quad i = \overline{1, n}; \quad (6)$$

$$m \left(\overleftarrow{y}_{1i} + \overleftarrow{y}_{2i} \right) \leq \overleftarrow{x}_i, \quad i = \overline{1, n}; \quad (7)$$

$$m \left(\overrightarrow{y}_{1i} + \overrightarrow{y}_{2i} \right) \leq \overrightarrow{x}_i - z_{1i}^*, \quad \text{если } u_i \geq \beta z_{2i}^*, \quad i = \overline{1, n}; \quad (8)$$

$$m \left(\overleftarrow{y}_{1i} + \overleftarrow{y}_{2i} \right) \leq \overleftarrow{x}_i - \overleftarrow{z}_{1i}^*, \quad \text{если } u_i \geq \beta z_{2i}^*, \quad i = \overline{1, n}; \quad (9)$$

$$\overrightarrow{y}_{li} \geq 0, \quad \overleftarrow{y}_{li} \geq 0, \quad l = 1, 2; \quad i = \overline{1, n}. \quad (10)$$

Дана задача другого етапу для лідера сформульована в оптимістичній постановці. Це означає, що у випадку, якщо для послідовника декілька стратегій є рівноцінними, він обирає з них ту, яка є найбільш сприятливою для лідера. Можливий варіант розгляду песимістичної постановки. У цьому випадку лідер враховує найгіршу для себе оптимальну стратегію послідовника.

Критеріальна функція задачі другого етапу для лідера являє собою суму втрат за всіма напрямками. Для кожного з напрямків втрати являють собою суму трьох складових: перша складова $(S_i^t - m u_i) (y_{1i} + y_{1i} + y_{2i} + y_{2i})$ є доходом від перевезень, взятим з протилежним знаком; друга складова

$d_i (y_{2i} + y_{2i})$ є витратами на залучення додаткових рейкових автобусів; третя складова $\overline{S}_i^t |y_{1i} - y_{1i}|$ являє собою витрати на перевезення рейкових автобусів без пасажирів.

Умова (5) обмежує кількість власних рейкових автобусів даного вузла величиною u_0 , що є стратегією першого етапу. Обмеження (6), (7) означають, що обсяг перевезень не може перевищувати попит на них. Обмеження (8), (9) означають, що у випадку більш вигідної цінової політики послідовника обсяг перевезень лідера не може перевищувати попит, який залишився після перевезень послідовником.

Стратегією послідовника є змінні

$$z_1 = \left(z_{11}, z_{12}, \dots, z_{1n}, z_{11}, z_{12}, \dots, z_{1n} \right)^T,$$

$$z_2 = \left(z_{21}, z_{22}, \dots, z_{2n} \right)^T.$$

де z_{1i} – обсяг перевезень автомобільним транспортом з даного транспортного вузла по i -му напрямку, пас.; z_{1i} – обсяг перевезень автомобільним транспортом з i -го транспортного вузла в даний вузол, пас.; z_{2i} – тариф на перевезення одного пасажирів автомобільним транспортом в i -му напрямку.

Відомі величини \overline{z}_1 – максимальна кількість пасажирів, яку може перевезти конкурент; S_i^a – собівартість перевезень одного пасажирів в i -му напрямку автотранспортом; \overline{S}_i^a – вартість перевезень порожнього транспорту, здатного перевезти одного пасажирів в i -му напрямку.

Задача послідовника формулюється як

$$Z(u, y, x) = \underset{z_1, z_2}{\text{Arg min}} \sum_{i=1}^n \left((S_i^a - z_{2i}) (z_{1i} + z_{1i} + y_{2i} + y_{2i}) + \overline{S}_i^a |z_{1i} - z_{1i}| \right) \quad (11)$$

при обмеженнях

$$\sum_{i=1}^n \max(\overrightarrow{z_{1i}}, \overleftarrow{z_{1i}}) \leq \overline{z_1}; \quad (12)$$

$$0 \leq z_{2i} \leq \overline{u_i}, \quad i = \overline{1, n}; \quad (13)$$

$$\overrightarrow{z_{1i}} \leq \overrightarrow{x_i}, \quad i = \overline{1, n}; \quad (14)$$

$$\overleftarrow{z_{1i}} \leq \overleftarrow{x_i}, \quad i = \overline{1, n}; \quad (15)$$

$$\overrightarrow{z_{1i}} \leq \overrightarrow{x_i} - m(\overrightarrow{y_{1i}} + \overrightarrow{y_{2i}}), \text{ если } \beta z_{2i} > u_i, \quad i = \overline{1, n}; \quad (16)$$

$$\overleftarrow{z_{1i}} \leq \overleftarrow{x_i} - m(\overleftarrow{y_{1i}} + \overleftarrow{y_{2i}}), \text{ если } \beta z_{2i} > u_i, \quad i = \overline{1, n}; \quad (17)$$

$$\overrightarrow{y_{li}} \geq 0, \quad \overleftarrow{y_{li}} \geq 0, \quad l = 1, 2; \quad i = \overline{1, n}. \quad (18)$$

Критеріальна функція (11) являє собою суму втрат послідовника за всіма напрямками. Для кожного з напрямків втрати є сумою двох складових: перша складова

$$\left(S_i^a - z_{2i} \left(\overrightarrow{z_{1i}} + \overleftarrow{z_{1i}} + \overrightarrow{y_{2i}} + \overleftarrow{y_{2i}} \right) \right) \epsilon$$

доходом від перевезень, який взято з протилежним знаком, друга складова

$$S_i^a \left| \overrightarrow{z_{1i}} - \overleftarrow{z_{1i}} \right| - \text{витрати на перевезення}$$

порожнього транспорту.

Обмеження (12) пов'язано з наявною кількістю транспортних засобів. Вимога (13) обмежує тарифи величиною, яка погоджується з антимонопольним комітетом. Обмеження (14), (15) означають, що у випадку більш вигідної цінової політики лідера обсяг перевезень послідовника не може перевищувати величину попиту, яка залишається після перевезення лідером.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. У даній роботі представлено модель оптимізації діяльності залізничного транспорту при організації пасажирських перевезень у крупному транспортному вузлі з використанням рейкових автобусів.

Запропоновано математичну модель, засновану на двохетапній дворівневій задачі стохастичного програмування з квантильним критерієм.

При оптимізаційних розрахунках визначають кількість рейкових автобусів, що приписані до вузла; оптимальні тарифи на перевезення; кількість транспортних одиниць за напрямками залежно від випадкового попиту на перевезення. Враховується можливість залучення додаткових транспортних одиниць у випадку недостатності власних. У моделі враховано вплив конкурентного транспорту (автомобільного).

Розв'язання даної задачі в загальному вигляді потребує залучення методів статистичного моделювання та нелінійного програмування.

Список використаних джерел

1. Розсоха, О. В. Моделирование пассажирских потоков высокоскоростных железных магистралей [Текст] / О.В. Розсоха, В.М. Солонец // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 5–13.
2. Birge J., Louveaux F. Introduction to Stochastic Programming. – New York: Springer-Verlag, 1997. – 510 p.
3. Кибзун, А. И. Задачи стохастического программирования с вероятностными критериями [Текст] / А.И. Кибзун, Ю.С. Кан. – М. : Физматлит, 2009. – 372 с.
4. Кибзун, А. И. Двухэтапные задачи квантильного линейного программирования [Текст] / А.И. Кибзун, А.В. Наумов // Автоматика и телемеханика. – 1995. – № 1. – С. 83-93.
5. Наумов, А. В. Двухэтапная задача квантильной оптимизации бюджета госпиталя [Текст] / А.В. Наумов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 1996. – № 2. – С. 87-90.
6. Наумов, А. В. Двухэтапная задача квантильной оптимизации инвестиционного проекта [Текст] / А.В. Наумов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2010. – № 2. – С. 33-40.
7. Наумов, А. В. Решение двухэтапной задачи логистики в квантильной постановке [Текст] / А.В. Наумов, А.Б. Богданов // Автоматика и телемеханика. – 2006. – № 12. – С. 36-42.
8. Bard J. Practical Bilevel Optimization: Algorithms and Applications. – New York: Springer-Verlag, 1999. – 488 p.
9. Dempe S. Foundations of Bilevel programming. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. – 312 p.
10. Werner A.S. Bilevel Stochastic programming problems: analysis and application to telecommunications: Dr. ing. thesis // Section of Investment, Finance and Accounting, Dept of Industrial Economics and Technology Management, Nust, Norway, 2004. – 165 p.

Розсоха Олександр Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: s4749@ukr.net.
Шаповал Ганна Василівна, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.
Боков Андрій Вікторович, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. enzor@i.ua.
Щербинін Руслан Олегович, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. 93.ruslan@inbox.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.

Shapoval Ganna, Associate Professor, Doctor of Science (Ph.D.), Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.

Bokov Andrii, magistrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: enzor@i.ua.

Shcherbynin Ruslan, magistrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: ruslan@inbox.ru.

Стаття прийнята 26.04.2017 р.

УДК 691.327, 693.9

ЕФЕКТИВНІ СТІНОВІ СИСТЕМИ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Канд. техн. наук Є. М. Петрикова, асп. О. В. Михайлов (КНУБіА)

ЭФФЕКТИВНЫЕ СТЕНОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Канд. техн. наук Е. Н. Петрикова, асп. А. В. Михайлов (КНУСиА)

EFFICIENT WALL SYSTEMS FOR OBJECTS OF RAILWAY INFRASTRUCTURE

Associate professor E. Petrikova, PhD student A. Mikhylov (Kyiv National University of Construction and Architecture)

У статті досліджено можливість застосування різних стінових систем на об'єктах інфраструктури залізниці та проведено порівняння за основними експлуатаційними показниками, які є важливими для забезпечення нормальних умов роботи людей, а саме теплотехнічні показники: теплопровідність матеріалу, опір теплопередачі конструкції, паропроникність, що відповідає за комфортні умови перебування людини в приміщенні. Розглядався також час монтажу конструкції, оскільки час в логістичному бізнесі є одним з основних показників, який впливає на собівартість перевезень.

Ключові слова: *стінові системи, опір теплопередачі, ефективність, довговічність, екологічність, піноперлітобетон, суцільність конструкції, критерії.*

В статье исследована возможность применения различных стеновых систем на объектах инфраструктуры железной дороги и проведено сравнение по основным эксплуатационным показателями которые важны для обеспечения нормальных условий работы людей, а именно такие теплотехнические показатели: теплопроводность, сопротивление теплопередаче конструкций, паропроницаемость, отвечающая за комфортные условия пребывания людей в помещении. Рассматривалось также время монтажа конструкции, поскольку время в логистическом бизнесе является одним из основных показателей, влияющих на себестоимость.

Ключевые слова: *стеновые системы, сопротивление теплопередаче, эффективность, долговечность, экологичность, пеноперлитобетон, целостность конструкции, критерии.*

The article explores the possibility of using different wall systems on the objects of the railway infrastructure, and compares the main performance indicators with what are important to ensure the normal conditions of human robots, as well as thermal performance of heat conduction, resistance to heat transfer of structures, vapor permeability, this indicator is responsible for comfortable conditions of people stay in room . The time of installation of the structure was also considered, since time in the logistics business is one of the main indicators that affects the cost price.

The comparison was made between the most common wall systems, such as a three-layer wall panel, foam perlite concrete walls, and walls with the use of technology ventilated faced, and facade with a plaster ball. All the presented systems fully comply with the normative requirements

for construction, but the most suitable ones for the use in the railway infrastructure are options for the construction of structures.

Keywords: Wall systems, heat resistance, effectiveness, durability, ecological compatibility, foam-perlite concrete, design integrity, criteria.

Вступ. Всі ми знаємо, що залізниця – це не тільки інженерні споруди, які потрібні для забезпечення надійного і стабільного руху потягів, але і об'єкти інфраструктури. Залізничний транспорт неможливо уявити без таких об'єктів інфраструктури, як залізничні вокзали, депо, адміністративні, диспетчерські приміщення та багатьох інших споруд.

До будівель на залізниці ставлять жорсткі вимоги, особливу увагу приділяють таким показникам, як безпечність, оскільки ці будівлі відносять до громадських, деякі будівлі піддаються впливу складних технологічних факторів, таких як струм, перевезення горючих матеріалів, низькочастотна вібрація. Ці аспекти висувають вимоги до горючості матеріалів, з яких виконані будівлі; довговічності будівель, оскільки за допомогою залізничного транспорту перевозять дуже багато агресивних речовин, також відходів, солей та ін. Особливу увагу на залізниці приділяють швидкості зведення конструкцій, оскільки часто будівництво біля залізниці ускладнює рух потягів та призводить до збитків, також важливою потребою є можливість демонтажу і подальшого перенесення конструкції. Тому цікавість викликають ефективні швидкокомтовані стінові конструкції. Будівельні управління при залізниці давно вже обрали технологію «збірних залізобетонних конструкцій» як найбільш швидкий, надійний, економічно доцільний спосіб будівництва. **Зовнішні стіни** – найбільш складна конструкція будівлі. Вони піддаються численним і різноманітним силовим і несиловим впливам. Стіни сприймають власну масу, постійні і тимчасові навантаження від перекриттів і дахів, вплив вітру, деформацій земної поверхні, сейсмічних

сил і ін. Із зовнішнього боку зовнішні стіни підлягають впливу сонячної радіації, атмосферних опадів, змінних температур і вологого зовнішнього повітря, зовнішнього шуму, а з внутрішнього – впливу теплового потоку, потоку водяної пари, шуму. Виконуючи функцію зовнішньої огорожувальної конструкції і композиційного елемента фасадів, а часто несучої конструкції, **зовнішня стіна повинна відповідати вимогам** міцності, довговічності та вогнестійкості, що відповідає класу капітальності будівлі, захищати приміщення від несприятливих зовнішніх впливів, забезпечувати необхідний температурно-вологісний режим огорожувальних приміщень, володіти декоративними якостями. Одночасно конструкція зовнішньої стіни повинна задовольняти індустріальні вимоги, а також економічні вимоги щодо мінімальної матеріаломісткості і вартості, так як зовнішні стіни є найбільш дорогою конструкцією (20-25 % вартості конструкцій будівлі) [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На будівельному ринку України представлено широке розмаїття рішень для стінових огорожувальних конструкцій будівель. Причому різність їх підходів дозволяє робити стінові огорожувальні конструкції ефективними та різноманітними, покращити теплофізичні показники. За рахунок цих матеріалів можливе зменшення витрат енергоносіїв, які у свою чергу є затратним елементом у формуванні собівартості залізничних перевезень. Як показує світова практика, найбільш перспективним конструкційно-теплоізоляційним матеріалом для вирішення зазначених проблем є ніздрюватий бетон, який є одним з найбільш екологічно чистих матеріалів [2]. В порівнянні зі звичайною силікатною

цеглою стіна з ніздрюватого бетону практично в 4 рази легша, її термічний опір вищий більш ніж у 8 разів, а ефективність за термічним опором еквівалентна 55 цеглинам [3]. Ніздрюватий бетон знижує рівень шумів у 10 разів у порівнянні зі звичайним бетоном. Цей матеріал має властивість урівнювати коливання температури і вологості, що забезпечує достатньо високу морозостійкість; його, як деревину, можна пиляти, стругати, свердлити, в нього легко забиваються цвяхи, він не горить, не гниє, не старіє, не виділяє токсичних речовин. За коефіцієнтом екологічності (комфортності) будівлі з ніздрюватого бетону серед усіх будівельних матеріалів знаходяться на другому місці після будівель з деревини [4]. Однак технологічний рівень сучасних ніздрюватих бетонів має певні проблеми. Це стосується як технологічного процесу виготовлення матеріалу, так і його властивостей. Зокрема, технологічний процес виготовлення ніздрюватобетонних виробів відрізняється підвищеною складністю та енергоємністю, внаслідок чого матеріал поступається за вартістю деяким іншим теплоізоляторам, зокрема пінопластам (хоч і значно переважає їх за міцністю, вогнестійкістю тощо). Аналіз останніх тенденцій у галузі вирішення зазначених проблем дозволяє зробити висновок, що перспективними напрямками прогресу в технології ніздрюватих бетонів є вдосконалення технологічного обладнання, оптимізація пористої структури ніздрюватих бетонів, а також модифікування матриці матеріалу в напрямку покращання міцності та інших функціональних властивостей. Розроблені в ДНДІВМ Петропавловським О. Н., Чистяковим В. В., Гелеверою А. Г., Ковальчуком О. Ю. наукові основи управління структурою і властивостями пористих бетонів і композиційних матеріалів з використанням лужних в'язучих систем дозволяють прогнозувати можливість розробки теплоізоляційних та теплоізоляційно-конструкційних пінобе-

тонів неавтоклавного тверднення середньою густиною менше 550 кг/м^3 .

Мета роботи. Метою роботи було дослідження можливості застосування стінових систем в будівництві залізничних інфраструктурних об'єктів, визначення найбільш ефективних стінових систем саме для залізниці, порівняння основних переваг та недоліків цих стінових систем.

Методи дослідження. Для порівняння стінових систем використовували стандарти [3, 9]. За допомогою цих стандартів проводився порівняльний аналіз конструкцій.

Результати проведених досліджень.
Тришарова зовнішня стінова панель товщиною 400 мм. Панельне будівництво було і є дуже популярним рішенням, оскільки дозволяє звести до мінімуму «мокрі» процеси, що призводить до підвищення швидкості будівництва, стабільної якості будівель, здешевлення собівартості будівництва [5]. Тому така технологія має широке розповсюдження в країнах зі стабільною економікою. Поділяють тришарові стінові панелі (рис. 1) за типом теплоізоляційного шару:

- пінополістирол – в них найменша собівартість, але найгірша екологічність, цей утеплювач можна вважати ефективним і довговічним;

- мінераловатні – висока собівартість, добра екологічність, невисока довговічність у вологих умовах, прекрасна пожежобезпечність за стандартом Г4.

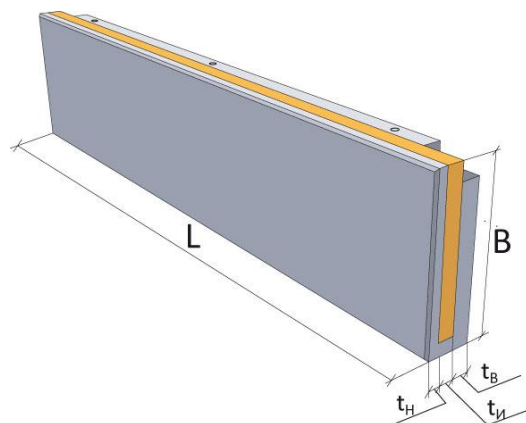


Рис. 1. Модель тришарової стінової панелі

Опір теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції [3] розраховується за формулою

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{i p}} + \frac{1}{\alpha_3},$$

де $\alpha_{\text{в}}$, α_3 – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К), які приймаються згідно з додатком Е;

R_i – термічний опір i -го шару конструкції, м²·К/Вт;

$\lambda_{i p}$ – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м·К).

Теплопровідності, елементів стінової панелі:

- бетон товщиною 160 мм – $\lambda_p = 2,04$ Вт/(м·К);

- плити пінополістирольні товщиною 170 мм ПСБ-С 35 – $\lambda_p = 0,05$ Вт/(м·К);

- цементно-піщаний розчин товщиною 5 мм – $\lambda_p = 0,81$ Вт/(м·К).

Опір теплопередачі тришарової стінової панелі товщиною 400 мм

$$R = \frac{0,16}{2,04} + \frac{0,17}{0,05} + \frac{0,16}{2,04} + \frac{0,05}{0,81} = 3,46 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Використовувані при панельному будівництві стіни являють собою бетон, плити пінополістирольні, цементно-піщаний розчин. Перевагами такої технології можна вважати швидкий монтаж, що дозволяє підтримувати високі темпи зведення нових об'єктів, низьку собівартість будівництва, стабільність якісних показників будівель.

Недоліками технології тришарової зовнішньої стінової панелі можна вважати неекологічність при використанні як теплоізолятора пінополістиролу, низьку паропроникність, що може призводити до конденсації вологи на поверхні стіни, зовнішній вигляд, який потребує

оздоблення для надання конкурентного вигляду, неможливість ремонту утеплювача або його поновлення обмежує строк служби конструкції і зводить строк ефективної експлуатації до строку служби утеплювача.

Піноперлітобетонна зовнішня стінова панель товщиною 480 мм. Піноперлітобетонні стінові панелі відносяться до класу цілісних панелей – це такі панелі, цілісність конструкції яких утворюється під час формування (без наступного з'єднання її окремих армованих бетонних або інших основних елементів між собою). Перлітобетонні зовнішні стінові панелі мають багато особливостей, які якісно вирізняють їх з-поміж інших представлених стінових систем. Перевагою перлітобетонних стінових панелей є те, що всі компоненти, які застосовуються для виробництва перлітобетону, є українськими. Особливу цікавість викликає можливість виготовлення перлітобетонів на потужностях звичайних бетонних заводів. Цей факт надає широкі можливості розповсюдження цієї технології на теренах нашої держави.

Стінову панель шириною 480 мм суцільно литу подано на рис 2. Вона має високі теплотехнічні характеристики, а саме опір теплопередачі 4 Вт/м·К. Цей показник не тільки відповідає вимогам норм, а навіть перевищує їх. Поверхня виробу має декоративний ефект (рис. 3), чимось нагадує штукатурку короїд або барашок, тому поверхня виробу не потребує оздоблювальних робіт. Ці фактори зумовлюють широкі можливості застосування піноперлітобетонних стінових панелей в народному господарстві, житловому будівництві та різних об'єктах інфраструктури.

Опір теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції розраховується за формулою

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{i p}} + \frac{1}{\alpha_3},$$

де $\alpha_в$, $\alpha_з$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К), які приймаються згідно з додатком Е;

R_i – термічний опір i -го шару конструкції, м²·К/Вт;

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м·К).



Рис. 2. Стінова панель фасадна

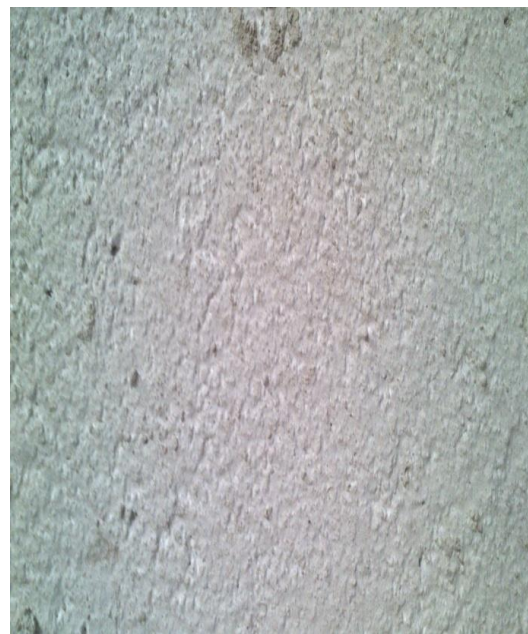


Рис. 3. Фотографія фасадної частини стінової панелі

Теплопровідності, елементів стінової панелі:

- піноперлітобетон в умовах експлуатації - $\lambda_p = 0,19$ Вт/(м·К);

- опір теплопередачі піноперлітобетонної стінової панелі 480 мм;

- в сухому стані $R = \frac{0,48}{0,19} = 2,52$ м²·К/Вт;

- в умовах експлуатації $R = \frac{0,48}{0,19} = 2,52$ м²·К/Вт.

Особливу увагу хотілось би приділити довговічності [6] перлітобетонних панелей, адже багатьом відомо, що основними конкурентами в галузі для них є пінополістирол і мінеральна вата, але їх головний недолік – це недовговічність (15-25 років експлуатації, після яких пінополістирол і мінеральна вата втрачають свої функціональні властивості). Це зумовлено

багатьма факторами зволоженням (мінеральна вата) є гідрофільним матеріалом і зволоження призведе до втрати функціональних властивостей всієї системи. Перлітові панелі в свою чергу можуть прослужити 50 років і більше без втрати своїх теплофізичних властивостей.

Також характерною особливістю піноперлітобетонних панелей є звуко- і віброзахисні властивості [7]. Ці показники дуже важливі для залізниці, оскільки будови біля залізниці мають постійні вібраційні і звукові навантаження.

Стіни з використанням технології вентилязованих фасадів. Найбільш перспективними вважаються навісні вентилязовані фасадні системи з повітряним зазором (рис. 4, 5). Ця конструктивна система дозволяє не лише утеплити фасад,

але і застосовується просто для облицювання і захисту огорожувальних конструкцій, а також надає архітектурної виразності будівлі. Навісна фасадна система з повітряним зазором називається вентиляльованим фасадом [8].

Одним з основних критеріїв вибору теплоізоляційних матеріалів для вентиляльованих систем є середня густина матеріалу [9]. При збільшенні поверховості зростає і середня густина використовуваних теплоізоляційних плит.

При висоті будівлі більше ніж 10 метрів вже рекомендується застосування плит щільністю більше 70 кг/м³. Такі плити гнучкі і в той же час досить жорсткі, їх можна надійно зафіксувати у вертикальному положенні (вони не сповзають). Досить часто у будівельній практиці використовується двошарова ізоляція, що в принципі добре, оскільки плитами другого шару теплоізоляції вдається перекрити стики плит першого шару і цим зменшити тепловтрати.

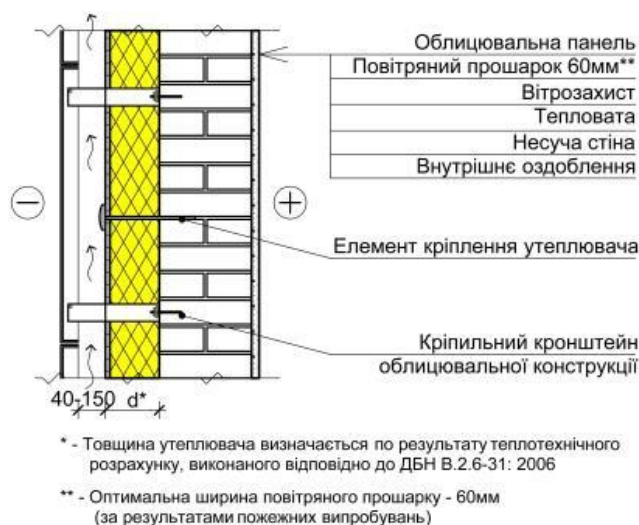


Рис. 4. Схема утеплення вентиляльованого фасаду

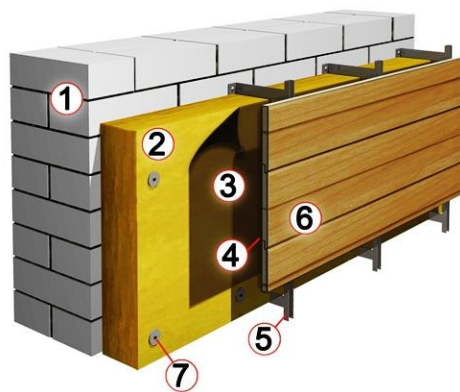


Рис. 5. Вентиляльований фасад

Утеплювач в даному випадку кріпиться до несучої стіни дюбелями або вставляється в кістяк (який кріпиться до стіни). Для такого фасаду краще застосовувати мінеральну вату (у плитах) з щільністю від 45 до 100 кг/м³. Утеплювач треба обов'язково захищати зовні вітрозахисною супердифузійною мембраною.

Опір теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції розраховується за формулою

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{i p}} + \frac{1}{\alpha_3},$$

де $\alpha_{\text{в}}$, α_3 – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К);

R_i – термічний опір i -го шару конструкції, м²·К/Вт;

$\lambda_{i p}$ – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м·К).

Теплопровідності елементів системи з використанням системи «вентиляльований фасад»:

- теплопровідність керамічної цегли, $\lambda_{\text{п}} = 0,58$ Вт/(м·К), товщина півцегли 380 мм для формули 0,38 м;

- у скороченому вигляді
 $R = \frac{0,38}{0,58} = 0,65 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$
 - мінеральна вата в умовах експлуатації - $\lambda_p = 0,05 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$

Опір теплопередачі в цілому системи в умовах експлуатації

$$R = \frac{0,48}{0,19} + \frac{0,1}{0,05} = 2,65 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Разом з іншими способами утеплення в Україні набули популярності системи

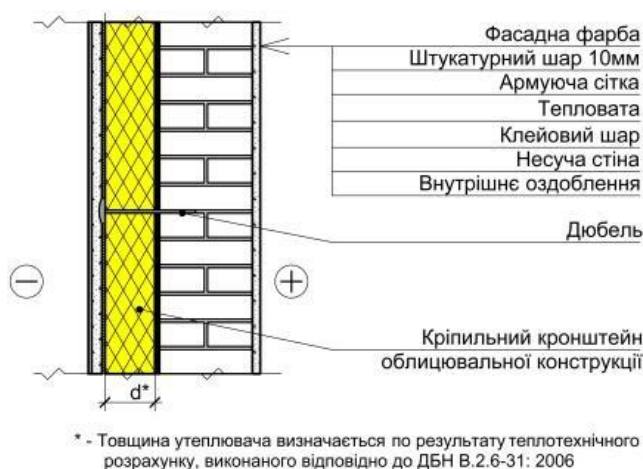


Рис. 6. Схема утеплення фасаду "мокрим" методом в розрізі

Опір теплопередачі системи, яка використовує як несучий елемент газобетон товщиною 300 мм і як утеплювач мінеральну вату, в умовах експлуатації

$$R = \frac{0,3}{0,15} + \frac{0,1}{0,06} = 3,66 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Цей показник відповідає нормам [3] та навіть перевищує їх.

Важливими факторами, які впливають на якість та довговічність такого фасаду, є: склосітка, яка запобігає утворенню тріщин, що зумовлені усадковими процесами в гідроізоляційній цементній клейовій суміші, яка безпосередньо впливає на

зовнішньої теплоізоляції будинків [10] зі штукатуркою, або "мокрі" фасади (рис. 6, рис.7). Цей спосіб утеплення часто застосовують при реконструкції і капітальному ремонті, заздалегідь обстеживши технічний стан фасаду, що утеплюється. Важливим чинником безпроблемного функціонування такої системи є міцність і надійність основи огорожувальної конструкції, на яку монтується система. Для утеплення застосовується мінеральна вата, середня густина якої не нижче 140 кг/м³.

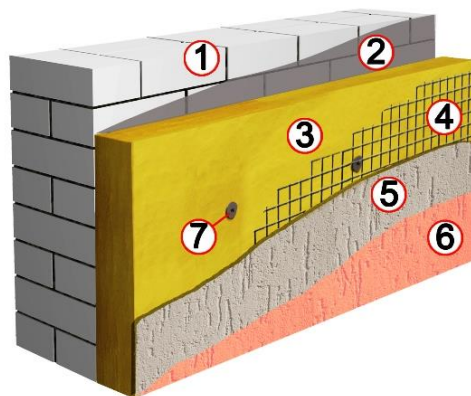


Рис. 7. Схема утеплення фасаду "мокрим" методом:

- 1 – несуча стіна; 2 – клейовий шар;
- 3 – мінеральна вата; 4 – армуюча сітка;
- 5 – штукатурний шар; 6 – фасадна фарба; 7 – дюбель

довговічність теплоізоляційної системи в цілому, оскільки теплоізолятор (мінеральна вата) є гідрофільним матеріалом і зволоження призведе до втрати функціональних властивостей всієї системи [10].

Висновки:

1. Проведені дослідження виявили основні технологічні переваги та недоліки стінових систем та окреслили перспективи подальшого застосування цих стінових систем в будівництві на залізниці, але з обов'язковим підбором стінових систем під конкретні умови експлуатації споруди:

- застосування технології збірних перлітобетонних стінових панелей має ряд переваг в порівнянні з іншими технологіями, оскільки застосовується суцільна готова конструкція панелі і робота не супроводжується «мокрими» процесами, що сприяє пришвидшенню здачі в експлуатацію;

- через те, що піноперлітобетонні стінові панелі мають низьку вагу, виготовлені з використанням ефективної конструкційно-теплоізоляційної піноперлітобетонної суміші, яка після набору марочної міцності має насипну

густину 600 кг/м³, такі конструкції легкі в монтажі та дозволяють застосовувати малі підйомні механізми;

- теплозахисні показники цих систем приблизно однакові і відповідають стандарту [3], але з попередніх досліджень було виявлено різні показники довговічності таких стінових систем, що є дуже важливим показником для експлуатації та зменшення витрат на фонди. За цим показником найцікавіше виглядають стінові системи з піноперлітобетону.

2. Всі ці переваги зумовлюють можливість використання піноперлітобетонних стінових систем для будівництва різноманітних об'єктів на залізниці.

Список використаних джерел

1. Кожевников, И. Г. ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения / И. Г. Кожевников, И. Н. Бутовский // Методы определения сопротивления теплопередаче гражданских конструкций. – М.: НИИСФ Госстроя СССР, 1984. – 95 с.
2. Krivenko, P. V. Heat-Resistant Cellular Concretes Based on Alkaline Cements [Text] Krivenko P.V. Kovalchuk O.Yu. // Use of Foamed Concrete in Construction: Proc. Intern. Conf. “Global Construction: Ultimate Concrete Opportunities”. – Scotland, UK, 2005. – P. 97-104.
3. ДБН В.2.6-31:2013 Конструкції будинків і споруд. Конструкції. Теплова ізоляція будівель [Текст]: чинний від 2013-09-01. – К.: Укрархбудінформ. – 62 с. – (Державний стандарт України).
4. Энергозбереження в капітальному будівництві [Текст] / Ю. Г. Ковальчук, Є. Р. Крамаренко, В. Т. Дуров [та ін.] // Доповіді наук.-техн. конф. “Будівельні матеріали ХХІ-го століття: комфорт житла та енергозбереження”. – К.: НДІБМВ, 1998. – С. 19-30.
5. Сажнев, Н. П. Ячеистый бетон – современный строительный материал [Текст] / Н.П. Сажнев, Н.Н. Сажнев // Теория и практика применения ячеистого бетона в строительстве: сб. науч. тр. – Днепропетровск: ПГАСА, 2005. – Вып. 1. – С. 25-31.
6. Давидюк, А. Н. Конструкционно-теплоизоляционные легкие бетоны [Текст]: справочник / А.Н. Давидюк. – Ростов н/Д., 2010. – 22 с.
7. Михайлов, О. В. Ефективні будівельні матеріали [Текст] / О.В. Михайлов, Є.М. Петрикова // Доповіді наук.-техн. конф. “Будівельні матеріали, виробі та санітарна техніка: «Особливості підбору складу піноперлітобетону». – К.: НДІБМВ, 2015. – №56. – 67 с.
8. Горяйнов, К. Э. Технология теплоизоляционных материалов и изделий [Текст] / К. Э. Горяйнов, С. К. Горяйнова. – М.: Стройиздат, 1982. – 376 с.
9. ДБН В.2.6-33:2008. Конструкції будинків і споруд. Стіни. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією [Текст]. – чинний від 2008-12-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 21 с.

10. ДБН В.2.6-33:2008. Конструкції будинків і споруд. Стіни. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією [Текст]. – чинний від 2008-12-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 21 с. – (Державний стандарт України).

Петрикова Євгенія Миколаївна, канд. техн. наук, доцент, Київський національний університет будівництва та архітектури. E-mail: jeki2008@i.ua.

Михайлов Олексій Вікторович, аспірант кафедри технологій будівельних конструкцій Київського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: +38068-357-42-52. E-mail: alexmikh92@yandex.ua.

Petrikova Evgeniya, associate professor, PhD., Department of technology building construction, Kyiv National University of Civil Engineering & Architecture. E-mail: jeki2008@i.ua.

Mikhylov Alexey, student. Ph.D, Department of technology building construction, Kyiv National University of Civil Engineering & Architecture. Tel.: +38068-357-42-52. E-mail: alexmikh92@yandex.ua.

Стаття прийнята 10.05.2017 р.

УДК 528.4:332.3

ВИЗНАЧЕННЯ МІСТОБУДІВНИХ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ МІСТ

Д-р екон. наук К. А. Мамонов, д-р техн. наук К. О. Метешкін,
М. О. Грек (ХНУМГ ім. О. М. Бекетова)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗЕМЕЛЬ ГОРОДОВ

Д-р экон. наук К. А. Мамонов, д-р техн. наук К. А. Метешкин,
М. О. Грек (ХНУГХ им. А. Н. Бекетова)

DEFINITIONS URBAN DEVELOPMENT FACTORS THAT AFFECT THE USE OF CITY LANDS

Dr. sc. sciences K. A. Mamonov, dr. sc. Sciences K. O. Meteshkin, M. O. Grek

Наведено основні напрями та показники визначення містобудівних факторів, які впливають на використання земель міст. Визначені містобудівні фактори дають змогу побудувати систему управління земельними відносинами міст. Особливе значення мають визначені групи зацікавлених осіб, що впливають на містобудівну діяльність і обумовлюють рівень використання земель. У результаті дослідження визначені перспективні напрями подальших досліджень у контексті формування стейкхолдерно-орієнтованого підходу до оцінки впливу містобудівних факторів на використання земель міст.

Ключові слова: містобудівні фактори, використання земель, стейкхолдери, земельні відносини міст.

Представлены основные направления и показатели определения градостроительных факторов, влияющих на использование земель городов. Представленные градостроительные факторы позволяют построить систему управления земельными отношениями городов. Особое значение имеют группы заинтересованных лиц, которые влияют на

градостроительную деятельность и обуславливают уровень использования земель. В результате исследования определены перспективные направления дальнейших исследований в контексте формирования стейкхолдерно-ориентированного подхода к оценке влияния градостроительных факторов на использование земель городов.

Ключевые слова: градостроительные факторы, использование земель, стейкхолдеры, земельные отношения городов.

We represent the main areas and urban indicators determining factors that influence land use cities. Designated urban factors can build a system of land relations cities. Of particular importance are identified stakeholder groups that affect urban activities and determine the level of land use. The study identified promising areas for further research in the context of stakeholder-based approach to assess the impact of factors on urban land use cities.

Keywords: urban factors of land use stakeholders, land relations cities.

Вступ. Сучасні напрями розвитку міст, неоднозначні тенденції їх функціонування потребують переосмислення підходів до визначення містобудівних факторів у системі земельних відносин, їх впливу на використання земель мегаполіса, ураховуючи особливості взаємовідносин між різними групами зацікавлених осіб.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Над вирішенням проблем визначення містобудівних факторів, використання земель міст працювали такі науковці, як С. Кисіль [1], О. Лихогруд [2], Ю. Палеха [3], О. Панухник [4], І. Перович [5], В. Сидоренко [6], Р. Тімченко [7], А. Третяк [8] та ін.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою статті є визначення містобудівних факторів, які впливають на використання земель міст.

Для досягнення визначеної мети вирішуються такі завдання:

- проаналізувати підходи до визначення містобудівних факторів, які впливають на використання земель міст;
- сформулювати групи містобудівних факторів, які впливають на використання земель міст.

Основна частина дослідження. В існуючих наукових розробках відсутні єдині підходи до визначення містобудівних факторів, які впливають на використання земель міст. Так, Ю. Палеха серед факторів, що впливають на розвиток ринку землі,

виділяє стабільність містобудівної політики органів місцевого самоврядування, що визначається сталим урбаністичним розвитком [3, с. 26]. Отже, цей автор фокусує увагу на визначенні напрямів містобудівного розвитку у контексті реалізації містобудівної політики органами місцевого самоврядування. Поряд з цим залишаються поза увагою напрями та особливості використання земель у системі функціонування міських агломерацій.

У цьому аспекті заслуговує на увагу точка зору І. Перовича та Л. Винарчика, які визначають важливим містобудівним фактором, що впливає на використання земель, функціональне зонування як розподіл території міста за характером переважного використання, тобто за типом функціонального призначення тієї чи іншої території [5]. Представником цього підходу, по праву, можна вважати О. Лихогруда, який у системі показників, що впливають на вартість майна, виділяє такі містобудівні фактори:

- вид використання земельної ділянки щодо зонування територій;
- обмеження;
- обтяження;
- привабливість земельної ділянки;
- планування;
- якість об'єктів та конструктивних елементів [2].

Наведений підхід дає змогу визначити важливий містобудівний фактор –

функціональне призначення земель для забезпечення розвитку міст, і враховувати його для оцінки впливу містобудівних факторів на використання земель.

Д. Ільченко у системі факторів, що впливають на вибір порушеної території при формуванні комплексної зеленої зони міста виділяє такі містобудівні параметри:

- розміщення порушеної території у планувальній структурі міста (центр, середина, периферія);

- наближеність до центру, до місць відпочинку та прикладення праці, що позначить радіус доступності цієї території;

- забезпеченість (чи можливість забезпечення) інженерними комунікаціями, у тому числі транспорт та ін.;

- приналежність до функціональної зони міста (сельбищної, промислової, комунально-складської, рекреаційної тощо) та взаємозв'язок з прилеглими чи навколишніми зонами;

- наявність системи внутрішніх взаємозв'язків структурних елементів зеленої зони [9]. Таким чином, автор визначає групу містобудівних факторів, що впливають на використання територій міст, які мають порушений характер.

Відповідно до Закону України “Про регулювання містобудівної діяльності”, враховуючи рівень їх використання, визначаємо такі містобудівні фактори:

- Генеральна схема планування територій України;

- схеми планування окремих частин території України;

- схеми планування території Автономної Республіки Крим, областей та районів;

- генеральні плани населених пунктів, плани зонування територій і детальні плани території;

- планувально-просторова організація забудови;

- червоні лінії та лінії регулювання забудови території;

- функціональне призначення, режим та параметри забудови однієї чи декількох

земельних ділянок, розподіл територій згідно з будівельними нормами, державними стандартами і правилами;

- містобудівні умови та обмеження (у разі відсутності плану зонування території) або уточнення містобудівних умов та обмежень згідно із планом зонування території;

- потреба в підприємствах і закладах обслуговування населення, місце їх розташування;

- доцільність, обсяги, послідовність реконструкції забудови;

- черговість та обсяги інженерної підготовки території;

- система інженерних мереж;

- організація транспортного і пішохідного руху;

- комплексний благоустрій та озеленення, потребу у формуванні екомережі;

- межі прибережних захисних смуг і пляжних зон водних об'єктів (у разі відсутності плану зонування території) [10].

Отже, у запропонованому нормативно-правовому документі визначення містобудівних факторів здійснюється відповідно до рівнів використання земель, що дає змогу приймати рішення, враховуючи напрями та особливості формування й здійснення земельних відносин, а також взаємодії між різними групами зацікавлених осіб.

Визначено такі містобудівні фактори, що впливають на використання земель міст на різних рівнях їх використання:

на державному – єдина цифрова топографічна основа території країни, державний кордон та межі адміністративно-територіальних одиниць, Генеральна схема планування території України, схема планування окремих частин території України, результати моніторингу стану розроблення генеральних планів, інформаційні ресурси галузевих кадастрів та інформаційних систем з питань використання територій, екологічного, інженерно-геологічного, сейсмічного,

гідрогеологічного та іншого районування території країни, нормативно-правові акти у сфері містобудування, будівельні норми, державні стандарти і правила;

на регіональному – єдина цифрова топографічна основа території Автономної Республіки Крим і областей, межі адміністративно-територіальних одиниць, схема планування території Автономної Республіки Крим, областей та окремих частин території з об'єктами регіонального значення за межами населених пунктів, результати моніторингу стану розроблення генеральних планів населених пунктів, планів зонування територій (зонінгів) та детальних планів, інформаційні ресурси галузевих кадастрів та інформаційних систем з питань використання територій, екологічного, інженерно-геологічного, сейсмічного, гідрогеологічного та іншого районування території регіону, нормативно-правові акти у сфері містобудування, будівельні норми, державні стандарти і правила;

на міському – єдина цифрова топографічна основа території міста, межі населеного пункту та його адміністративно-територіальних одиниць, Генеральний план міста, плани зонування (зонінги) територій, історико-архітектурний опорний план міста та детальні плани територій, межі кадастрових зон і кварталів, межі економіко-планувальних зон нормативної грошової оцінки земель міста, межі земельних ділянок, кадастрові номери земельних ділянок, угіддя земельних ділянок, цільове призначення земельних ділянок, вид функціонального використання земельних ділянок, нормативна грошова оцінка земельних ділянок, розподіл земель між власниками і користувачами, обмеження у використанні земельних ділянок, інженерно-транспортна інфраструктура, будинки і споруди, їх правовий режим, технічний стан, архітектурна та історико-культурна цінність, пам'ятки історико-культурної спадщини, реєстр назв вулиць та інших

поіменованих об'єктів місцевості, реєстр адрес на території міста на підставі топографічних планів та рішень органів місцевого самоврядування про присвоєння та зміну адрес об'єктів на території міста, затверджені містобудівні програми, схеми та проекти розвитку інфраструктури, охорони пам'яток історії, культури і природи, озеленення, благоустрою та захисту території, інвестиційні програми та проекти на підставі відповідних рішень органів місцевого самоврядування про їх затвердження (погодження), інша містобудівна документація, матеріали проектної документації, дозволи (декларації) про будівництво, акти контрольних перевірок, документи на прийняття об'єктів в експлуатацію на підставі рішень про затвердження (погодження) відповідної документації, виданих дозволів на виконання будівельних робіт, зареєстрованих декларацій про готовність об'єкта до експлуатації та інших документів щодо об'єктів містобудування і будівництва, червоні лінії та лінії регулювання забудови, екологічні та інженерно-геологічні характеристики окремих територій і земельних ділянок, можливість провадження на них містобудівної діяльності з урахуванням планувальних обмежень на підставі відповідної містобудівної документації, даних екологічних, гідрометеорологічних, радіологічних, санітарно-гігієнічних та інших досліджень, нормативно-правові акти у сфері містобудування, будівельні норми, державні стандарти і правила на підставі рішень про їх затвердження відповідно до законодавства [11].

Отже, відповідно до наведеного нормативного документа, визначені містобудівні фактори характеризуються і пов'язуються із рівнем їх використання, що дає змогу визначити функціональне спрямування, застосовуючи інформаційно-аналітичне, проектне та інше забезпечення. Такий підхід фокусує увагу на можливостях взаємодії між групами зацікавлених

осіб, що функціонують на різних рівнях функціонування міських агломерацій.

Узагальнюючі існуючі теоретичні положення та практику проведення

нормативної грошової оцінки населених пунктів [6, 12, 13], визначено містобудівні фактори, що впливають на використання земель міст (таблиця).

Таблиця

Містобудівні фактори, що впливають на використання земель міст, які визначені на основі напрямів нормативної грошової оцінки земель

№ п/п	Містобудівний фактор
1	Доступність до концентрованих місць прикладання праці
2	Доступність до місць масового відпочинку
3	Забезпечення дитячими садками
4	Забезпечення школами
5	Престижність району для проживання
6	Рівень водопостачання
7	Рівень газопостачання
8	Рівень електропостачання
9	Рівень зашумленості
10	Рівень чистоти повітря
11	Доступність до зупинок суспільного транспорту
12	Доступність до центру населеного пункту
13	Забезпечення закладами торгівлі та громадського харчування
14	Забезпечення закладами побутового обслуговування
15	Забезпечення культурними та спортивними закладами
16	Рівень підтоплення ґрунтовими водами
17	Різноманітність місць прикладання праці
18	Ускладнений рельєф
19	Якість ґрунтів

С. Кисіль, характеризуючи напрями та особливості формування архітектури багатоповерхових автостоянок у містах, визначає такі містобудівні фактори:

- ущільнення забудови;
- особливості місцевої містобудівної ситуації;
- розвиток мережі автообслуговування [1].

Для визначення містобудівних факторів, що впливають на використання земель мегаполіса, заслуговує на увагу точка зору О. Панухника, яка характеризує відповідні рівні їх реалізації:

- плановий;
- організаційний;
- регулятивний;

- інформаційно-аналітичний;
- контрольний [4].

Такий підхід подано у роботах А. Третяка, який розглядає використання земель через призму правових, організаційних, економічних та інших заходів, що можуть впливати на містобудівний розвиток [8].

Наведений підхід дає змогу визначити вплив містобудівних факторів, ураховуючи рівні прийняття та реалізації управлінських рішень у сфері розвитку міст. Поряд з цим не визначені напрями та особливості впливу містобудівних факторів, їх перелік та характеристика відповідає існуючому нормативно-правовому забезпеченню.

При визначенні впливу містобудівних факторів на використання земель міст особливе значення має характеристика напрямів, особливостей взаємодії між різними групами зацікавлених осіб (стейкхолдерів), що функціонують у сфері земельних відносин міст і впливають на містобудівний розвиток. У результаті узагальнення існуючих наукових розробок [14-16] визначено такі групи стейкхолдерів, які функціонують у сфері земельних відносин міст і впливають на містобудівну діяльність:

1-ша група: землевласники (юридичні і фізичні особи, що володіють земельними ділянками, визначають можливості реалізації містобудівних напрямів);

2-га група: землекористувачі (юридичні і фізичні особи, що використовують земельні ділянки, реалізують містобудівні напрями);

3-тя група: державні органи влади, що формують і реалізують земельні відносини, містобудівну політику на державному рівні, створюють нормативно-правове забезпечення;

4-та група: місцеві органи влади, що формують і реалізують земельні відносини, містобудівну політику на місцевому рівні, визначають нормативно-правове забезпечення, що входить до їх повноважень;

5-та група: територіальна громада, яка впливає і реалізує право власності на землю, забезпечує функціонування містобудівної сфери;

6-та група: фінансові установи (банківські та інші фінансові інституції, що забезпечують формування і кредитування фінансових ресурсів для потреб у земельній та містобудівній сферах міст);

7-ма група: інвестори, що здійснюють інвестування фінансових ресурсів у сферу використання земельних ресурсів міст та здійснення містобудівної діяльності;

8-ма група: громадські організації, які здійснюють вплив на формування й

реалізацію земельної та містобудівної політики на недержавному рівні;

9-та група: організації, що реалізують інформаційну політику у сфері земельних відносин і містобудівної діяльності.

Висновки з дослідження, перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Отже, узагальнюючи вищеведене, визначено групи містобудівних факторів, що впливають на використання земель міст і застосовуються для оцінки.

1. Функціональні фактори, що визначають рівень використання територій міст для реалізації містобудівної діяльності: стабільність містобудівної політики, функціональне зонування; обмеження; обтяження; привабливість земельної ділянки; планування; якість об'єктів та конструктивних елементів; характеристики та структура територій; наявність системи внутрішніх взаємозв'язків структурних елементів зеленої зони; доцільність, обсяги, послідовність реконструкції забудови; комплексний благоустрій та озеленення, потреби у формуванні екомережі; розвиток території за видами та режимами переважного використання; спостереження небезпечних зон відвалів породи гірничодобувних підприємств, вугільних шахт, зон катастрофічного затоплення, затоплення паводковими водами, районів імовірних провалів та зсувів; обсяги та напрями сталих виробничих, трудових, культурно-побутових, рекреаційних взаємозв'язків із суміжними адміністративно-територіальними одиницями; характеристики житлового фонду, об'єктів обслуговування, промисловості, комунального господарства, вулично-дорожньої мережі, транспорту, будівельної бази; збалансованість місць прикладення праці і місць проживання; фактори, що визначають виробничу шкідливість, забезпеченість композиційних взаємозв'язків виробничої зони забудови з оточенням; умови сприймання різних ділянок промислової забудови у міському середовищі;

забезпечення створення санітарно-захисних зон з включенням їх у єдину систему озеленення міста; інтенсивність використання територій; номенклатура елементів території комплексної зеленої зони міста, площа озелених територій загального користування; допустима кількість одночасних відвідувачів території парків, лісопарків, лісів, зелених зон; архітектурно-просторові та архітектурно-планувальні рішення щодо територій для містобудівної діяльності; розміри територій зон відпочинку, зон різного функціонального призначення; відстані між зонами відпочинку і ділянками курортно-рекреаційних установ, садівницьких товариств, автомобільних доріг загальної мережі і залізниць; рекреаційне навантаження на ландшафт зон відпочинку; розміщення курортно-рекреаційних установ на територіях з допустимими рівнями шуму; пристосування житлової забудови і громадських споруд, розміщених у курортній зоні; рекреаційний фонд для обслуговування тих, що лікуються й відпочивають; престижність району для проживання; ускладнений рельєф; якість ґрунтів; особливості містобудівної ситуації; природно-техногенні фактори, що впливають на містобудівний розвиток земель міст.

2. Інформаційні фактори: топографічні дані території країни на підставі державної топографічної карти України і планово-картографічної основи державного земельного кадастру; інформаційні ресурси галузевих кадастрів та інформаційних систем з питань використання територій, екологічного, інженерно-геологічного, сейсмічного, гідрогеологічного та іншого районування території; містобудівні програми, схеми та проекти розвитку інфраструктури, охорони пам'яток історії, культури і природи, озеленення, благоустрою та захисту території, інвестиційні програми та проекти на підставі відповідних рішень органів місцевого самоврядування, інша

містобудівна інформація; екологічні та інженерно-геологічні, гідрологічні, транспортні характеристики окремих територій і земельних ділянок, можливість провадження на них містобудівної діяльності; стан проектної роботи, інженерної підготовки, інженерного обладнання; дані програм економічного і соціального розвитку; дані квартирної обліку за кількістю та складом родин; характеристика та економічні показники, що впливають на функціонування землекористувача; інвестиційна привабливість; планові показники; організаційні показники; регулятивні показники; інформаційно-аналітичні показники формування та розвитку земель; контрольні показники, показники, що визначають рівень формування та використання людського потенціалу міста.

3. Інфраструктурні фактори: потреба в підприємствах і закладах обслуговування населення, ефективність зв'язків промислових зон із сільбищними, рекреаційними та іншими територіями, забезпеченість залізничним транспортом, спільність інженерно-технічної інфраструктури, допоміжних виробництв, об'єктів соціально-побутового обслуговування, забезпеченість зв'язків з головними транспортними комунікаціями, які утворюють планувальний каркас міста, показники доступності до виробничих, інфраструктурних, соціальних, житлових та інших об'єктів, показники забезпечення інфраструктурними, громадськими, соціальними, торговельними, культурними, спортивними об'єктами, розвиток мережі автообслуговування, рівень зашумленості та чистоти повітря.

4. Фактори, що характеризують потенціал міста: виробничий та природно-ресурсний, оздоровчо-рекреаційний та туристичний, науково-дослідний, дослідно-експериментальний потенціал.

5. Рівень забудови територій.

Визначені фактори характеризують функціональне використання земель та

об'єктів у сфері містобудівної діяльності, інформаційне та інфраструктурне забезпечення, потенційні можливості міст. Окремо виділено рівень забудови територій міських агломерацій. Запропоновані фактори дають змогу побудувати багаторівневу систему, що застосовується для оцінки впливу містобудівних факторів на використання земель міст та розроблення

на цій основі заходів щодо зростання ефективності містобудівної діяльності.

Перспективами подальшого дослідження є розроблення стейкхолдерно-орієнтованого підходу до оцінки впливу містобудівних факторів на використання земель, що дасть змогу розробити заходи підвищення ефективності земельних відносин міст.

Список використаних джерел

1. Кисіль, С. С. Фактори, що впливають на формування архітектури багатопверхових автостоянок у найзначніших містах [Електронний ресурс] / С. С. Кисіль // Архітектура будівель і споруд. – Режим доступу: <http://er.knutd.com.ua/bitstream/123456789/2963/4/33.%20Кисіль%20С.С..pdf>.
2. Лихогруд, О. М. Наукові підходи до визначення цінності земельних ресурсів містобудівних систем у ринкових умовах [Електронний ресурс] / О. М. Лихогруд. – Режим доступу: http://www.agrosvit.info/pdf/6_2016/13.pdf.
3. Палеха, Ю. М. Теорія і практика визначення вартості територій і оцінки земель населених пунктів України (економіко-географічне дослідження) [Текст]: автореф. дис... д-ра географ. наук: 11.00.02 – економічна та соціальна географія / Ю. М. Палеха. – К.: Національна академія наук України. Інститут географії, 2009. – 39 с.
4. Панухник, О. Містобудування в адміністративному районі: модернізаційно-управлінський аспект [Електронний ресурс] / О. Панухник. – Режим доступу: <http://visnyk.academy.gov.ua/wp-content/uploads/2013/11/2013-2-16.pdf>.
5. Перович, І. Л. Економіко-метаматичний підхід до оцінки землі населених пунктів на основі їх функціонально-планувальної структури [Електронний ресурс] / І. Л. Перович, Л. В. Винарчик // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2013. – Вип. 78. – Режим доступу: <https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjwp->.
6. Сидоренко, В. Д. Аналіз використання спеціалізованих програмних комплексів для вирішення питань грошової оцінки земель у Кривому Розі [Електронний ресурс] / В. Д. Сидоренко, А. Ю. Паламар. – Режим доступу: <http://knu.edu.ua/Files/Gn96/25.pdf>.
7. Процес управління територіальним розвитком міста [Електронний ресурс] / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, Д. Ю. Пасічна [та ін.] // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – Вип. 30. – Режим доступу: http://knu.edu.ua/Files/V_30_2012/13.pdf.
8. Третяк, А. М. Землепорядне проектування: теоретичні основи і територіальний землеустрій [Текст] / А. М. Третяк. – К. : Вища освіта, 2006. – 528 с.
9. Ільченко, Д. М. Фактори, що визначають вибір порушеної території для її функціонального використання при формуванні комплексної зеленої зони [Електронний ресурс] / Д. М. Ільченко. – Режим доступу: <https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjwp->.
10. Про регулювання містобудівної діяльності [Електронний ресурс]: закон України від 17 лютого 2011 р. № 3038-VI. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3038-17>.

11. Про містобудівний кадастр [Електронний ресурс]: постанова Кабінету Міністрів України від 25 травня 2011 р. № 559. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/559-2011-p>.

12. Про затвердження технічної документації по нормативній грошовій оцінці земель населеного пункту с. Зарванці Якушинецької сільської ради [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://yakush.silrada.org/2016/06/14/1278/>.

13. Технічна документація з нормативної грошової оцінки земель (м. Нова Одеса, с. Криворіжжя, Нововоодеської міської ради, Новоодеського району Миколаївської області) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: tp://www.novaodesa.mk.ua/regulyatorka/groshova_nova_odesa.doc.

14. Jensen, M.C. (1976). Theory of the Firm: Managerial Behaviour, Agency Costs, and Ownership Structure // Journal of Financial Economics. 3. – P. 305-360.

15. Goodijk, R. (2003). Corporate governance and stakeholder management: the ING. CORPORATE OWNERSHIP&CONTROL. Volume 1, Issue 1. 159-167.

16. Mitchell, R. K., Agle B. R., Wood D. J. (1997). Toward a Theory. Academy of Stakeholder Identification and Saliency. 4. 853 – 886.

Мамонов Костянтин Анатолійович, д-р екон. наук, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. Тел.: (099) 291-73-54. E-mail: kostia_mamonov@mail.ru.

Метешкін Костянтин Олександрович, д-р техн. наук, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. Тел.: (098) 409-16-42. E-mail: kometeshkin@yandex.ru.

Грек Марія Олександрівна, здобувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. Тел.: (068) 889-45-32. E-mail: grekmariaa@gmail.com.

Mamonov Konstantin Anatolievich, doctor. Sc. science, professor of Department of Land Administration and GIS O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (099) 291-73-54. E-mail: kostia_mamonov@mail.ru.

Meteshkin Konstantin Aleksandrovich, Sc. science, professor Department of Land Administration and GIS O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (098) 409-16-42. E-mail: kometeshkin@yandex.ru.

Grech Maria Aleksandrovna, graduate student of Department of Land Administration and GIS O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (068) 889 - 45 -32. E-mail: grekmariaa@gmail.com.

Стаття прийнята 10.05.2017 р.

УДК 528.4:332.63

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ПРОСТОРОВИХ ФАКТОРІВ ЗЕМЕЛЬ МЕГАПОЛІСА

Канд. техн. наук В. Д. Шипулін, Е. С. Штерндок (ХНУМГ ім. О. М. Бекетова)

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ ЗЕМЕЛЬ МЕГАПОЛИСА

Канд. техн. наук В. Д. Шипулин, Э. С. Штерндок (ХНУГХ им. А. Н. Бекетова)

GEOINFORMATION OF INTEGRATED ASSESSMENT OF SPATIAL FACTORS OF LAND OF MEGAPOLIS

Phd. tehn. V. D. Shypulin, sciences, pg. E. S. Shterndok

Ми представляємо напрями визначення геоінформаційного забезпечення інтегральної оцінки просторових факторів земель мегаполіса. Систематизовані теоретичні положення щодо визначення геоінформаційного забезпечення інтегральної оцінки земель мегаполіса. Наведено авторське визначення геоінформаційного забезпечення інтегральної оцінки земель мегаполіса. У результаті дослідження запропонована класифікація геоінформаційних моделей для інтегральної оцінки просторових факторів земель мегаполіса.

Ключові слова: просторові фактори земель мегаполіса, геоінформаційне забезпечення, інтегральна оцінка.

Мы представляем направления определения геоинформационного обеспечения интегральной оценки пространственных факторов земель мегаполиса. Систематизированы теоретические положения по определению геоинформационного обеспечения интегральной оценки земель мегаполиса. Представлены авторские определения геоинформационного обеспечения интегральной оценки земель мегаполиса. В результате исследования предложена классификация геоинформационных моделей для интегральной оценки пространственных факторов земель мегаполиса.

Ключевые слова: пространственные факторы земель мегаполиса, геоинформационное обеспечение, интегральная оценка.

We present the directions of the definition of geoinformation support for an integrated assessment of the spatial factors of land in a megacity. Systematized theoretical provisions for the definition of geoinformation support for the integrated assessment of land megalopolis. The author's definitions of geoinformation support for the integrated assessment of the megalopolis lands are presented. As a result of the research, a classification of geoinformation models for an integrated assessment of the spatial factors of land in a megapolis is proposed.

Keywords: spatial factors of megalopolis lands, geoinformation support, integral estimation.

Вступ. Сучасний мегаполіс являє собою складну соціально-економічну систему, розвиток якої обумовлює комплекс факторів, серед яких особливого значення набувають просторові. Для їх

оцінки, моделювання застосовуються геоінформаційні системи, які є комплексним інструментарієм, що дає змогу вирішити завдання у сфері формування, розподілу та використання земель міст.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам застосування геоінформаційних систем, забезпечення їх розвитку присвячені роботи: А. Берлянта [1], В. Готиняна, Г. Красовського, І. Мельника [2], М. ДеМерса [3], Е. Капралова, А. Кашкарева, В. Тикунова [4], І. Лур'є [5], Е. Мітчелла [6], Ю. Палехи [7], В. Шипуліна [8] та ін.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою статті є визначення геоінформаційного забезпечення інтегральної оцінки просторових факторів земель мегаполісу.

У рамках дослідження вирішуються такі завдання:

– систематизувати теоретико-методичні підходи до визначення геоінформаційного забезпечення інтегральної оцінки просторових факторів земель мегаполісу;

– визначити класифікаційні характеристики геоінформаційних моделей, що будуються на основі інтегральної оцінки просторових факторів земель мегаполісу.

Основна частина дослідження. Для оцінки просторових факторів земель міст, їх моделювання запропоновано використовувати геоінформаційні системи на основі відповідного забезпечення.

З одного боку, врахування множини і специфіки просторових факторів у моделях оцінки просторових факторів потребує використання засобів обробки геопросторових даних.

З другого боку, існуюча нормативно-правова база грошової оцінки земель передбачає використання, обробку та аналіз великих масивів просторових даних. Серед них місце розташування земельних ділянок у географічному просторі є визначальним фактором. Це обумовлює застосування для оцінки земель ефективних ГІС-технологій, призначених для обробки й аналізу саме просторових даних. Значна кількість просторових даних робить природним застосування геоінформаційних технологій

і геоінформаційних систем у процесах грошової оцінки земель та процесах визначення земельної власності, використання землі, розвитку землі.

За своїм змістом оцінку просторових факторів земель міст можна віднести до задач геоінформаційного (просторового) аналізу, оскільки її виконання потребує врахування впливу множини факторів регіонального, зонального та локального місця розташування земельних ділянок на території населеного пункту. Одна з переваг застосування геоінформаційних систем полягає у тому, що програмне забезпечення ГІС містить програмні модулі, які можуть бути використані для ефективного моделювання процесів оцінки просторових факторів земель міст.

Слід зазначити, що геоінформаційні системи останнім часом отримали широке використання, які, на думку експертів, поширюються більш ніж на 10 % на рік [9].

У контексті застосування геоінформаційних систем для оцінки просторових факторів земель міст особливого значення набуває систематизація теоретико-методичних положень щодо визначення геоінформаційного забезпечення.

Такий підхід до створення геоінформаційного забезпечення у системі оцінки просторових факторів земель міст реалізується шляхом застосування топографічної інформації, інтегральних інструментів, цифрової картографічної основи, документів територіального планування [10, 11].

Така точка зору представлена у роботах А. Берлянта [1], М. Гордія [12], В. Готиняна, Г. Красовського, І. Мельника [2]. Наведений підхід дає змогу визначити джерела формування інформації для геоінформаційного забезпечення, проте залишаються поза увагою питання виконання функціональних характеристик.

У контексті розробки геоінформаційного забезпечення, його використання деякі автори фокусують

увагу на проблемних аспектах, які полягають ось у чому:

1) докорінна зміна технології проектування на основі комплексного використання ГІС-технологій і баз геопросторових даних;

2) перехід від картографічного до геоінформаційного моделювання та прогнозування розвитку території на основі багатофакторного аналізу просторових взаємодій об'єктів і явищ міського середовища;

3) інтегрування кадастрових та проектно-планувальних систем в інфраструктуру геопросторових даних на основі уніфікованих цифрових моделей місцевості та цифрових моделей подання проектно-планувальних рішень у вигляді профільних наборів геопросторових даних;

4) надання проектно-планувальних та кадастрових послуг громадянам, підприємствам, потенційним інвесторам у системах е-уряду з використанням сервіс-орієнтованої технології та геопорталів [3].

Для визначення геоінформаційного забезпечення заслуговує на увагу точка М. ДеМерса, який характеризує його з позиції інструментального підходу, де важливе значення мають напрями та особливості застосування відповідних систем і технологій [3, с. 8]. Така точка зору представлена у роботі С. Кострікова і Б. Воробйова, які фокусують увагу на інструментальних характеристиках геоінформаційного забезпечення, що дає змогу побудувати відповідні моделі для досягнення поставлених цілей [15]. У цьому контексті заслуговують на увагу точки зору Е. Капралова, А. Кашкарева, В. Тикунова [4] й І. Худякової [15]. Представлений підхід дає змогу визначити напрями реалізації геоінформаційного забезпечення, проте залишаються поза увагою інші їх важливі характеристики – функціональні, цільові тощо.

Геоінформаційне забезпечення формується, виходячи із особливостей та напрямів застосування ГІС, які

визначаються як системи, що реально застосовуються на основі апаратного забезпечення, баз даних, програмного забезпечення, персоналу, які використовуються для вирішення широкого кола проблем і мають вартісні характеристики [16].

Базуючись на положеннях функціонального підходу, М. Генсецький виділяє функціональні ознаки геоінформаційного забезпечення при побудові інженерних комунікацій в експлуатаційних системах [17].

Результуючий підхід щодо визначення геоінформаційного забезпечення розглянуто у розробках О. Степенка, де важливе значення має досягнення результатів його застосування й зростання ефективності роботи, зокрема, у сфері землеустрою та кадастру, що дає можливість:

1) визначити грошову оцінку земельної ділянки різного функціонального використання в будь-якій точці електронної карти населеного пункту з переліком локальних факторів, що формують оцінку;

2) визначити грошову оцінку вільного полігона з урахуванням взаємного розташування полігона і факторів;

3) визначити грошову оцінку земельної ділянки юридичної чи фізичної особи із збереженням інформації в базі даних та можливістю отримання звіту із грошової оцінки [18].

Процесний підхід до визначення геоінформаційного забезпечення, який базується на формуванні сукупності дій та процесів відносно реалізації ГІС у різних сферах діяльності (містобудівної, земельної) представлено у роботах [7, 19-22].

У контексті визначення геоінформаційного забезпечення оцінки земель міст заслуговує на увагу точка зору автора, який фокусує увагу на комплексі взаємодіючих компонентів (комп'ютерних засобів, програмного забезпечення, географічних даних, регламенту і користувачів), що виконують функції

ведення, інтеграції, зберігання, обробки, аналізу, моделювання і візуалізації географічної інформації [9].

При формуванні геінформаційного забезпечення ми пропонуємо використувати такі принципи:

- цілісність;
- структурність;
- взаємозв'язаність системи і середовища;
- ієрархічність;
- множинність опису системи [8, с. 21].

У результаті систематизації наукових розробок, автором запропоновано комплексний підхід до визначення геінформаційного забезпечення оцінки земель міст, який характеризується комплексом взаємозв'язаних елементів, які реалізуються через відповідні функціональні напрями, що базуються на принципах цілісності, структурності, взаємозв'язаності системи і середовища, ієрархічності, множини опису системи.

Розділяючи положення комплексного підходу, А. Сохнич та С. Сохнич виділяють основні напрями для реалізації геінформаційного забезпечення у сфері земельних відносин [22].

О. Кульбака чітко вказує на те, що геінформаційне забезпечення є комплексною системою, яка виконує взаємопов'язані завдання [23].

У рамках комплексного підходу О. Світличний та С. Плотницький розглядають геінформаційне забезпечення з позиції сукупності апаратних, програмних та інформаційних засобів, що забезпечують виконання відповідних функцій (введення, збереження, обробку, маніпулювання, аналіз і відображення (представлення) просторово-координованих даних) [25].

Представником комплексного підходу до визначення геінформаційного забезпечення, по праву, можна вважати К. Мамонова, який характеризує його з позиції системи взаємозв'язаних елементів, які спрямовані на вирішення поставлених завдань шляхом застосування відповідних

методів, моделей та інших інструментів [25-27].

У рамках запропонованих підходів не визначені положення, що характеризують геінформаційне забезпечення інтегральної оцінки просторових факторів земель мегаполіса.

За класифікацією просторових факторів, які впливають на вартість об'єктів нерухомості, та із урахуванням процесів обробки інформації запропонована класифікація геінформаційних моделей для інтегральної оцінки просторових факторів земель мегаполісу.

1. Просторові моделі регіонального рівня.

1.1. Соціальні фактори.

1.2. Економічні фактори.

1.3. Просторові моделі адміністративних факторів.

1.4. Просторові моделі фізичних факторів (карта кліматичних зон, карта природно-сільськогосподарського районування земель, карта радіоактивного забруднення).

2. Просторові моделі місцевого (зонального) рівня.

2.1. Просторові моделі земельно-оцінної структуризації території (шар земельно-оцінної структуризації території).

2.2. Просторові моделі транспортно-функціональної зручності районів (шар транспортно-функціональної зручності районів).

2.3. Просторові моделі інженерно-інфраструктурного забезпечення території (шар рівня інженерно-інфраструктурного забезпечення території тепlopостачанням, шар рівня інженерно-інфраструктурного забезпечення території газопостачанням, шар рівня інженерно-інфраструктурного забезпечення території водопостачанням, шар рівня інженерно-інфраструктурного забезпечення території каналізацією, шар рівня інженерно-інфраструктурного забезпечення території, шар землеоцінної структуризації території).

2.4. Просторові моделі екологічного стану території (шар забруднення приземного повітря, шар акустичного забруднення, шар забруднення ґрунтів важкими металами, шар електромагнітного забруднення, шар екологічного стану території).

2.5. Просторові моделі привабливості середовища (шар магазинів та закладів харчування, шар поліклінік та аптек, шар шкіл та дитсадків, шар закладів культури та мистецтва, шар оцінки привабливості середовища).

3. Просторові моделі місцевого локального рівня.

3.1. Просторові моделі функціонально-планувальних факторів (шар зон пішохідної доступності до громадських центрів, шар зон магістралей підвищеного містоформуального значення, шар зон пішохідної доступності швидкісного транспорту, шар зон пішохідної доступності природних об'єктів, шар приреєксованої зони).

3.2. Просторові моделі інженерно-інфраструктурних факторів (шар зон вулиць без твердого покриття, шар мережі централізованого водопостачання, шар мережі каналізації, шар мережі централізованого тепlopостачання, шар мережі централізованого газопостачання).

3.3. Просторові моделі інженерно-геологічних факторів (шар схилів поверхні понад 20 %, шар ґрунту з несучою здатністю менше 1 кг/см², шар залягання ґрунтових вод менше 3 м, шар значної заболоченості, шар небезпечних геологічних процесів, шар намивних (насипних) територій).

3.4. Просторові моделі історико-культурних факторів (шар зон регулювання забудови, шар зон історичного ландшафту, шар зон охорони поодиноких пам'яток).

3.5. Просторові моделі природно-ландшафтних факторів (шар територій природоохоронного призначення, шар територій рекреаційного призначення).

3.6. Просторові моделі санітарно-гігієнічних факторів (шар санітарно-захисних зон, шар водоохоронних зон, шар зон забруднення атмосферного повітря, шар зон напруження електромагнітного поля, шар зон перевищення припустимого рівня шуму, шар ареалів забруднення ґрунтів).

4. Просторові моделі безпосередньо об'єкта нерухомості.

4.1. Просторові моделі земельної ділянки (план / цифрова модель земельної ділянки, модель виправлення за площу земельної ділянки, модель виправлення за розміри формотворчих ліній, модель виправлення за форму земельної ділянки, шар рельєфу земельної ділянки, шар агропромислових груп ґрунтів земельної ділянки, шар несучої здатності ґрунту земельної ділянки, шар підземних вод земельної ділянки, шар багаторічної рослинності земельної ділянки, модель відповідності земельної ділянки стандартам зонінгу (площа забудови, коефіцієнт об'ємного регулювання, коефіцієнт відкритого простору, висота, відношення площі земельної ділянки до загальної площі будинку, паркування, інші параметри зонінгу).

4.2. Просторові моделі будівлі (технічний план будівлі / шар будівлі / будівельне креслення, модель оцінювання впливу просторових параметрів будівлі (загальна площа, будівельний об'єм, площа приміщень, поверховість, відповідність зонінгу, висота, енергоефективність).

4.3. Просторові моделі квартири (технічний план квартири / шар квартири, модель оцінювання впливу просторових параметрів квартири (площа, розміри, форма, поверх, розмір кухні, орієнтир щодо сторін світу, екологічні фактори).

4.4. Просторові моделі споруди (план / шар споруди, модель оцінювання впливу просторових параметрів споруди (площа, розміри, форма).

4.5. Просторові моделі інженерної комунікації (план / шар інженерної

комунікації, модель оцінювання впливу просторових параметрів інженерної комунікації (площа, розміри, форма).

4.6. Просторові моделі об'єкта незавершеного будівництва (план / шар об'єкта незавершеного будівництва, модель оцінювання впливу просторових параметрів об'єкта незавершеного будівництва (площа, розміри, форма, коефіцієнт будівельної готовності).

4.7. Просторові моделі ділянки надр (план / шар ділянки надр, модель оцінювання впливу просторових параметрів ділянки надр (площа, розміри, форма, розміщення, кількість, якість та ступінь вивченості копалин).

4.8. Просторові моделі відокремленого водного об'єкта (план / шар відокремленого водного об'єкту).

4.9. Просторові моделі лісу (план / шар лісу).

4.10. Просторові моделі багаторічного насадження (план / шар багаторічного насадження).

Висновки з дослідження, перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Отже, у результаті систематизації теоретичних підходів, розділяючи положення комплексного підходу, автором запропоновано визначення геоінформаційного забезпечення інтегральної оцінки

просторових факторів земель мегаполіса, яке характеризується як система взаємодіючих елементів, які функціонують на основі застосування інструментів геоінформаційних систем, що дало змогу сформулювати комплекс просторових факторів, здійснити оцінку просторових факторів шляхом застосування інтегрального критерію, забезпечити їх моделювання для прийняття обґрунтованих рішень щодо розподілу та використання земель мегаполіса.

Таким чином, геоінформаційні моделі, які застосовуються для оцінки просторових факторів земель мегаполіса, підрозділяються на просторові моделі:

- регіонального рівня;
- місцевого (зонального) рівня;
- місцевого локального рівня;
- безпосередньо об'єкта нерухомості.

Наведена класифікація дає змогу здійснити моделювання просторових факторів, урахувавши різні рівні прийняття рішень щодо формування, розподілу та використання земель мегаполіса й підвищити ефективність їх реалізації.

Перспективними напрямками подальшого дослідження є розроблення та реалізація напрямів моделювання просторових факторів, що впливають на оцінку та використання земель міст.

Список використаних джерел

1. Берлянт, А. М. Картография [Текст]: учебник для вузов / А. М. Берлянт. – М.: Аспект Пресс, 2001. – 336 с.
2. Готинян, В. С. Геоінформаційні системи і технології [Електронний ресурс] / В. С. Готинян, Г. Я. Красовський, І. В. Мельник. – Режим доступу: <http://www.pryroda.gov.ua/ua/index.php?newsid=1147>.
3. Демерс, М. Географические информационные системы. Основы [Текст] / М. Демерс; пер. с англ. – М.: Дата+, 1999. – 491 с.
4. Основы геоинформатики [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов; в 2-х кн. / Е.Г. Капралов, А.В. Кашкарев, В.С. Тикунов и др.; под ред. В.С. Тикунова. – М.: Академия, 2004. – Кн. 1. – 352 с.
5. Лурье, И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков [Текст]: учебник / И.К. Лурье. – М.: КДУ, 2008. – 424 с.

6. Митчелл, Энди. Руководство по ГИС Анализу. Часть 1: Пространственные модели и взаимосвязи [Текст] / Митчелл Энди; пер. с англ. – К.: ЗАО ЕСОММ Со; СтилоС, 2000. – 198 с.
7. Палеха, Ю. Н. Применение ГИС-технологий в градостроительных проектах на государственном и региональном уровнях [Текст] / Ю.Н. Палеха, А.В. Олещенко, И.В. Соломаха // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского. География. – 2012. – 25 (64). №1. – С. 155-166.
8. Шипулин, В. Д. Основные принципы геоинформационных систем [Текст]: учебн. пособие / В. Д. Шипулин; Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Харьков: ХНАГХ, 2010. – 337 с.
9. Шипулін, В. Д. Посібник із навчання роботі з кадастрово-реєстраційною системою [Текст] / В. Д. Шипулін. – К : ЕСОММ, ІЛС Україна. – 439 с.
10. Глеба, В. Ю. Модернізація державного регулювання у будівництві: механізм електронного моніторингу територій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://books.google.com.ua/books?id=IoVBVAAAQBAJ &pg=PA61&lpg=PA6>.
11. Интернет и ГИС в градостроительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gistoolkit.ru/download/prezents/urbdevelop.zip>.
12. Гордій, М. С. Проблеми та перспективи використання ГІС-картографування в Україні [Текст] / М. С. Гордій // Часопис картографії. – 2012. – Вип. 4. – С. 23-30.
13. Методологические вопросы применения ГИС-технологий в системах градостроительного кадастра [Электронный ресурс] / А. В. Айликова, Ю. А. Карпинский, А. А. Лященко и др. // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Сер. География. – 2013. – Т. 26 (65). – № 1. – С. 3-11. – Режим доступа: http://sn-geography.crimea.edu/arhiv/2013/uch_26_1geo/001_ayli.pdf.
14. Костріков, С. В. Практична геоінформатика для менеджменту охорони довкілля [Текст]: навч.-метод. посібник / С. В. Костріков, Б. Н. Воробйов. – Харків: Вид-во ХНУ, 2003. – 103 с.
15. Худякова, І. Л. Аналіз зарубіжного досвіду професійної підготовки геоінформатиків [Електронний ресурс] / І. Л. Худякова // Видання ЧДУ ім. Петра Могили: Наукові праці – Педагогіка – Т. 97. – Вип. 84. – С. 131-135. – Режим доступу: <http://lib.chdu.edu.ua/pdf/naukpraci/pedagogika/2008/97-84-28.pdf>.
16. Goodchild, M. F. (1992). Geographical information science // International Journal of Geographical Information Systems. 6 (1). 31 – 45.
17. Генсецький, М. П. Методичні основи геоінформаційного забезпечення інженерних комунікацій в експлуатаційних системах [Електронний ресурс]: дис... канд. техн. наук: 05.24.01 – Геодезія / М. П. Генсецький. – К.: Київський національний університет будівництва і архітектури, 2004. – Режим доступу: <http://disser.com.ua/content/20248.html>.
18. Степенко, О. В. Геоінформаційне забезпечення грошової оцінки земельних ресурсів [Електронний ресурс] / О. В. Степенко. – Режим доступу: http://science.lp.edu.ua/sites/default/files/Papers/gka_77_2013_10.pdf.
19. Палеха, Ю. Н. Развитие градостроительных ГИС в Украине на современном этапе [Текст] / Ю. Н. Палеха // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. География. – 2010. – Т. 23 (62). – № 2. – С. 214-221.
20. Соломаха, І. В. Містобудівні карти України: їх зміст та відмінності від топографічних. Застосування космічних знімків для укладання опорних планів [Текст] / І. В. Соломаха // Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку. – 2008. – Вип. 3. – С. 107-112.

21. Чайка, О. Г. Використання ГІС технологій у державному та муніципальному управлінні земельними ресурсами України [Текст] / О. Г. Чайка // ГІС-форум 2006. – К. : КНУБА, 2006. – С. 40-44.
22. Сохнич, А. Застосування ГІС в управлінні земельними ресурсами [Електронний ресурс] / А. Сохнич, С. Сохнич. – Режим доступу: gbis-nbuv.gov.ua/.../cgiirbis_64.exe?.
23. Кульбака, О. М. Геоінформаційні системи і технології в управлінні земельними ресурсами [Електронний ресурс] / О. М. Кульбака. – Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=3637>.
24. Світличний, О. О. Визначення ГІС. Відмінність ГІС від інших інформаційних систем [Електронний ресурс] / О. О. Світличний, С. В. Плотницький. – Режим доступу: http://geoknigi.com/book_view.php?id=575.
25. Мамонов, К. А. Застосування геоінформаційних систем у процесі землеустрою міст України [Текст] / К. А. Мамонов // Комунальне господарство міст. – Харків: Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, 2016. – Вип. 130. – 116 с. – Сер. Технічні науки та архітектура.
26. Мамонов, К. А. Застосування ВЕБ геоінформаційних систем для розподілу та використання земель [Текст] / К. А. Мамонов // Комунальне господарство міст. – Харків: Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, 2016. – Вип. 132. – 144 с. – Сер. Технічні науки та архітектура.
27. Мамонов, К. А. ГІС-забезпечення у раціональному використанні земельних ресурсів міської забудови [Текст] / К. А. Мамонов, С. Г. Нестеренко, К. І. Вяткін // Науковий вісник будівництва. – Харків: Харківський національний університет будівництва та архітектури, 2016. – Т. 86. – №4. – 323 с.

Шипулін Володимир Дмитрович, канд. техн. наук, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. Тел.: (050) 615-48-80. E-mail: vshypulin@yahoo.com.

Штерндок Ернест Сергійович, здобувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. Тел.: (093) 428-92-34. E-mail: shterndok@ukr.net.

Shypulin Volodymyr Dmutrovich, Phd. tehn., professor of Department of Land Administration and GIS O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (050) 615-48-80. E-mail: vshypulin@yahoo.com.
Shterndok Ernest Serhiyovych, graduate student of Department of Land Administration and GIS O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (093) 428-92-34. E-mail: shterndok@ukr.net.

Стаття прийнята 10.05.2017 р.

УДК 625.143

ФОРМУВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ ЖОРСТКОСТІ РЕЙКОВИХ ОПОР ПРИ ШПАЛАХ СБ-3-0 І СКРІПЛЕННЯХ КПП-5

Д-р техн. наук О. М. Даренський, канд. техн. наук Д. О. Потапов, інж. С. В. Кулік

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ РЕЛЬСОВЫХ ОПОР ПРИ ШПАЛАХ СБ-3-0 И СКРЕПЛЕНИЯХ КПП-5

Д-р техн. наук А. Н. Даренский, канд. техн. наук Д. А. Потапов, инж. С. В. Кулик

FORMING OF SPATIAL INFLEXIBILITY OF RAIL SUPPORTS AT RAILROAD TIES SB-3-0 AND FASTENING KPP-5

Dr. Tech. Sc. A. N. Darenskiy, Ph.d. (Tech.) D. O. Potapov, eng. S. V. Kulik

При дії на рейку вертикальних і бічних сил відбувається її вигин у вертикальній і горизонтальній площині та її крутіння. Складовими реакцій рейкових опор є вертикальні і горизонтальні реакції рейкових скріплень і реактивні крутні моменти. Тому у даній роботі розглядається вертикальна й горизонтальна поперечні жорсткості скріплення типу КПП-5 при вигинах і його жорсткість при крутінні рейки.

Ключові слова: просторова жорсткість, математичне моделювання, вузли скріплень, крутні моменти, підрейкова основа.

При действии на рельс вертикальных и боковых сил происходит его изгиб в вертикальной и горизонтальной плоскости и его кручение. Составляющими реакций рельсовых опор являются вертикальные и горизонтальные реакции рельсовых креплений и реактивные крутящие моменты. Поэтому в данной работе рассматривается вертикальная и горизонтальная поперечные жесткости креплений типа КПП-5 при изгибах и его жесткость при кручении рельса.

Ключевые слова: пространственная жесткость, математическое моделирование, узлы креплений, крутящие моменты, подрельсовая основа.

At action on the rail of forces vertical and lateral there is its bend in a plane vertical and horizontal and its twisting. The reactions of the rail fastening and reactive croutni vertical and horizontal are the constituents of reactions of rail supports moments. Therefore in the given work is examined vertical and horizontal transversal inflexibilities of fastening to the type CPP-5-5 at bends and his inflexibility at twisting of rail.

Rozrahovuyochi action of these forces, it is needed to take into account the elements of resistance of subrail gasket to squeezing action.

By means the calculations it was led to, that an equilibrium in the knot of fastening would be when final assembling forces of the terminal pinning will equal resilient resistance of gasket of compression.

But studying action of forces vertical and lateral in fastening, it is impossible not to take into account horizontal transversal inflexibility of fastening, which arises up under action of lateral force, and also inflexibility, at twisting.

As a result of calculations the inflexibilities of knot of fastening to the type CPP-5-5 mathematical to dependence are Got at vertical and horizontal bends and twisting of rail under action of lateral forces as functions of inflexibility of resilient elements of fastening.

Keywords: *spatial inflexibility, mathematical design, knots of clamping, twisting moments, subrail basis.*

Вступ. Скріплення КПП-5 вигідно відрізняється від скріплення типу КБ – найпоширенішого на мережі залізниць, у першу чергу малою кількістю елементів. У скріпленні КПП-5 п'ять елементів (ураховуючи анкери складовою частиною шпали С- 3-0), у скріпленні КБ – 21 елемент.

Відсутність у скріпленні КПП-5 різьбових сполучень повинна істотно підвищити стабільність притиснення рейки до шпал, опірність силам угону.

Виключення з переліку колійних робіт – робіт із закріплення клемних і закладних болтів, істотно (до 10 %) скоротить загальні витрати праці на поточне утримання та ремонти колії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проміжні рейкові скріплення типу КПП-5 дозволено до застосування на залізницях України з 2003 року. Нормативні документи [1-3] дозволяють укладання безстикової колії на ділянках з будь-якою вантажонапруженістю в прямих і кривих з радіусами 350 м і більше. Довжина плітей безстикової колії може досягати довжини блок-ділянок або перегону (наддовгі пліті).

Однак ні в діючих нормативних документах [1-3], ні в опублікованих останнім часом результатах досліджень [5-7] (за винятком [4]) не дано характеристики жорсткості вузла скріплення типу КПП-5.

Визначення мети та задачі дослідження. Просторова жорсткість проміжних скріплень є складовою загальної просторової жорсткості підрейкової основи та впливає на роботу всієї конструкції колії під дією динамічного й вібраційного поїзного навантаження.

У роботі [3] розглянута вертикальна жорсткість вузла скріплення КПП-5 і дано числові характеристики жорсткостей

пружних елементів цього скріплення. Однак як підрейкова прийнята гума прокладка, що не відповідає типовій конструкції цього скріплення [2].

У запропонованій статті зроблено спробу математичного моделювання пружної роботи скріплення КПП-5 під дією вертикальних і горизонтальних поперечних (бічних) сил.

Основна частина дослідження. При дії на рейку вертикальних і бічних сил відбувається її вигин у вертикальній і горизонтальній площині та її крутіння. Складовими реакцій рейкових опор є вертикальні і горизонтальні реакції рейкових скріплень і реактивні крутні моменти. Тому розглянемо вертикальну й горизонтальну поперечну жорсткість скріплення типу КПП-5 при вигинах і його жорсткість при крутінні рейки.

Вертикальна жорсткість скріплення КПП-5. При монтажі вузла скріплення КПП-5 відбувається початкова вертикальна деформація пружинної клеми $y_{кл}^{noch}$ (рис. 1), яка може досягати, з урахуванням конструктивних розмірів клем, анкерів, прокладок, ізолюючого вкладиша та подошви рейки, 6 мм. При цьому кожна клема притискає подошву рейки до шпали із силою $Q_{кл}^{noch}$

$$Q_{кл}^{noch} = y_{кл}^{noch} \mathcal{J}_{кл},$$

де $\mathcal{J}_{кл}$ – жорсткість клеми при вертикальних деформаціях, кН/мм.

Під дією цих сил підрейкова прокладка стискується та чинить пружний опір цьому стиску

$$Q_{пр} = U_{пр}^{cm} y,$$

де U_{np}^{cm} – жорсткість прокладки при статичному стиску, кН/мм;
 y – деформація прокладки при стиску, мм.

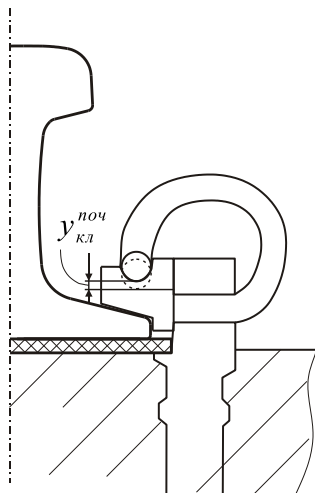


Рис. 1. Початкова вертикальна деформація пружинної клеми

Силу Q_{np} можна подати (рис. 2) у вигляді розподіленого пружного опору стиску з інтенсивністю q_{np} , кН/мм,

$$q_{np}^M = \frac{Q_{np}^M}{b}, \quad q_{np}^{\partial ин} = \frac{Q_{np}^{\partial ин}}{b},$$

де b – ширина підшви рейки, мм;

Q_{np}^M – сила, з якою дві клеми стискають прокладку при монтажі вузла скріплення;

$Q_{np}^{\partial ин}$ – сила стиску прокладки при динамічному навантаженні.

Рівновага у вузлі скріплення буде тоді, коли остаточні монтажні сили клемного притиснення будуть дорівнювати пружному опору прокладки стиску:

$$2Q_{кл}^M = Q_{np}^M = q_{np}^M b. \quad (1)$$

Остаточна монтажна сила клемного притиснення $Q_{кл}^M$ зменшується в порівнянні з величиною $Q_{кл}^{поч}$ у результаті зворотної

пружної деформації клем за рахунок стиску підрейкової прокладки на величину y_{np}^M :

$$Q_{кл}^M = (y_{кл}^{поч} - y_{np}^M) \cdot \mathcal{J}_{кл}.$$

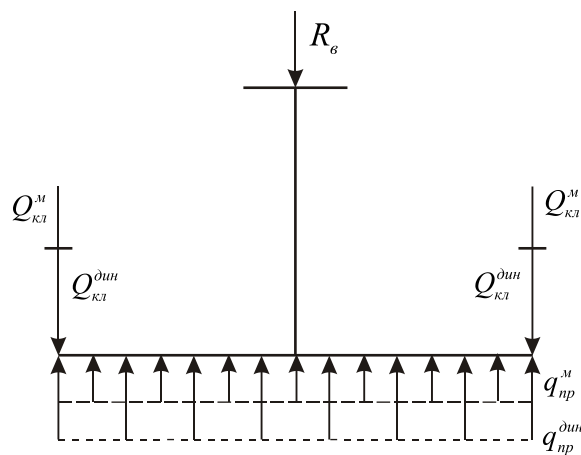


Рис. 2. Розрахункова схема при дії вертикальної сили

Опір прокладки стиску можна виразити через жорсткість прокладки при статичному стиску:

$$Q_{np}^M = q_{np}^M \cdot b = y_{np}^M \cdot U_{np}^{cm}.$$

Тоді вираз (1) буде мати такий вигляд:

$$2(y_{кл}^{поч} - y_{np}^M) \cdot \mathcal{J}_{кл} = y_{np}^M \cdot U_{np}^{cm}. \quad (2)$$

При дії на вузол скріплення динамічної вертикальної сили R_g умову рівноваги сил (рис. 2) можна записати як

$$R_g = Q_{np}^{\partial ин} - 2Q_{кл}^{\partial ин}. \quad (3)$$

Опір прокладки $Q_{np}^{\partial ин}$ при дії сили R_g збільшується при її додатковому динамічному стиску на величину Δy :

$$Q_{np}^{\partial ин} = \Delta y \cdot U_{np}^{\partial ин} + y_{np}^M \cdot U_{np}^{cm}, \quad (4)$$

де $U_{np}^{\partial ин}$ – жорсткість підрейкової прокладки при динамічному стиску, кН/мм.

Сила клемного притиснення при дії R_g зменшується за рахунок зворотної пружної деформації клем на величину Δy

$$Q_{кл}^{дин} = (y_{кл}^{noch} - y_{np}^m) \cdot \mathcal{J}_{кл} - \Delta y \cdot \mathcal{J}_{кл}. \quad (5)$$

$$R_g = \Delta y U_{np}^{дин} + y_{np}^m U_{np}^{cm} - 2(y_{кл}^{noch} - y_{np}^m) \mathcal{J}_{кл} + 2\Delta y \mathcal{J}_{кл}.$$

Заміняючи в цій формулі $2(y_{кл}^{noch} - y_{np}^m) \mathcal{J}_{кл}$ на $y_{np}^m U_{np}^{cm}$ з виразу (2), одержимо

$$R = \Delta y (U_{np}^{дин} + 2\mathcal{J}_{кл}).$$

Або переходячи до вертикальної жорсткості вузла скріплення $C_y = \frac{R_g}{\Delta y}$, остаточно одержимо

$$C_y = U_{np}^{дин} + 2\mathcal{J}_{кл}. \quad (6)$$

Горизонтальна поперечна жорсткість скріплення КПП-5. Горизонтальна поперечна жорсткість скріплення C_z , кН/мм, під дією бічної сили R_z визначається як

$$C_z = \frac{R_z}{\Delta z}, \quad (7)$$

де Δz – пружне бічне переміщення підшви рейки, мм.

Умова рівноваги сил у вузлі скріплення при дії бічної сили R_z (рис. 3)

$$R_z = 2F_{mp}^{кл} + F_{mp}^{np} + Q_z^{6к}, \quad (8)$$

де $F_{mp}^{кл}$ – сила тертя вкладиша по верхній грані підшви рейки, кН;

Тоді формулу (3) можна подати у вигляді

F_{mp}^{np} – сила тертя підшви рейки по прокладці, кН;

$Q_z^{6к}$ – сила опору бічному переміщенню підшви рейки частини ізолюючого вкладиша між підшвою й анкером, кН.

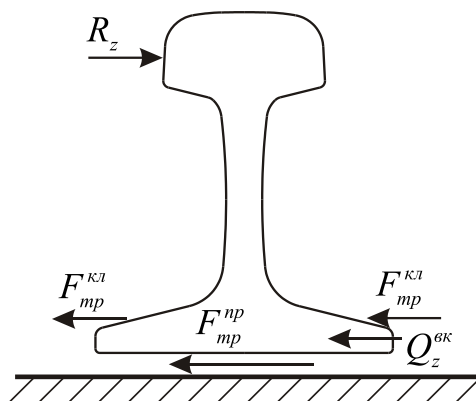


Рис. 3. Умова рівноваги сил у вузлі скріплення при дії бічної сили

У формулі (8) пружною буде тільки сила $Q_z^{6к}$

$$Q_z^{6к} = \Delta z \cdot U_z^{6к},$$

де $U_z^{6к}$ – жорсткість частини вкладиша при бічних переміщеннях підшви, кН/мм.

Сили тертя $F_{mp}^{кл}$ і F_{mp}^{np} можна подати з урахуванням формул (2), (4), (5) як:

$$F_{mp}^{кл} = f_m Q_{кл}^{дин} = f_m [(y_{кл}^{noch} - y_{np}^m) \mathcal{J}_{кл} - \Delta y \mathcal{J}_{кл}] = f_m \left(\frac{1}{2} y_{np}^m U_{np}^{cm} - \Delta y \mathcal{J}_{кл} \right);$$

$$F_{mp}^{np} = f_n Q_n^{дин} = f_n (y_{np}^m U_{np}^{cm} + \Delta y U_{np}^{дин}),$$

де f_m, f_n – коефіцієнти тертя вкладиша по підозві рейки (поліамід-сталь) і підозви по прокладці (сталь-поліуретан).

Інші позначення залишилися без змін. Тоді формула (8) буде мати вигляд

$$R_z = f_m y_{np}^m U_{np}^{cm} - 2f_m \Delta y \mathcal{J}_{кл} + f_n y_{np}^{cm} U_{np}^{cm} + f_n U_{np}^{\partial un} + \Delta z U_z^{BK}.$$

Після перетворень

$$R_z = y_{np}^m U_{np}^{cm} (f_m + f_n) + \Delta y (f_n U_{np}^{\partial un} - 2f_m \mathcal{J}_{кл}) + \Delta z U_z^{BK}.$$

Переходячи до горизонтальної поперечної жорсткості вузла скріплення (7), одержимо

$$C_z = \frac{y_{np}^m}{\Delta z} U_{np}^{cm} (f_m + f_n) + \frac{\Delta y}{\Delta z} (f_n U_{np}^{\partial un} - 2f_m \mathcal{J}_{кл}) + U_z^{BK}. \quad (9)$$

Оскільки ізолюючі вкладиші виготовляються із достатньо твердого матеріалу (поліамід) $U_z^{KP} \gg U_{np}^{\partial un} > U_{np}^{cm}$ бічні переміщення підозви рейки набагато менші від вертикальних $\Delta z \ll \Delta y$. Таким чином, $\frac{y_{np}^m}{\Delta z} \rightarrow \infty, \frac{\Delta y}{\Delta z} \rightarrow \infty$ і можна чекати, що $C_z \rightarrow \infty$.

Жорсткість скріплення КПП-5 при крутінні. При дії на вузол скріплення

крутного моменту $M_{кр}$ переріз рейки повернеться на кут $\Delta\varphi$, величину якого, у виді його малості, можна визначити як (рис. 4), рад:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta y_1 + \Delta y_2}{b}, \quad (10)$$

де Δy_1 і Δy_2 – додаткові переміщення кромки підозви рейки при повороті перерізу, мм;
 b – ширина підозви рейки, мм.

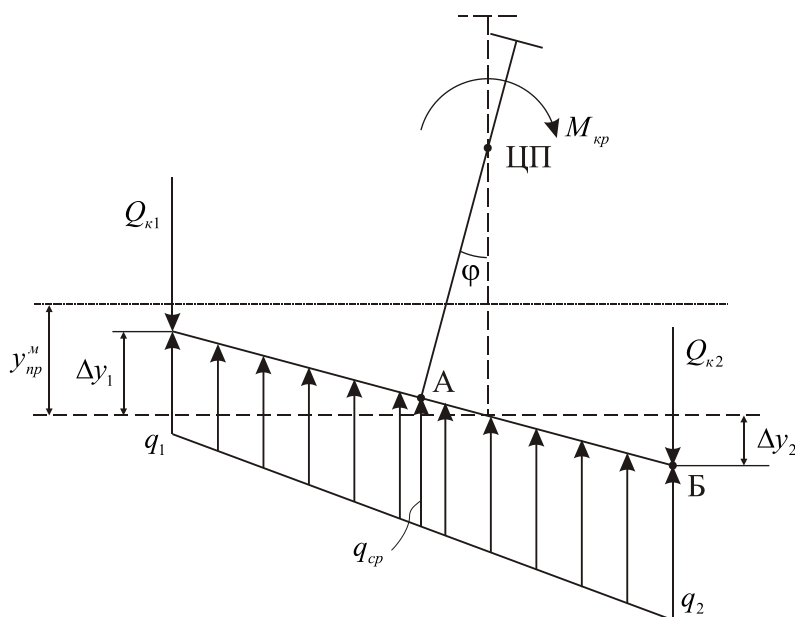


Рис. 4. Розрахункова схема при крутінні рейки

Жорсткість вузла скріплення при крутінні, кН/рад:

$$C_u = \frac{M_{кр}}{\Delta\varphi}. \quad (11)$$

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

Після перетворення одержимо

$$M_{кр} = (Q_{\kappa 1} - Q_{\kappa 2}) \frac{b}{2} + (q_2 - q_1) \frac{b^2}{16}, \quad (12)$$

де $Q_{\kappa 1}$ і $Q_{\kappa 2}$ – сили клемних натискань, кН, при повороті перерізу;

q_1 і q_2 – інтенсивності нерівномірного розподілу реакції опору підрейкової прокладки при нерівномірному її стиску, кН/мм.

Сили натискання клем при повороті перерізу можна визначити як

Умова рівноваги моменту $M_{кр}$, моментів реактивних опорів клем $Q_{\kappa 1}$ і $Q_{\kappa 2}$, моментів нерівномірно розподіленого реактивного опору підрейкової прокладки щодо центра повороту перерізу (ЦП) (рис. 4) визначається як

$$Q_{\kappa 1} = Q_{\kappa 1}^M + \Delta Q_{\kappa 1} = Q_{\kappa 1}^M + \mathcal{J}_{\kappa 1} \Delta y_1$$

$$Q_{\kappa 2} = Q_{\kappa 2}^M + \Delta Q_{\kappa 2} = Q_{\kappa 2}^M + \mathcal{J}_{\kappa 2} \Delta y_2$$

Тоді різниця $(Q_{\kappa 1} - Q_{\kappa 2})$ у формулі (12) буде дорівнювати

$$(Q_{\kappa 1} - Q_{\kappa 2}) = \mathcal{J}_{\kappa 1} (\Delta y_1 + \Delta y_2).$$

Аналогічно для різниці значень $(q_1 - q_2)$ з урахуванням викладеного вище можна одержати

$$(q_1 - q_2) = \frac{U_{np}^{\partial_{ин}}}{b} (\Delta y_1 - \Delta y_2).$$

Тоді формула (12) буде мати вигляд

$$M_{кр} = \mathcal{J}_{\kappa 1} (\Delta y_1 + \Delta y_2) \frac{b}{2} + U_{np}^{\partial_{ин}} \frac{\Delta y_1 + \Delta y_2}{b} \frac{b^2}{16}.$$

Підставляючи значення $\Delta\varphi$ з рівняння (10), одержимо

$$M_{кр} = \mathcal{J}_{\kappa 1} \Delta\varphi \frac{b^2}{2} + U_{np}^{\partial_{ин}} \Delta\varphi \frac{b^2}{16}.$$

Переходячи до жорсткості скріплення при крутінні (11), одержимо

$$C_u = \mathcal{J}_{\kappa 1} \frac{b^2}{2} + U_{np}^{\partial_{ин}} \frac{b^2}{16}.$$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, отримані

рівняння (6), (9), (13) дають змогу подати просторові жорсткості вузла скріплення КПП-5 як функції величини жорсткостей пружних елементів цього скріплення.

Подальша робота над цією проблемою дає можливість отримати більш точні дані процесів, які відбуваються у вузлах скріплень КПП-5 під дією зовнішніх факторів, що дає можливість у свою чергу розробити більш ефективну нормативну документацію, яка сприятиме подовженню терміну служби колії і всіх її елементів під дією динамічного і вібраційного навантаження від рухомого складу.

Список використаних джерел

1. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України [Текст] / Е.І. Даніленко, В.О. Яковлев, А.М. Орловський та ін. – К.: Транспорт України, 2006. – 336 с.
2. Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість (ЦП-0117) [Текст] / Е. І. Даниленко, В. В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
3. Інструкція з укладання та утримання рейкової колії з рейками типу Р65, УІС 60 і пружним проміжним скріпленням типу КПП-5 та високоміцними ізолюючими стиками (ЦП-0104) [Текст]. – К., 2003. – 52 с.
4. Говоруха, В. В. Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рельсовых скреплений [Текст]: монография / В. В. Говоруха. – Днепропетровск: Лира ЛТД, 2005. – 388 с.
5. Effects of profile wear on wheel–rail contact conditions and dynamic interaction of vehicle and turnout [Electronic resource] / J. Xu, P. Wang, L. Wang, R. Chen // Advances in Mechanical Engineering. – 2016. – Vol. 8, №1. – P. 1-14. – Available at: <http://ade.sagepub.com/content/8/1/1687814015623696.full.pdf+html>. – Title from the screen. – Accessed: 14.03.2016.
6. Kim, S. J. A Study on the Running Safety of F26 Turnout and Vehicle Model [Electronic resource] / S. J. Kim, B.-G. Eom, H. S. Lee // International Journal of Railway. – 2012. – Vol. 5, № 4. – P. 156-162. – Available at: [http://www.ijr.or.kr/On_line/admin/files/\(156-162\)-12-024.pdf](http://www.ijr.or.kr/On_line/admin/files/(156-162)-12-024.pdf). – Title from the screen. – Accessed: 15.03.2016.
7. Herian, J. Modelling of structure and properties of pearlitic steel and abrasive wear of the turnout frog in the cyclic loading conditions [Electronic resource] / J. Herian, K. Aniołek // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – 2011. – Vol. 49, Iss. 1. – P. 71-81. – Available at: http://www.journalam-me.org/papers_vol49_1/4918.pdf. – Title from the screen. – Accessed: 15.03.2016.

Даренський Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту Тел.: 730-10-59. E-mail: ppx_xiit@kart.edu.ua.
Потапов Дмитро Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 730-10-59. E-mail: ppx_xiit@kart.edu.ua.
Кулік Станіслав Вікторович, інженер, начальник Куп'янськ-Вузлової дистанції колії, Південна залізниця. Тел.: 730-10-59. E-mail: ppx_xiit@kart.edu.ua.

Darenskiy Olexander Mykolaevich, Dr. Tech. Sc., Professor of Department "Road and Track Facilities" Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 730-10-59.

Potapov Dmytro Oleksandrovich, Ph.d. (Tech.), Associated Professor of Department "Road and Track Facilities" Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 730-10-59.

Kulik Stanislav Viktorovich, engineer, chief Coup'yansc - Knot distance of track (Coup'yansc), Southern Railway. Tel.: 730-10-59.

Стаття прийнята 11.05.2017 р.

УДК 625.143

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ПРОТИУГІННИХ СИСТЕМ ПІДРЕЙКОВОЇ ОСНОВИ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Канд. техн. наук Н. В. Бугаєць, інж. П. В. Пліс (Південна залізниця), В. О. Нікішин

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРОТИВОУГОННЫХ СИСТЕМ ПОДРЕЛЬСОВОГО ОСНОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Канд. техн. наук Н. В. Бугаец, инж. П. В. Плис(ЮЖД), В. А. Никишин

ESTIMATION OF RELIABILITY OF PROTIUGINNIH SYSTEMS OF SUBRAIL BASIS WITH THE USE OF MATHEMATICAL DESIGN

Candidate of techn. sciences N. V. Bugaec, eng. P. V. Plis, V. A. Nikishin

Для опору рейок подовжнім переміщенням відносно підрейкових опор, тобто для запобігання їх уgonу на магістральних залізницях широко використовуються «протиугінні системи», які являють собою сукупність вузлів проміжних скріплень.

Розглянута логічна схема для розрахунку надійності протиугінної системи і виконаний аналіз її відмов при будь-якому стані протиугінної системи.

Ключові слова: протиугінні системи, підрейкові опори, математичне моделювання, вузли скріплень, вертикальне навантаження.

Для сопроотивления рельсов продольным перемещением относительно подрельсовых опор, то есть для предотвращения их уgonа на магистральных железных дорогах широко используются «противоугонные системы», которые представляют собой совокупность узлов промежуточных скреплений.

Рассмотрена логическая схема для расчета надежности противоугонных систем и выполнен анализ их отказов при любом состоянии противоугонной системы.

Ключевые слова: противоугонные системы, подрельсовые опоры, математическое моделирование, узлы скреплений, вертикальная нагрузка.

In work the questions of remontoprigradnosti are examined, longevity and safety of work of constructions at the calculation modes of exploitation, to provide their normal functioning.

For terms, that are examined, reliability of the protivougonnoy system in the flow of time of its exploitation is determined taking into account probability of faultless work of the system during a certain period, taking into account the normative value and probability of safe work.

To characterize every knot of the intermediate clamping of mogna by the size of longitudinal communication of rail with a railroad tie. The size of longitudinal force of pressure of rail on the knot of clamping, by chance changing in the process of work, can attain a critical mark, which the refusal of knot of clamping can happen at. At the refusal of some knots of clamping the protiugonnaya system remains capable of working, because in her there are surplus elements.

For resistance of rails to the longitudinal moving, in relation to subrail supports, that is for prevention of their driving away, on the main ferrous road the «protivougonnih systems» which are the aggregate of knots of the intermediate clamping are widely used.

In work a logical chart is considered for the calculation of reliability of the protivougonnih systems and the analysis of their refusals at any state of the protivougonnoy system is executed.

Keywords: protivougonnih systems, subrail supports, mathematical design, knots of clamping, vertical loading.

Вступ. Під терміном «протиугінна система» розумітимемо сукупність вузлів проміжних скріплень, яка забезпечує опір подовжнім переміщенням рейок, запобігаючи їх уgonу.

Поняття «надійність» характеризується трьома властивостями: безпекою, довговічністю і ремонтпридатністю. Безпека – властивість конструкції зберігати свою працездатність при розрахункових режимах експлуатації. Довговічність – властивість конструкції бути безвідмовною в часі. Ремонтпридатність – її пристосованість до відновлення справного стану. Таким чином, «надійність конструкції» – її властивість, обумовлена безвідмовністю, довговічністю і ремонтпридатністю, яка забезпечує її нормальне функціонування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальні принципи надійності механічних систем сформульовані В.В. Болотіним [1]. Перший принцип зводиться до того, що зовнішні дії на систему поведінки в процесі експлуатації є випадковими процесами, що розгортаються в часі. Другий принцип полягає в ототожненні надійності і вірогідності знаходження параметрів системи в деякій допустимій області, а порушення надійності – вихід з цієї області. Для протиугінних систем цей вихід рівносильний залишковим зсувам рейок по опорах. Третє положення полягає в тому, що відмови настають, як правило, унаслідок накопичення пошкоджень, залишкових деформацій, зносу.

Також були проаналізовані дослідження закордонних вчених [2-4], що підтвердили актуальність даного питання.

Визначення мети та задачі дослідження. Основним завданням даного дослідження є можливість розглянути надійність протиугінних спроможностей підрейкової основи зі скріпленням КПП-5 для різних умов експлуатації, застосовуючи математичне моделювання.

Основна частина дослідження. Умову надійності протиугінної системи в

перебігу часу її експлуатації можна записати так:

$$P(t) \geq P_n, \quad (1)$$

де $P(t)$ – вірогідність безвідмовної роботи системи в період часу t ;

P_n – нормативне значення вірогідності безпечної роботи.

Ліва частина нерівності (1) означає, що описаний стан для конструкції колії настає тоді, коли подовжні сили від рухомого складу Q_y перевищують несучу здатність протиугінної системи R_y :

$$Q_y - R_y > 0 \quad (2)$$

з вірогідністю $1 - P(t)$.

Для розрахунків вірогідності безвідмовної роботи протиугінної системи повинні бути визначені її стохастичні властивості «навантаження – несуча здатність», тобто у будь-який момент часу описані розподіли цих параметрів.

Нормативне значення вірогідності безвідмовної роботи протиугінної системи є величиною, близькою до одиниці, і повинно бути встановлено виходячи з вимог безпеки руху потягів при мінімальних витратах на експлуатацію системи.

Кожний вузол проміжного скріплення можна характеризувати величиною подовжнього зв'язку рейки з шпалою. Величина подовжньої сили тиску рейки на вузол скріплення, випадково змінюючись в процесі роботи, може досягти критичного значення, при якому може відбутися відмова вузла скріплення. При відмові деяких вузлів скріплень протиугінна система залишається працездатною, оскільки в ній є надмірні елементи

$$n > n_{кр},$$

де n – кількість вузлів скріплень в протиугінній системі;

$n_{кр}$ – кількість вузлів скріплень, при якій система втрачає працездатність.

Резервовані системи відрізняються від нерезервованих реакцією на появи відмов. З цієї точки зору протиугінна система є резервованою системою з пасивним навантаженим резервом, в якій при відмові хоча б одного елемента навантаження на вузол скріплень, що залишаються працездатними, збільшуються. В результаті збільшується інтенсивність їх відмов. Відмова протиугінної системи настає, коли число працездатних скріплень

$$n_j \leq n_{кр} . \quad (3)$$

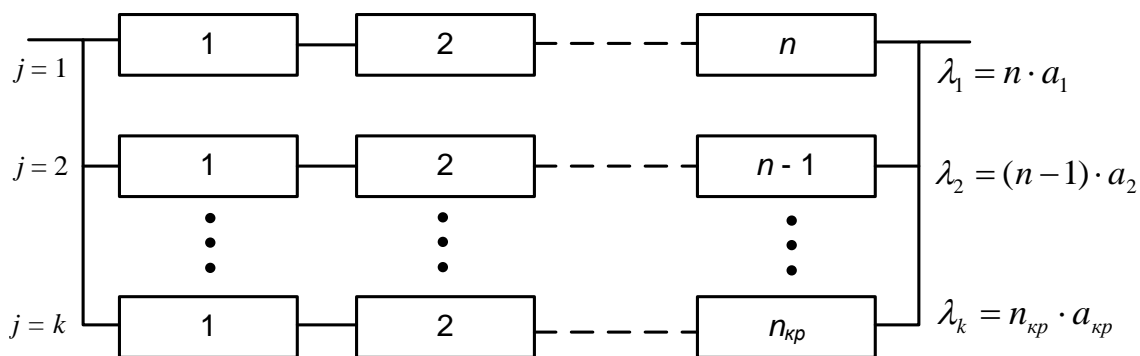


Рис. Логічна схема для розрахунку надійності протиугінної системи

Якщо прийняти, що інтенсивність відмов в робочій області пропорційна прикладеному навантаженню, то

$$\frac{\lambda_i}{a_j} = \frac{n}{n - j + 1} , \quad (4)$$

де $j = 1, 2, \dots, k$.

Інтенсивність відмов системи для j -го стану

$$\lambda_j = (n - j + 1) \cdot a_j . \quad (5)$$

Підставляючи значення a_j з (4), одержимо

$$\lambda_j = n \cdot a_j . \quad (6)$$

Логічна схема при розрахунку надійності протиугінної системи продана на рисунку, де позначено:

λ_1 – інтенсивність відмов вузлів скріплень при початковому навантаженні;

λ_2 – інтенсивність відмов вузлів скріплень при навантаженні в $n(n-1)$ більше початкової;

λ_k – інтенсивність відмов вузлів скріплень при навантаженні в $n/n_{кр}$ більше початкової.

Із збільшенням номера j -го стану на логічній схемі зменшується число елементів, сполучених паралельно, і збільшується інтенсивність їх відмов.

Тобто інтенсивність відмов для будь-якого стану протиугінної системи, показаної на рисунку, постійна. Відповідно до цієї логічної схеми час роботи до відмови протиугінної системи дорівнює сумі випадкових величин $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k$, часу безвідмовної роботи вузлів скріплень, що перебувають в стані 1, 2, ..., k. Припустимо, що $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k$ взаємно незалежні. При цьому розподіл часу безвідмовної роботи системи при значеннях $k > 5$ є практично нормальним [5] з математичним сподіванням

$$m_t^c = \sum_{j=1}^k \frac{1}{\lambda_j} \quad (7)$$

і середньоквадратичним відхиленням

$$\sigma_t^c = \sqrt{\sum_{j=1}^k \frac{1}{\lambda_j}} \quad (8)$$

Враховуючи допущення про пропорційність інтенсивності відмов прикладеному навантаженню, одержимо

$$m_t^c = \frac{k}{na_1} = \frac{k}{n} m_1 = \left(1 - \frac{n_{kp} - 1}{n}\right) m_t, \quad (9)$$

де $m_t = m_1 = T/a_1$ – математичне сподівання часу безвідмовної роботи одного вузла скріплення.

Відповідно середньоквадратичне відхилення часу безвідмовної роботи протиугінної системи

$$\sigma_t^c = \sqrt{\frac{k}{n^2 a_1^2}} = \frac{\sqrt{n - n_{kp} + 1}}{n} m_t. \quad (10)$$

Вірогідність безвідмовної роботи протиугінної системи за час $(0, t_i)$

$$G_{Si} = \int_S^{\infty} \frac{C}{\sqrt{2\pi}\sigma_{ni}} \exp\left[-\frac{(R_y - m_{Ri})^2}{2\sigma_{Ri}^2}\right] dR, \quad (13)$$

де m_{Ri} і σ_{ni} – математичне сподівання і середньоквадратичне відхилення амплітудних значень навантаження на вузли скріплень у момент часу (напрацювання) t_i .

Нормуючий множник C визначається з умови

$$C \int_{R_1}^{R_2} f_i(R) dn = 1, \quad (14)$$

де R_1, R_2 – діапазон можливих навантажень.

$$P(t_i) = 0.5 - \Phi(u), \quad (11)$$

де $U = \frac{t - m_t^c}{\sigma_t^c}$, $\Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u \exp\left(-\frac{V^2}{2}\right) dV$ – нормована функція Лапласа.

Математичне сподівання m_t часу безвідмовної роботи вузла скріплень можна визначити, знаючи характеристики випадкового процесу зміни навантаження на вузол в процесі роботи.

Вузол скріплення вважається працездатним в частині протиугінних властивостей, якщо діюче на нього навантаження не перевищує його несучої здатності. Для фіксованого моменту часу або напрацювання t_i вірогідність того, що вузол скріплення працездатний, дорівнює

$$G_{Si} = \int_S^{\infty} f_i(R) dR, \quad (12)$$

де $f_i(R)$ – щільність розподілу величини навантаження на вузли скріплень при $t = t_i$.

При усіченому нормальному розподілі величин навантажень

При випадковому процесі зміни навантажень, що має монотонні реалізації, щільність розподілу напрацювання до відмови дорівнює

$$f(t) = -\frac{dG(S, t)}{dt}. \quad (15)$$

При лінеаризації процесу зміни навантажень рівномірною функцією вигляду

$$R(t) = A + b(t), \quad (16)$$

у якій випадкова величина A , яка характеризує початкові значення навантажень, має математичне сподівання m_a і середньоквадратичне відхилення σ_a ; b - постійна величина, яка характеризує швидкість зміни навантаження в процесі експлуатації. В цьому випадку щільність розподілу напрацювання вузла скріплення повністю, відповідно до формул (13) і (15), матиме вигляд

$$f(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-m_t)^2}{2\sigma_t^2}\right], \quad (17)$$

де $m_t = \frac{S - m_a}{b}$; $\sigma_t = \frac{\sigma_a}{|b|}$.

Якщо в результаті обробки даних експериментів встановлено, що лінійна

випадкова функція близька до рівномірної, тобто дисперсія $\sigma_{R(t)}$ змінюється мало, можна прийняти

$$b = m_b,$$

а дисперсію σ_R^2 навантажень вважати постійною і рівною напівсумі початкового значення дисперсії σ_a^2 і її значенню σ_t^2 при $t = m_t$

$$\sigma_R^2 = 0.5(\sigma_a^2 + \sigma_t^2). \quad (18)$$

При цьому числові характеристики m_t і σ_t нормального розподілу напрацювання повністю можна визначити приблизно за двома вимірюваннями значень параметра R в процесі експлуатації [5]:

$$m_t = \frac{(t_{i+1} - t_i)S - t_{i+1}m_{Ri} + t_i m_{Ri+1}}{m_{Ri+1} - m_{Ri}}; \quad (19)$$

$$\sigma_t = \frac{\sqrt{(t_{i+1} - t_i)[0.5(\sigma_{Ri+1}^2 - \sigma^2)m_{Ri} + t_{i+1}\sigma_{Ri}^2 - t_i\sigma_{Ri+1}^2]}}{m_{Ri+1} - m_{Ri}}, \quad (20)$$

де m_{Ri} ; m_{Ri+1} - середні значення навантажень у момент часу t_i і t_{i+1} ;

σ_{Ri} ; σ_{Ri+1} - середньоквадратичне відхилення у момент часу t_i і t_{i+1} .

Якщо теоретичний закон щільності розподілу $f(t)$ напрацювання повністю визначити не вдається, розрахунки надійності можна виконати наближеним способом.

Для цієї мети термін служби протиугінної системи (міжремонтний період) розбивається на інтервали Δt_i . Для кожного фіксованого значення напрацювання t_i обчислюють значення вірогідності знаходження протиугінної системи в працездатному стані G_{wi} . Далі,

припускаючи, що всі реалізації випадкового процесу зміни навантажень є гладкими монотонними, визначаються середні для інтервалів $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$ значення щільності розподілу напрацювання повністю, розділивши прирости вірогідності того, що вузол скріплення знаходиться в працездатному стані, на довжину інтервалу

$$[f_i]_{cp} = \frac{G_{Si} - G_{S(i+1)}}{t_{i+1} - t_i}. \quad (21)$$

При нормальному розподілі ординат випадкового процесу $y(t)$ формулу (21) можна звести до функції Лапласа

$$[f_i]_{cp} = \frac{C[\Phi(U_{i+1}) - \Phi(U_i)]}{t_{i+1} - t_i}$$

За отриманими значеннями $[f_i]_{cp}$ будується гістограма, яка згладжується безперервною кривою.

При постійній межі допуску S значення G_{Si} обчислюються за формулою (13). У випадку, якщо межі поля допуску є випадковим процесом, то вірогідність знаходження системи в працездатному стані для всіх значень напрацювання t_i можна визначити, використовуючи спосіб, запропонований в [6].

При нормальному розподілі діючих на вузол скріплення подовжніх сил Q_y і несучої здатності R_y відмова не відбудеться, поки

$$\Delta_i = R_y - Q_y > 0.$$

Середні значення випадкової величини Δ_i дорівнюють різниці середніх значень випадкових величин R_{yi} і Q_{yi}

$$m_{\Delta_i} = m_{R_{yi}} - m_{Q_{yi}}. \quad (22)$$

Середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_{\Delta_i} = \sqrt{\sigma_{R_{yi}}^2 + \sigma_{Q_{yi}}^2}, \quad (23)$$

де $\sigma_{R_{yi}}$ і $\sigma_{Q_{yi}}$ – середньоквадратичне відхилення випадкових величин R_{yi} і Q_{yi} .

За цих умов величина Δ_i має нормальний розподіл, тому вірогідність знаходження вузла скріплення в працездатному стані

$$G_i = 0.5 + \Phi\left(\frac{m_{\Delta_i}}{\sigma_{\Delta_i}}\right), \quad (24)$$

де $\Phi\left(\frac{m_{\Delta_i}}{\sigma_{\Delta_i}}\right)$ – нормована функція Лапласа.

Визначивши значення G_i , далі за формулою (21) можна отримати для кожного інтервалу напрацювання Δt_i середні значення щільності розподілу напрацювання до відмови $[f_i]_{cp}$, які згладжуються безперервною кривою.

Математична модель реалізована в програмній системі Mathcad.

В таблиці наведені результати розрахунків надійності роботи протиугінних систем підрейкової основи зі шпалами СБ-3-0 та скріпленням КПП-5 при різних значеннях вантажонапруженості.

Таблиця

Надійність роботи протиугінних систем зі шпалами СБ-3-0 та скріпленням КПП-5

Вантажонапруженість (млн ткм бруто / км/р.)	Пропущений тоннаж (млн т)			
	200	400	600	800
15	0,987	0,875	0,757	0,653
30	0,993	0,954	0,834	0,737
50	0,995	0,976	0,867	0,824
70	0,997	0,987	0,895	0,857

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Визначення надійності протиугінних систем підрейкової основи зі

скріпленням КПП-5 є важливим і перспективним завданням для магістрального транспорту.

Розроблена математична модель роботи протиугінної системи підрейкової основи з урахуванням різних умов її експлуатації. Виконаний аналіз зміни стану протиугінної системи під впливом часу.

Теоретичні передумови, які були отримані у даних, дослідженнях потребують подальшого практичного

розвитку і використання отриманих результатів для подовження терміну служби колії і її елементів.

Запропонована модель реалізована в програмній системі Mathcad, що дало можливість отримувати числові значення надійності роботи протиугінних систем для різних конструкцій колії.

Список використаних джерел

1. Болотин, В. В. Применение методов теории вероятностей к теории надежности в расчетах сооружений [Текст] / В. В. Болотин. – М.: Стройиздат, 1971. – 255 с.
2. Effects of profile wear on wheel–rail contact conditions and dynamic interaction of vehicle and turnout [Electronic resource] / J. Xu, P. Wang, L. Wang, R. Chen // *Advances in Mechanical Engineering*. – 2016. – Vol. 8, №1. – P. 1-14. – Available at: <http://ade.sagepub.com/content/8/1/1687814015623696.full.pdf+html>. – Title from the screen. – Accessed: 14.03.2016.
3. Kim, S. J. A Study on the Running Safety of F26 Turnout and Vehicle Model [Electronic resource] / S. J. Kim, B.-G. Eom, H. S. Lee // *International Journal of Railway*. – 2012. – Vol. 5, №4. – P. 156-162. – Available at: [http://www.ijr.or.kr/On_line/admin/files/\(156-162\)-12-024.pdf](http://www.ijr.or.kr/On_line/admin/files/(156-162)-12-024.pdf). – Title from the screen. – Accessed: 15.03.2016.
4. Herian, J. Modelling of structure and properties of pearlitic steel and abrasive wear of the turnout frog in the cyclic loading conditions [Electronic resource] / J. Herian, K. Aniołek // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. – 2011. – Vol. 49, Iss. 1. – P. 71-81. – Available at: http://www.journalam-me.org/papers_vol49_1/4918.pdf. – Title from the screen. – Accessed: 15.03.2016.
5. Дружинин, Г. В. Надежность автоматизированных систем [Текст] / Г. В. Дружинин. – М.: Энергия, 1977. – 536 с.
6. Ржаницин, А. Р. Определение характеристик безопасности и коэффициентов запаса из диономических соображений [Текст] / А. Р. Ржаницин. – М.: Стройиздат, 1961. – 96 с.

Бугаєць Наталія Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 730-10-59. E-mail: natalia.bugaec@gmail.com.
Пліс Павло Васильович, інженер, начальник КМС-133 (Куп'янськ), Південна залізниця. Тел.: 730-10-59.
Нікішин Володимир Олександрович, магістрант Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 730-10-59.

Bugaec Natalya Vladimirovna, cand. of techn. sciences, Associated Professor of Department "Road and Track Facilities" Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 730-10-59.
Plis Pavlo Vasiljovich, engineer, chief CMS - 133 (Coup'yansc), Southern Railway. Tel.: 730-10-59.
Nikishin Vladimir Alexandrovich, Master of Science Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 730-10-59.

Стаття прийнята 11.05.2017 р.

УДК 656.2.072.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЕЛИЧИНИ РЕЗЕРВУ ЧАСУ НА НАДІЙНІСТЬ ГРАФІКА РУХУ ШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ

Асп. Г. О. Прохорченко, А. І. Щербацька, М. М. Ткачук

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ РЕЗЕРВА ВРЕМЕНИ НА НАДЕЖНОСТЬ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ СКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ

Асп. Г. О. Прохорченко, А. И. Щербацкая, М. М. Ткачук

RESEARCH EFFECT OF THE RESERVE TIME RELIABILITY HIGH SPEED TRAIN SCHEDULE

Н. Prokhorchenko, A. Scherbatska, M. Tkachuk

Робота присвячена дослідженню впливу величини резерву часу між поїздами на надійність графіка руху поїздів. Проаналізовано досвід використання величини резерву між поїздами, виявлено залежності дільничної швидкості, величини часу затримок всіх поїздів на дільниці від величини часу первинної затримки швидкісних поїздів.

Ключові слова: графік руху поїздів, надійність графіка руху поїздів, резерв часу.

Работа посвящена исследованию влияния величины резерва времени между поездами на надежность графика движения поездов. Проанализирован опыт использования величины резерва между поездами, выявлены зависимости участковой скорости, величины времени задержек всех поездов на участке от величины времени первичной задержки скоростных поездов.

Ключевые слова: график движения поездов, надежность графика движения поездов, резерв времени.

The work is devoted to research the effect of reserve time between trains on the reliability of the train schedule. In terms of implementation speed movement in Ukraine determination of this value is of particular relevance because it is important to reduce the length of the trip and at the same time compliance accuracy and reliability of the train schedule. This paper analyzes the domestic and foreign experience of using reserve values between trains detected depending polling rate, the value of the primary and secondary time delay of trains at the station on the value of primary delay time of high-speed trains. A simulation of railway station with different size high-speed trains delayed departure at the beginning of the stations that limit station. A statistical analysis intervals departure station to the original station station found continuous distribution laws intervals departure station for each of the directions of movement.

Keywords: schedule of train, train schedule reliability, reserve time.

Вступ. В умовах розвитку швидкісного руху пасажирських поїздів перед залізницями України постає завдання забезпечення надійності та точності наданих послуг з перевезення пасажирів. Дані показники відображають якість

обслуговування, що виражається у здатності дотримуватися розкладу руху, обіцяного пасажирам. В основі запропонованого пасажирам розкладу руху лежить нормативний документ – нормативний графік руху поїздів (ГРП),

який є планом розподілу часу слідування потрібної кількості поїздів різних категорій через залізничну мережу [1,2]. ГРП для кожного поїзда визначає план послідовного розподілу часу проходження за дільницями маршруту – нитку графіка руху швидкісного пасажирського поїзда, за якою забезпечує безперебійний, злагоджений технологічний процес перевезення. Однією з перешкод слідуванню поїзда за встановленими нормативними нитками графіка є вплив різного роду випадкових факторів, до яких можна віднести непередбачувані відмови технічних засобів (локомотивів, вагонів, колій, пристроїв СЦБ і зв'язку, контактної мережі тощо) та відмови з організаційно-технологічних причин (помилкові дії працівників різних служб, відсутність колій приймання для поїздів на станції, збої у прослідуванні інших поїздів через дільницю).

Одним із інструментів для поліпшення показників точності та надійності ГРП шляхом згладжування наслідків порушення нормативного розкладу руху є закладання у планові елементи технології пропуску поїзда резерву часу – кількість часу, на який може бути затримано виконання етапу процесу руху поїзда за ниткою без наслідків для наступних етапів в послідовності виконання ГРП. Даний запас часу може бути використаний в ситуації, коли є ризик затримки поїзда відносно встановленого графіка руху поїздів. Однак в умовах швидкісного руху поїздів, де важливим є зменшення тривалості подорожі, встановлення величини резервів часу є завданням компромісу між конкуренто-спроможністю пасажирського поїзда на маршруті та надійністю ГРП. За таких умов дослідження, спрямовані на пошук оптимальних величин резерву та способів їх розподілу у графіку руху, є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдання встановлення резерву часу для ниток слідування пасажирських поїздів серед провідних вітчизняних вчених

поширення не набуло, однак отримало розвиток серед провідних закордонних вчених. Зокрема, В. Schittenhelm [3] у своїх дослідженнях описує оптимальне використання застосування часу додавання поїздів з використанням різних стратегій планування на залізницях Данії, L. Kroon, R. Dekker [4] у своїх роботах проводили аналіз затримок поїздів на залізницях Голландії, Швейцарії, Німеччини та визначили порогові значення затримок для різних категорій поїздів цих країн. Дослідження F. Cerreto, O. Nielsen, S. Harrod [5,6] присвячені аналізу затримок поїздів на залізницях Данії, поділу їх за видами та вивченню еволюції затримок поїздів. Всі дослідження спрямовані на поліпшення якості складання графіка руху поїздів, зменшення часу на перевезення пасажирів та вантажів та продуктивне використання рухомого складу. Однак дані дослідження повністю не можуть бути застосовані для використання на залізницях України, оскільки у своїй більшості орієнтовані на використання циклічних графіків руху поїздів, що не застосовуються на більшості залізничної мережі України.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даного дослідження є вивчення впливу величини резерву часу між двома нитками поїздів на надійність графіка руху швидкісних поїздів. Це дозволить встановити найбільш раціональні норми резервів часу між швидкісними і звичайними поїздами на дільниці, підвищити якість складання графіка руху поїздів на залізницях України, що, як наслідок, дозволить забезпечити прийнятний рівень надійності та точності надання послуг з перевезення пасажирів швидкісними поїздами.

Основна частина дослідження. На даний час на залізницях України з метою стійкого виконання графіка руху поїздів у процесі його розробки передбачаються певні резерви, які на кожній дільниці не повинні перевищувати значення,

розраховані за спеціальною формулою, яка визначає додатковий час, що залежить від прийнятого рівня надійності графіка руху поїздів та коефіцієнта швидкості, які встановлюються за “Інструкцією з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України” [7].

Для можливості зміни порядку пропуску поїздів в оперативному режимі при створенні ГРП на кожному перегоні виділяють вільні від прослідування поїздів інтервали (на одноколіній дільниці – на обмежувальному перегоні, на двоколіній – по кожному напрямку зі зміщенням, дозволяє мати у графіку після пропуску 5 % добової кількості поїздів деякий резерв у часі). Тривалість такого інтервалу повинна дорівнювати часу руху поїзда по цьому перегону. Між вільними смугами повинно прокладатися 10-12 % добової кількості вантажних поїздів. Для створення умов стійкого виконання графіка руху на двоколіїних лініях після пропуску 8-10 % добової кількості поїздів передбачається збільшений на 6-8 хв інтервал. Наявність такого інтервалу дозволяє скоротити вплив відхилень перегінних часів руху від нормативів на дільничну швидкість вантажних поїздів. Подібна практика існує на залізницях Білорусі, Казахстану тощо. Однак дані стратегії мають певні недоліки – узагальнення резервного часу не дозволяє встановити необхідні розміри резервів у нитці для конкретної категорії поїздів, які мають різний пріоритет. Відсутність будь-якої конкретизації призводить до встановлення величин резервів часу в кожному конкретному випадку експертним шляхом, ґрунтуючись на практичному досвіді інженерів – графістів та без будь-яких досліджень впливу прийнятих рішень на надійність графіка руху.

У більшості країн Західної Європи існує резервний час відповідно до досліджень Міжнародного союзу залізниць, який залежить пропорційно від довжини шляху [8-10] і збільшується з максимальною швидкістю, однак кожен

менеджер інфраструктури використовує власну стратегію виділення резервного часу. Так, датський менеджер залізничної інфраструктури Rail Net Denmark використовує диференційований резерв часу в залежності від дальності слідування поїзда (регіональний чи дальній поїзд), в деяких випадках навіть збільшуючи удвоє резерв, рекомендований Міжнародним союзом залізниць. Цікавим є досвід використання стратегії Швейцарської федеральної залізниці (нім., Schweizerische Bundesbahn, SBB), що з 2004 року ввела комплексний фіксований інтервал у ГРП з поділом мережі залізниць на дві категорії районів в залежності від завантаження [5, 8]: райони, що працюють на рівні або майже на межі пмаксимальної пропускної спроможності; райони з резервними потужностями – “компенсаційні зони”. Для досягнення високого рівня пунктуальності компанія SSB почала використовувати нову стратегію застосування резервного часу. У районах, що працюють на рівні або майже на межі максимальної пропускної спроможності дільниць, нитки графіка прокладаються на ГРП з максимальним часом ходу поїздів на перегоні і мінімальним резервним часом в розкладі. Це робиться з метою мінімізації знаходження поїздів у районі “вузьких” місць. У той час як в “компенсаційних зонах” нитки поїздів плануються з великими значеннями резервного часу з метою забезпечення точності прибуття поїздів у райони, що працюють на рівні або майже на межі максимальної пропускної спроможності дільниць.

Враховуючи, що для залізниць України майже відсутні конкретизовані правила встановлення резервів часу у нитці пасажирських поїздів, зокрема швидкісних, в даній статті запропоновано дослідити вплив величини резерву часу на надійність графіка руху швидкісних поїздів та інших поїздів на дільниці. Враховуючи, що найбільш невивченим є час для відновлення у нитці, вибрано для

дослідження один із впливових елементів його реалізації – резерв часу до міжпоїзного інтервалу між двома взаємопов’язаними нитками поїздів (англ., *buffer times between trains*).

Для проведення експериментальних досліджень було вибрано елемент дільниці С – В з десятима станціями, за яким проходять маршрути швидкісних поїздів сполученням Харків-Київ. Для дослідження використано вихідні дані нормативного графіка руху поїздів на даній дільниці. У непарному напрямку 30 ниток вантажних поїздів та 19 ниток пасажирських, з яких чотири нитки швидкісних поїздів. У парному напрямку 28 ниток вантажних поїздів, 21 нитка пасажирських поїздів, з яких з яких чотири нитки швидкісних поїздів.

Для дослідження впливу затримки на показники руху всіх поїздів на дільниці використано розроблену математичну модель автоматизованого розрахунку графіка руху поїздів [11], яка була реалізована у середовищі Matlab як основа імітаційного моделювання, за яким

генерується задана величина часу затримки швидкісних поїздів та час відновлення їх руху. Після цього виконується побудова раціонального ГРП з урахуванням відмов та розраховуються статистичні параметри розповсюдження затримки.

Оскільки швидкісні поїзди в графіку руху поїздів мають вищий пріоритет над іншими категоріями поїздів в нормативному графіку, то лише їх затримка має великий вплив на надійність ГРП. Таким чином, в роботі запропоновано виконати моделювання затримки чотирьох швидкісних поїздів. Проведено імітаційне моделювання роботи дільниці Совнаркомівська – Вакулинці з різною величиною затримки чотирьох швидкісних поїздів на початку відправлення зі станцій, що обмежують дільницю. За кожним з напрямків руху на дільниці отримані залежності дільничної швидкості, величини часу первинних та вторинних затримок всіх поїздів на дільниці від величини часу первинної затримки кожного з чотирьох швидкісних поїздів, що наведені на рис. 1-2.

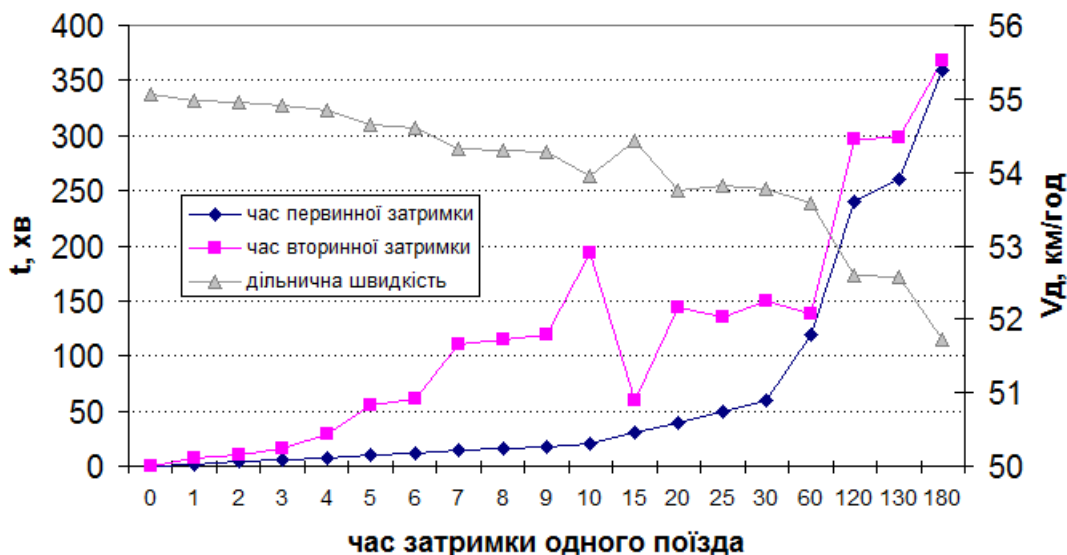


Рис. 1. Залежність дільничної швидкості, величини часу первинних та вторинних затримок всіх поїздів на дільниці від величини часу первинної затримки кожного з чотирьох швидкісних поїздів у парному напрямку руху

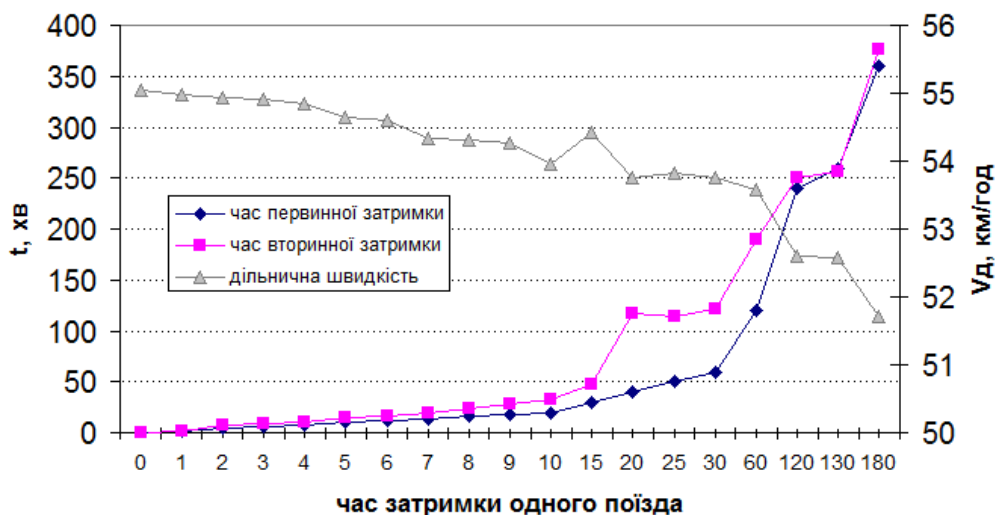


Рис. 2. Залежність дільничної швидкості, величини часу первинних та вторинних затримок всіх поїздів на дільниці від величини часу первинної затримки кожного з чотирьох швидкісних поїздів у непарному напрямку руху

Із залежності на рис. 1 видно, що при збільшенні затримки до 10 хв в парному напрямку виникає пік величини вторинних затримок всіх поїздів на дільниці, що складає 193 хв, тоді як дільнична швидкість складає 53,9 км/год, що менше нормативної дільничної швидкості на 2%. Слід зазначити, що подальше збільшення величини затримки включно до 60 хв майже не впливає на падіння дільничної швидкості. Це підтверджує існування критичних меж встановлення резерву часу між поїздами у ГРП, які ефективно впливають на забезпечення надійності.

За тих самих умов в непарному напрямку (див. рис. 2) видно, що вторинні затримки всіх поїздів мають незначне збільшення та складають 32 хв. Розрахунок дільничної швидкості проводився для обох напрямків, і тому не потребує повторного аналізу.

Для більш детального аналізу впливу величини затримки побудовані для обох напрямків залежності кількості затримок всіх поїздів у графіку руху (без урахування ниток швидкісних поїздів) від величини часу первинної затримки кожного з чотирьох швидкісних поїздів, що наведені на рис. 3-4.

Із залежності на рис. 3 можна зробити висновок: при величині десятихвилинної затримки швидкісних поїздів кількість затриманих поїздів інших категорій становить п'ять, в той час як восьмихвилинна затримка є критичною межею та викликає затримку семи поїздів. Більш важливим показником надійності ГРП є кількість затриманих поїздів. Таким чином, можна зробити висновок, що резерв у 8 хв є більш прийнятним, ніж 10 хв, так як майже за рівнозначними показниками дільнична швидкість все ж таки більша при 8 хв на 0,63% від десятихвилинного показника. Це дозволить пришвидшити рух поїздів на дільниці, що прямо впливає на економічні показники перевезень.

Аналіз залежності на рис. 4 свідчить про незначний вплив величини затримки на кількість затриманих поїздів у непарному напрямку. В діапазоні 8–10 хв відбувається незначне збільшення кількості затриманих поїздів – від одного поїзда до трьох. Таким чином, за аналогією з висновком по парному напрямку можна стверджувати, що восьмихвилинна затримка є більш прийнятною.



Рис. 3. Залежність кількості затримок всіх поїздів у графіку руху від величини часу первинної затримки кожного з чотирьох швидкісних поїздів у парному напрямку



Рис. 4. Залежність кількості затримок всіх поїздів у графіку руху від величини часу первинної затримки кожного з чотирьох швидкісних поїздів у непарному напрямку

Для аналізу впливу восьмивихвилинної затримки на надійність нормативного ГРП в роботі виконано статистичний аналіз інтервалів відправлення поїздів на дільницю з початкових станцій дільниці. Знайдено неперервні закони розподілу інтервалів відправлення поїздів на

дільницю за кожним із напрямків руху. Встановлено, що час між поїздами за відправленням із станції Совнаркомівська підпорядковується закону Ерланга третього порядку з показником $\lambda = 0,036273$ (рис. 5). Математичне сподівання складає 27,57 хв, середньоквадратичне відхилення – 16,02 хв.

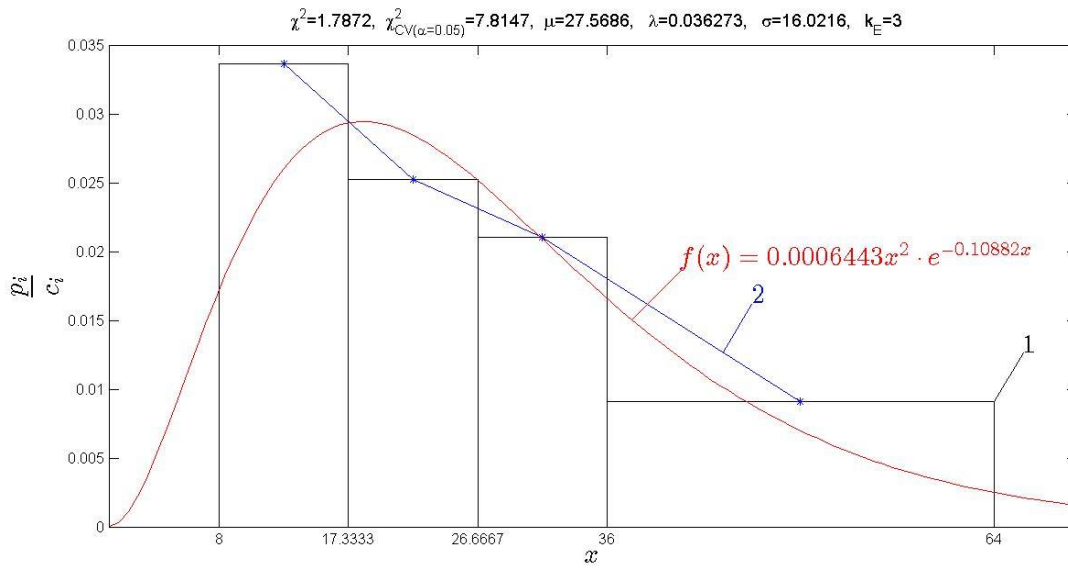


Рис. 5. Гістограма частот, емпірична та теоретична функції розподілу інтервалу між поїздами за відправленням у непарному напрямку на станції Совнаркомівська згідно з нормативним ГРП

Встановлено, що час між поїздами за відправленням із станції Вакулинці підпорядковується закону Ерланга другого порядку з показником $\lambda = 0,034164$ (рис. 6). Математичне сподівання складає 29,27 хв, середньоквадратичне відхилення – 19 хв.

Перевірка правдоподібності гіпотез про належність дослідних даних до заданого виду імовірнісного закону проводилася за допомогою критерію Пірсона при рівні значущості 0,05.

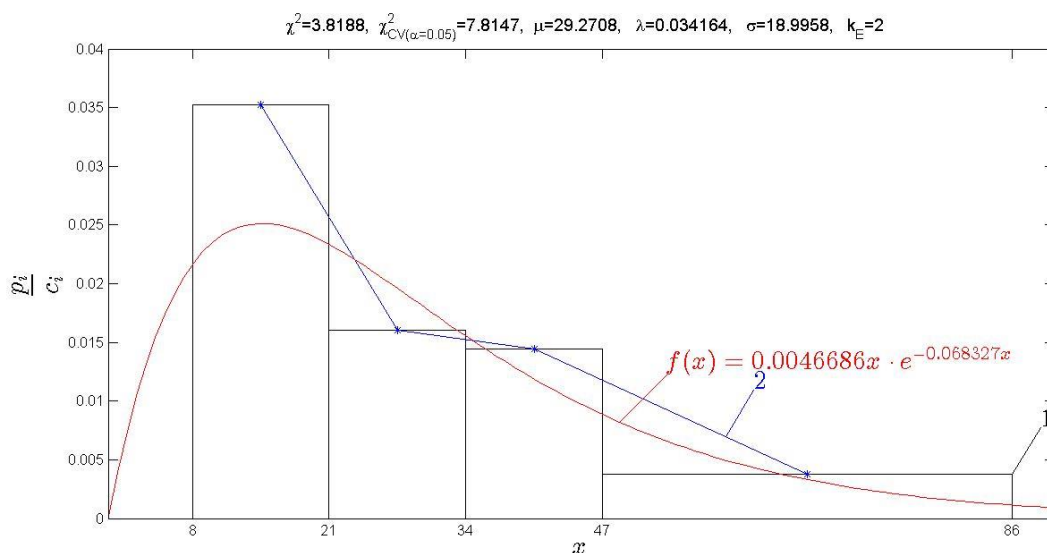


Рис. 6. Гістограма частот, емпірична та теоретична функція розподілу інтервалу між поїздами за відправленням у парному напрямку на станції Вакулинці згідно з нормативним ГРП

Слід зазначити: проведення моделювання з восьмивхвилинною затримкою швидкісних поїздів при корегованому ГРП з аналогічною величиною резервного інтервалу часу між нитками швидкісного і звичайних поїздів у графіку показало статистичні результати, подібні до нормативних, з такими самими законами розподілу за напрямками відправлення на дільницю. Це підтверджує схожість макропоказників відкорегованого ГРП з нормативним та доводить можливість застосування даного підходу для встановлення уточнених резервів часу у ГРП.

Висновки. Проаналізувавши досвід закордонних залізниць та залізниць України в частині виділення резерву часу між нитками поїздів при складанні графіка руху поїздів, можна зробити висновок про необхідність перегляду існуючого підходу до визначення цієї величини та її впливу на надійність ГРП. Виявлено, що при експлуатації закордонних залізниць кожен менеджер інфраструктури використовує

власну стратегію виділення резервного часу, однак жодна стратегія не може бути повністю застосована на залізницях України. Відсутня методологія вибору для кожної нитки графіка резерву часу для забезпечення надійності графіка руху швидкісних поїздів. Запропонований нами підхід щодо дослідження впливу величини резерву часу між двома нитками поїздів на дільниці на основі імітаційного моделювання дозволяє виявити раціональний рівень величини резервів та оцінити їх вплив на показники експлуатаційної роботи дільниці. Отримані результати моделювання показали високу перспективність даних досліджень.

Застосування такого підходу в подальшому дозволить дослідити вплив резерву часу в умовах розповсюдження затримки на інші дільниці мережі та сформулювати найбільш ефективні стратегії розподілу резервів часу на дільницях, що значно підвищить надійність виконання ГРП.

Список використаних джерел

1. Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України ЦД-0040 [Текст]: затв. наказом Укрзалізниці № 170-Ц від 05.04.2002. – вид.офіц. – К.: Транспорт України, 2002. – 164 с.
2. Каретников, А. Д. График движения поездов [Текст] / А. Д. Каретников, Н. А. Воробьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 1979. – 301 с.
3. Schittenhelm, B. Planning with timetable supplements in railway timetables Berndt Schittenhelm. – Trafikdage på Aalborg Universitet, 2011. – P. 1-18.
4. Kroon, L. G., Dekker, R., Vromans, M. J. Cyclic Railway Timetabling: A Stochastic Optimization Approach, Railway Optimization 2004, LNCS 4359, Springer Verlag 2007. – P. 41-66.
5. Cerreto, F., Nielsen, O. A., Harrod, S., & Nielsen, B. F. Causal Analysis of Railway Running Delays. Paper presented at 11th World Congress on Railway Research (WCRR 2016), Milan, Italy.
6. Cerreto, F. Micro-simulation based analysis of railway lines robustness. 6th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis. Tokyo, Japan: IAROR. Retrieved 2015, from http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:140777/datastreams/file_112408001/content.
7. Інструкція з розрахунку наявної пропускнуєї спроможності залізниць України ЦД-0036 [Текст]: затв. наказом Укрзалізниці № 143/Ц від 14 березня 2001 р.: навч.-метод. посіб. / О.Ф. Вергун, Н.В. Липовець, В.М. Боголій. – К.: Транспорт України, 2002. – 376 с.
8. UIC leaflet 406 R, Capacity. UIC International Union of Railways, France, 2e édition. – Version traduite. List of recent publications, 2013. – 60 p.
9. Zhou, X. Bi-criteria train scheduling for high-speed passenger railroad planning applications [Text] / X.Zhou, M.Zhong // European Journal of Operational Research. – 2005. – №167(3). – P. 752-771.

10. Caprara, A. Modelling and solving the train timetabling problem [Text] / A. Caprara, M. Fischetti, P. Toth // Operational Research. – 2002. - №50(5). – P. 851-861.

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

Прохорченко Галина Олегівна, асистент, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-88. E-mail: galaproh@meta.ua.

Щербацька Анастасія Іллівна, магістр групи 21-VI-ОПУТм, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Ткачук Максим Михайлович, магістр групи МЗ-Tempus-16/1-1-ОПУТ, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

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

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

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

Стаття прийнята 24.05.2017 р.

УДК 656.2.072

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОРІЄНТУВАННЯ ПАСАЖИРІВ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ВОКЗАЛАХ УКРАЇНИ В УМОВАХ УПРОВАДЖЕННЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ

Д-р техн. наук А. В. Прохорченко, В. В. Паламарчук

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОРИЕНТИРОВАНИЯ ПАССАЖИРОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОКЗАЛАХ УКРАИНЫ В УСЛОВИЯХ ВНЕДРЕНИЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ

Д-р техн. наук А. В. Прохорченко, В. В. Паламарчук

IMPROVEMENT OF THE PASSENGER ORIENTATION SYSTEM AT RAILWAY STATIONS IN UKRAINE IN CONDITIONS OF INTRODUCING THE SPEED MOVEMENT OF PASSENGER TRAINS

Dr.Sc. A. Prokhorchenko, V. V. Palamarchuk

Досліджено напрямок підвищення ефективності функціонування залізничних вокзалів України при впровадженні швидкісного руху на основі удосконалення системи орієнтування пасажирів. Проведено аналіз досвіду функціонування залізничних вокзалів світу, сформульовано основну стратегію впровадження системи орієнтування на залізничних вокзалах України. Запропоновано удосконалити систему орієнтування пасажирів за рахунок поділу площі платформ на сектори.

Ключові слова: залізниця, залізничний вокзал, пасажир, система орієнтування, моделювання.

Исследовано направление повышения эффективности функционирования железнодорожных вокзалов Украины при внедрении скоростного движения на основе совершенствования системы ориентирования пассажиров. Проведен анализ опыта функционирования железнодорожных вокзалов мира, сформулирована основная стратегия внедрения системы ориентирования на железнодорожных вокзалах Украины. Предложено усовершенствовать систему ориентирования пассажиров за счет разделения площади платформ на сектора.

Ключевые слова: железная дорога, железнодорожный вокзал, пассажир, система ориентирования, моделирование.

In this work the direction of increasing the efficiency of railway stations Ukraine in the implementation of high-speed passenger trains through improving their systems targeting passengers. Based on the analysis of best practices Railway stations of the world formulated the basic strategy of targeting the introduction of railway stations of Ukraine. A targeting construct a system based on separation of railway station areas in which passengers are faced with respective typical situations. Considered requirements for a system of marking at the railway station. For example, modeling the passenger during boarding the train proved the effectiveness of implementation of the orientation of passengers on a platform based on the separation space platforms linking sectors with special circuit diagrams formation trains speed trains. Comparative simulation results boarding the train show that using the proposed system targeting passengers on the platform can significantly increase passenger comfort and reduce landing in train by 29.2% of the existing indicators. It is proved that the introduction of orientation can significantly improve security, passenger comfort when using high-speed trains in Ukraine.

Keywords: railway transportation, railway station, passenger guidance system modeling.

Вступ. Упровадження швидкісного руху на залізничній мережі України спричинило зростання обсягів перевезень пасажирів у цьому секторі, що дало змогу залізничному транспорту залучити додаткових пасажирів з високим рівнем доходів. Утримання власних позицій на ринку пасажирських перевезень та залучення пасажирів з інших видів транспорту вимагає від залізниць України дієвих заходів для підвищення сервісу з обслуговування пасажирів. Одним із напрямків підвищення комфорту пасажирів при здійсненні подорожі залізничним транспортом є удосконалення системи орієнтування (англ., orientation system) пасажирів на залізничних вокзалах [1].

Відсутність можливості швидко і зручно знайти ефективний шлях руху або визначити свою наступну мету

призначення на залізничному вокзалі та за його межами для пасажира є визначальним щодо задоволеності рівнем послуг під час подорожі. Як свідчать дослідження [2], пасажир, перебуваючи в заплутаному обмеженому просторі, до якого можна віднести залізничний вокзал, знаходиться в складному емоційному стані, що поєднує тривогу та дезорієнтацію. Отже, відсутність на залізничному вокзалі дієвої системи орієнтування призводить до незручностей для пасажирів та вводить їх у стресовий стан, що може призвести навіть до їх небезпеки.

На цей час на залізничних вокзалах України ефективна система функціонально-часово-просторової організації пасажиропотоків відсутня. Довідково-інформаційне забезпечення пасажирів на залізничному вокзалі є розрізненим, не повною мірою дає

змогу зорієнтуватись, а в деяких зонах вокзалу взагалі відсутнє, що не відповідає сучасним вимогам якості надання транспортних послуг [3]. Також відсутня система управління пасажиропотоками на залізничному вокзалі, яка поєднує в собі функції із збору й обробки інформації, інформаційно-довідкового забезпечення, що включає систему знакування, та безпосередньо функції управління на основі інформування пасажирів щодо раціональних маршрутів та дій з прямого втручання за рахунок зміни технічних і технологічних параметрів вокзалів (закриття приміщень, вимкнення ескалаторів, розставлення тимчасових щитів для огороження місць небезпеки тощо).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження щодо побудови ефективних систем орієнтування здійснюється на перетині багатьох наук, а саме: будівництва, архітектури, історії, психології, графічного дизайну, інформаційного дизайну, теорії поведінки натовпу (англ., crowd dynamics) [4], колективного інтелекту (англ., Swarm Intelligence), моделювання потоків руху тощо. Багато праць [5, 6, 8] присвячено формулюванню напрямків основних стратегій побудови систем орієнтування. У перших роботах відзначалось, що ефективність побудованої системи орієнтування залежить від багатьох факторів, зокрема освітлення, кольору, щільності руху в потоці тощо [7]. Проводиться багато досліджень, що присвячені впливу на ефективність орієнтування тих чи інших видів інформації для пасажирів [9,11]. Досягнення в різних напрямках досліджень успішно застосовуються для формування систем орієнтування на залізничних вокзалах [12, 14, 15]. У [12] відмічається, що в умовах упровадження швидкісного та високошвидкісного руху пасажирських поїздів, де вводяться в обіг нові комфортабельні поїзди, залізничний вокзал із застарілою інфраструктурою та

неефективною системою орієнтування є слабкою ланкою у загальній оцінці пасажиром рівня комфорту під час поїздки.

Сучасним напрямком вирішення задач аналізу функціонально-просторової організації пасажиропотоків на залізничному вокзалі є застосування математичного моделювання руху потоків пасажирів [13,16,17-21]. Ґрунтуючись на результатах моделювання руху потоків пасажирів, виконується аналіз комфорту, тривалості та маршрутів пересування пасажирів у різних умовах і зонах залізничного вокзалу для удосконалення системи орієнтування [20].

Визначення мети та задачі дослідження. Ця робота має на меті дослідити напрямок підвищення ефективності функціонування залізничних вокзалів України в умовах упровадження швидкісного руху пасажирських поїздів на основі удосконалення їх системи орієнтування пасажирів. Це дасть змогу звести до мінімуму дезорієнтацію і розгубленість пасажирів, які перебувають на залізничних вокзалах і бажають здійснити подорож швидкісним поїздом без зайвої втрати часу. Для досягнення цієї мети у статті поставлена задача проаналізувати передовий досвід функціонування залізничних вокзалів світу. Сформулювати основну стратегію впровадження системи орієнтування на залізничних вокзалах України. На прикладі моделювання руху пасажиропотоків під час посадки у поїзд довести ефективність упровадження системи орієнтування пасажирів на платформі.

Основна частина дослідження. В основі побудови системи орієнтування лежить необхідність зорієнтувати пасажирів на кожному з етапів його шляху на залізничному вокзалі. Причому пасажиропотоки мають різну поведінку та потреби в інформації у різних місцях вокзалу. Для врахування цього фактора та для уніфікації потреб пасажирів система орієнтування будується за принципом

зонування залізничного вокзалу. Практика показує, що на першому етапі важливо розділити вокзал на три зони, у яких пасажирів стикаються з відповідними типовими ситуаціями:

- зовнішня зона – привокзальна площа та місця стикування з іншими видами транспорту;

- зона пасажирської будівлі (конкорса) – це зона між привокзальною площею і пероном, що включає всі поверхи вокзалу, внутрішні маршрути пересування потоків та зони очікування;

- перонна зона – охоплює всі платформи і переходи між ними, пішохідні мости і тунелі.

За таким принципом поділу кожна зона і її функції завжди ідентифіковані. Інформація, яка надається в кожній із зон, повинна бути послідовна з урахуванням зв'язку між зонами. Зони можуть проходити на декількох рівнях. У кожній зоні вокзалу повинна бути вирішена проблема орієнтування пасажирів, яку в англійській літературі називають «Wayfinding» – це термін, використовуваний для опису того, як пасажир вирішує свої просторові проблеми (знаходять свій шлях) у навколишньому середовищі (зонах залізничного вокзалу) [10]. Для успішного вирішення цієї проблеми на залізничному вокзалі повинна бути створена система орієнтування, яка за рахунок передачі повідомлень є системою комунікації з пасажиром. Це дає змогу ефективно управляти пасажиропотоками, так як пасажир у даній ситуації сам до цього схильний. Для досягнення поставленої мети стратегія побудови системи орієнтування на залізничному вокзалі повинна враховувати основні вимоги:

- необхідно задовольняти потреби всіх груп відвідувачів, незалежно від мови, статі або мобільності;

- визначати основні напрямки руху пасажиропотоків у межах залізничного вокзалу;

- інформувати пасажирів щодо прибуття і відправлення поїздів, розкладу руху поїздів, варіантів подорожі;

- визначати виходи на вокзалі та бути поєднаною з простором міста;

- підтримувати режим аварійної евакуації пасажирів та управляти пасажиропотоками в умовах паніки та різних інцидентів.

Залежно від способу передачі повідомлення виділяють такі інструменти навігації: форма, яка проявляється в об'ємно-просторовій структурі та графіці, звуки, тактильні відчуття [22]. Ключову роль у системі орієнтування відіграє знакування середовища залізничних вокзалів. Усі знаки можна поділити на три види:

- орієнтаційні знаки – це мапи, схеми, плани, розташовані у вузлових місцях. Вони дають пасажирові змогу зорієнтуватись у середовищі та спланувати маршрут;

- знаки напрямку руху – знаки, встановлені на відстані від об'єктів, здебільшого у місцях прийняття рішень. Повідомлення про те, куди потрібно йти, дають пасажирові можливість вибрати напрямок руху. Містять стрілки, назви об'єктів, піктограми;

- ідентифікаційні знаки – знаки, розміщені на об'єктах, які підтверджують, що пасажир прийшов у бажане місце. Повідомляють про те, чим саме є об'єкт. Вивіски з позначенням назви залу, номера платформи тощо.

В основі правил встановлення орієнтаційних знаків є принцип, який передбачає їх розташування під прямим кутом до осі станції (рис. 1, а). Це забезпечує правильне сприйняття напрямків руху до платформ та інших зон.

Знаки напрямку руху завжди повинні бути розташовані перпендикулярно до основного потоку пасажирів та звернені до напрямку, з якого вони призначені для читання. Знаки ідентифікації повинні бути видно з далеких відстаней і тому бажаним є їх розміщення як можна вище.

При розміщенні елементів знакування з написами необхідно дотримуватися обережності, щоб гарантувати, що вони не будуть заважати основному руху пасажиропотоку – особливо в таких зонах критичного завантаження, як платформи. Мінімізувати цей ризик можна за рахунок вибору різної висоти закріплення для

кожного типу знака. Слід також урахувати той факт, що знаки привертають увагу пасажирів, які природно будуть підходити досить близько до них, щоб прочитати інформацію, що є небажаним у місцях критичної завантаженості (платформа). Тому важливо упорядкувати інформацію і звести кількість знаків до мінімуму.

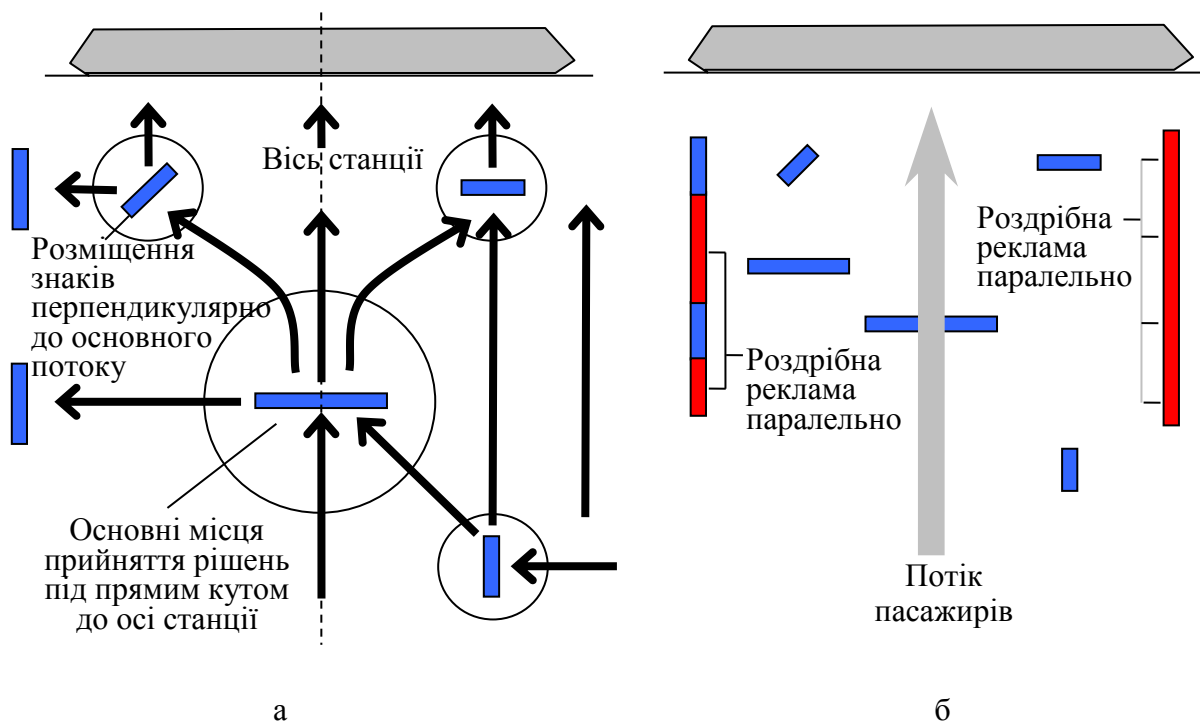


Рис. 1. Основні принципи розміщення знаків на залізничному вокзалі:
 а – знаки напрямку руху перпендикулярно до основного потоку;
 б – орієнтаційні знаки з візуальним пріоритетом

У межах стратегії побудови системи орієнтування на залізничних вокзалах усі носії зі змінною та постійною інформацією повинні відповідати розробленій концепції корпоративного дизайну залізничної компанії. Як показує практика [23], це досягається за рахунок розроблення і введення в дію спеціального стандарту (керівництва), у якому висвітлюються вимоги до специфікації нових та існуючих знаків на залізничних вокзалах компанії, яка управляє ними. У межах цього

керівництва висвітлюються питання принципів побудови системи орієнтування, правил розміщення знаків та всіх видів інформації на вокзалі, основні підходи до типографіки, колірного вирішення, дизайну, основних розмірів знаків та їх місця й висоти розміщення. Це дасть змогу уніфікувати систему знакування та узгодити дизайн для всіх залізничних вокзалів на мережі, що дасть можливість підвищити пізнаваність бранда компанії та самих знаків на вокзалі для пасажирів.

Для забезпечення ефективності системи орієнтування важливо, щоб знаки (пиктограми) та носії змінної інформації набували візуального пріоритету у просторі зон вокзалу. Для цього необхідним є визначення висоти розміщення і максимальної відстані сприйняття їх розміру шрифту для пасажирів з нормальним зором. Згідно з керівництвом

[23], знаки з написами (пиктограми) для зручної видимості та забезпечення безперешкодного пересування пасажиропотоків розміщуються на такій висоті (рис. 2):

- зовнішні написи вокзалу і транспортні під'їзди: база знака 4 м;
- написи у конкорсах: база знака 3,5 м;
- написи над платформами: база знака 2,5 м.

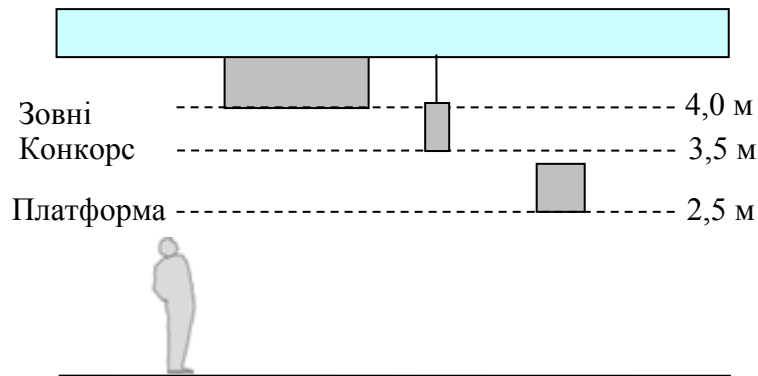


Рис. 2. Схема розміщення знаків за висотою на залізничному вокзалі для ефективного їх сприйняття

У залежності від висоти розміщення знака та його дальності сприйняття встановлюються розміри шрифтів написів з градацією шести відстаней зчитування від 3,5 до 27 м. [23].

Однією із найбільш завантажених зон залізничного вокзалу є пасажирські платформи, неорганізоване пересування на яких для пасажирів потенційно несе небезпеку. Аналіз поведінки пасажирів під час посадки у поїзд на платформах залізничних вокзалів України свідчить про відсутність дієвої системи орієнтування пасажирів. Наявність на вокзалах лише гучномовного повідомлення початку нумерації вагонів у складі поїзда призводить до небажаних хаотичних пересувань пасажирів через досить неточне визначення місця зупинки вагона з необхідним номером для посадки у поїзд. Прогресивною практикою вирішення проблеми організації руху потоків

пасажирів на платформах під час посадки на залізницях багатьох країн світу є поділ площі платформ на сектори – від двох до шести в залежності від країни. Найбільш поширений варіант – шість секторів: А, В, С, D, Е, F. Кожний поїзд дальнього сполучення зупиняється так, щоб визначені категорії вагонів потрапляли у розмічений сектор. Наприклад, вагони першого класу – в сектори А і В, вагони другого класу – в сектори С, D і Е. Порядок розташування вагонів у секторах для кожного поїзда вказаний на спеціальній діаграмі схем формування їх складів, що вивіщується в приміщеннях вокзалу та/або на платформах для ознайомлення пасажирів (рис. 3).

Спираючись на вищезазначений досвід, у статті запропоновано реалізувати цю практику на залізничних вокзалах України. На першому етапі впровадження проекту можливим є лише розбиття на сектори платформ позакласних залізничних

вокзалів з подальшим поширенням цієї системи орієнтування на інші вокзали мережі. Ураховуючи, що на мережі залізниць України експлуатуються швидкісні поїзди класу “Інтерсіті” та “Інтерсіті+” виробництва компаній Hyundai Rotem (серія HRCS2), Skoda та КВБЗ ЕКр1-“Тарпан”, довжина яких не перевищує 200 м прийнятним є встановлення одного сектора довжиною двох умовних вагонів

(50 м). Таким чином, для обслуговування швидкісного руху платформа може бути розбита на чотири сектори. Однак у випадку розширення цієї практики на обслуговування пасажирських поїздів прямого і місцевого сполучень звичайного руху, де максимальна кількість вагонів у складах може досягати 25 вагонів і більше, кількість секторів повинна досягати дванадцяти.



Рис. 3. Приклад діаграми схеми формування швидкісного пасажирського поїзда класу “Інтерсіті+” компанії Hyundai Rotem (серія HRCS2)

Інформаційне забезпечення такої системи орієнтування можна розділити на дві складові:

- створення в середовищі АСК ПП УЗ електронної схеми прив’язки состава кожної нитки графіка поїзда до географічного розташування назви сектора на платформі вокзалу під час руху поїзда;

- обладнання платформ знаками секторів згідно з латинською абеткою, що ідентифікують зони очікування пасажирів на платформі.

Перша складова дасть змогу оперативно та достовірно інформувати пасажирів на вокзалі через усі види носіїв зі змінною інформацією про спеціальні діаграми схем составів (можливим є навіть друкування сектора зупинки номера вагона у проїзному документі пасажирів). Однак на першому етапі впровадження системи орієнтування на платформах спеціальні діаграми схем составів можуть бути виконані у вигляді паперових карт, які повинні бути вивішені в зонах вокзалу, що

передують платформам, і на самих платформах для інформування пасажирів.

Друга складова дасть змогу безпосередньо зорієнтуватись пасажирів на платформі під час пошуку необхідної назви сектора, що відповідає зоні зупинки бажаного номера вагона. Відповідно до міжнародної практики розроблено можливий варіант дизайну знака ідентифікації назви сектора й номера колії на платформі та схема його розміщення (рис. 4).

Для підтвердження ефективності запропонованого напрямку удосконалення системи орієнтування пасажирів у статті на прикладі залізничного вокзалу Харків-Пасажирський виконано моделювання руху пасажиропотоків під час посадки у поїзд за двома сценаріями. Візуалізація побудованої сцени для моделювання посадки пасажирів у поїзд на другій колії другої платформи вокзалу Харків-Пасажирський наведена на рис. 5.

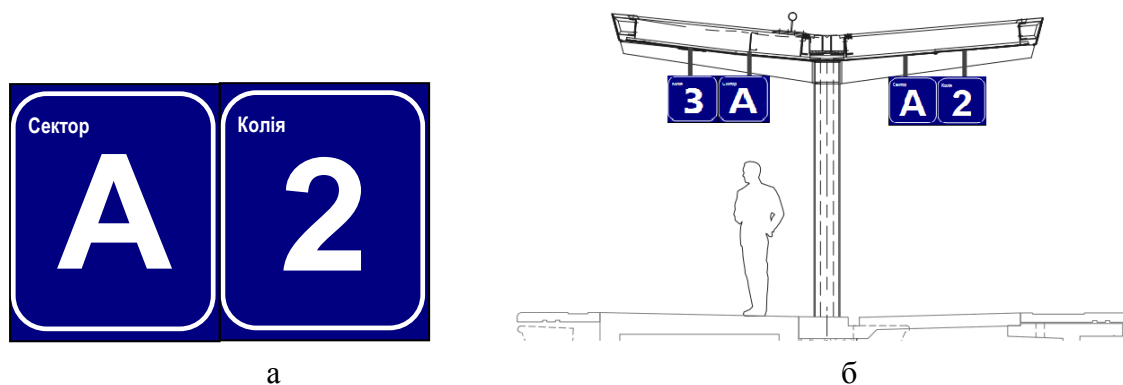


Рис. 4. Система знакування секторів на платформі: а – дизайн знака ідентифікації назви сектора та номера колії на платформі; б – схема розміщення знаків на платформі

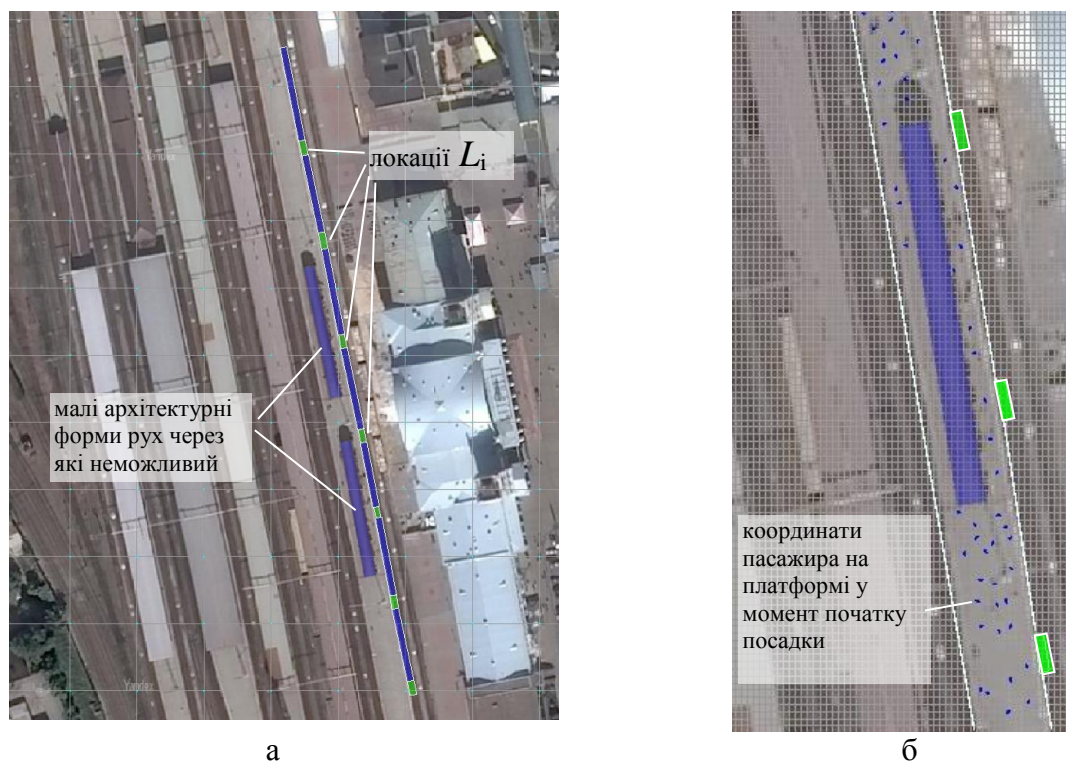


Рис. 5. Візуалізація побудованої сцени: а – загальний вигляд мапи вокзалу та сцени моделювання; б – частина платформи з нанесеною масштабною сіткою, координатами пасажирів, стінами та встановленими локаціями для посадки

Для моделювання було використано програмний продукт [25]. Вихідними даними для моделювання є площа проекції пасажирів – $0,28 \text{ м}^2/\text{люд}$; координати пасажирів, які розташовані випадково на платформі, є початком руху пасажирів; при моделюванні виконано припущення, що на

другій платформі немає людей, які можуть зустрічати; емоційний стан пасажирів у потоці – комфортний, група мобільності M_2 , яка відповідає такому діапазону швидкості V_0 : $10,93\text{-}30 \text{ м/хв}$ (для горизонтальних шляхів) [24]. Масштаб мапи і

сцени 1:50. Установлено сім локацій L_i , $i=1,7$ (кінцева мета маршруту пасажирів), які визначено на мапі сцени як прямокутники, що імітують вхідні двері пасажирських вагонів під час посадки.

Проведено два сценарії моделювання посадки у поїзд. За першим сценарієм моделюється існуюча ситуація на платформі під час посадки, коли пасажирів випадково розміщують на платформі, а їх локації за індивідуальним сценарієм можуть бути на значних відстанях. Другий

сценарій передбачає ситуацію, коли впроваджена запропонована система орієнтування на платформі залізничного вокзалу. Пасажири заздалегідь проінформовані про схему состава, а на платформах розміщені знаки найменування секторів. За цим сценарієм пасажирів розміщують поряд зі своїми локаціями не далі зони накопичення платформи згідно зі своїм сектором. Відображення маршрутів пасажирів за двома сценаріями моделювання наведені на рис. 6, а, б.

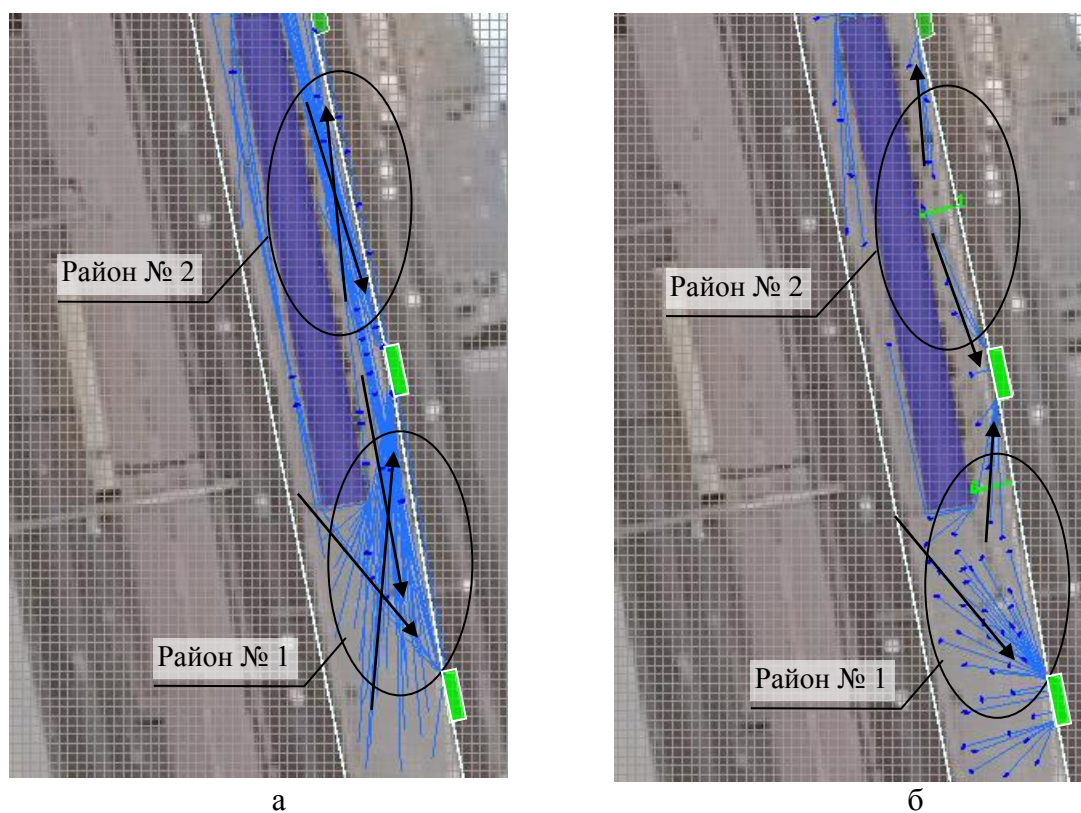


Рис. 6. Маршрути руху пасажирів за двома сценаріями моделювання:
а – сценарій посадки у поїзд без системи орієнтування;
б – сценарій посадки у поїзд із системою орієнтування на платформі

Результати моделювання показали, що час посадки за першим сценарієм складає 6,47 хв, тоді як за другим – 4,58 хв. Порівняльні результати свідчать, що за допомогою системи орієнтування можна скоротити час посадки на 29,2 % від існуючих показників. Однак головним є відсутність за другим сценарієм

перехресних маршрутів руху пасажирів під час посадки (райони № 1 та № 2 на рис. б) та зменшена дальність пересування на платформі, що значно підвищує комфорт пасажирів.

Висновки. Проведений аналіз передового досвіду функціонування залізничних вокзалів світу дав змогу

сформулювати основну стратегію впровадження системи орієнтування на залізничних вокзалах України. Описано основні принципи побудови системи орієнтування на залізничному вокзалі. Приділено увагу побудові системи знакування на залізничному вокзалі. За практикою різних залізничних компаній світу необхідним є розроблення і введення в дію спеціального стандарту (керівництва) для залізничних вокзалів України, у якому висвітлюються вимоги до специфікації нових та існуючих знаків на залізничних вокзалах. Це дасть змогу уніфікувати систему знакування та узгодити дизайн для всіх залізничних вокзалів на мережі, що дасть можливість підвищити пізнаваність

бренда компанії та самих знаків на вокзалі для пасажирів.

На прикладі моделювання руху пасажиропотоків під час посадки у поїзд доведена ефективність упровадження системи орієнтування пасажирів на платформі на основі поділу площі платформ на сектори з ув'язкою зі спеціальними діаграмами схем формування составів швидкісних поїздів. Порівняльні результати моделювання посадки пасажирів у поїзд свідчать, що за допомогою запропонованої системи орієнтування пасажирів на платформі можна значно підвищити комфорт пасажирів та скоротити час посадки у поїзд на 29,2 % від існуючих показників.

Список використаних джерел

1. Gibson, D. The wayfinding handbook: information design for public places / David Gibson. – Princeton Architectural Press, 2009. – 152 p.
2. Osborn, D. Where to go? Way to go. Passenger Terminal World, September (2006), pp 80.
3. Типовий технологічний процес з надання послуг пасажирам та організації роботи залізничних вокзалів ЦП-0048 [Текст]: наказ Укрзалізниці № 187-Ц від 29 червня 2005 р. – офіц. текст.
4. Still, G.K. Crowd Dynamics. PhD Thesis, Mathematics Department, Warwick University, August 2000.
5. Weisman J., Wayfinding and architectural legibility: Design considerations in housing environments for the elderly, In Regnier V., Peynoos J., (Eds), Housing for the elderly: Satisfaction & preferences, New York: Garland, 1982. – P. 441-464.
6. R. Golledge, R. J. Stimson, (eds), Spatial behavior, geographical perspective, The Guilford Press, New York, London, 1997. – 511 p.
7. Braaksma, J.P. and Cook, W.J. Hum an Orientation in Transportation Terminals. ASCE Journal of Transportation Engineering. – 1980. – P. 189-203.
8. Lawton, C. A. Strategies for indoor wayfinding: the role of orientation, Journal of Environmental Psychology 16, 1996. – P. 137-145.
9. Hölscher C., Büchner S., Meilinger T., Strube G., Map Use and Wayfinding Strategies, in Multi-building Ensemble, In Barkowsky T., et al. (Eds.): Spatial Cognition V, LNAI 4387, 2007. – P. 356-380.
10. Golledge, R. Human wayfinding and cognitive maps, In G. Golledge (eds), Wayfinding behavior cognitive mapping and other spatial process, The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London, 1999. – P. 6.
11. Correia, A. R. Evaluating orientation level of service at passenger terminals at major Brazilian airports / Anderson Ribeiro Correia // Journal of the Brazilian air transportation research society, Volume 3, ISSUE 2. – 2007. – P. 34
12. Boumoud, A. La grande gare contemporaine et le labyrinthe du transport multimodal: vers une nouvelle approche de la lisibilité, l'exemple de la gare de la Part-Dieu à Lyon / Abdelhakim

Boumoud // THÈSE pour obtenir le grade de docteur de l'université de Grenoble (12 déc. 2012), Publications. – 2012. – 863 p.

13. Ahn SangHyung Real-time Information System for Spreading Rail Passengers across Train Carriages: Agent-based Simulation Stud / SangHyung Ahn, Jiwon Kim, Antonius Bekti, Liang-Chuan Cheng, Emma Clark, Michelle Robertson, Roland Salita // Australasian Transport Research Forum 2016 Proceedings, 6 –18 November 2016, Melbourne, Australia. – 13 p.

14. Wayfinding in the Rail Environment: technology and Behaviour Review / Elise Crawford, Ying Wu // CRC for Rail Innovation, Old Central Station, 290 Ann St, Brisbane QLD 4000, Project No.: R3.116, 2013. – 122 p. Режим доступу: <https://www.humanrights.gov.au/sites/default/files/ATTACHMENT%203%20CARRIAGE%20WAY%20FINDING%20REPORT%20UPDATED.pdf>

15. Modak, S. K. Transport terminal design and passenger orientation / S. K. Modak, V. N. Patkar // Transportation Planning and Technology. – 1984. – 9(2):115-123.

16. Sourd, F. Modelling of pedestrian flows during dwelling: development of a simulator to evaluate rolling stock and platform flow performance /F. Sourd, C. Talotte, Y. Constans-Brugeais, A. Pillon, S. Donikian // Challenge F: Even more trains even more on time. Paris, 9 May 2011. SNCF is organising the 9th World Congress on Railway Research, WCRR, from 22 to 26 Mai 2011 in Lille. – 10 p.

17. Ahn S.-H. Real-time Information System for Spreading Rail Passengers across Train Carriages: Agent-based Simulation Stud / SangHyung Ahn, Jiwon Kim, Antonius Bekti, Liang-Chuan Cheng, Emma Clark, Michelle Robertson, Roland Salita // Australasian Transport Research Forum 2016. Proceedings 16 –18 November 2016, Melbourne, Australia. – 13 p.

18. Бутько, Т. В. Застосування нейро-нечіткого моделювання в системах підтримки прийняття рішень для оперативного корегування поїздуотворення пасажирських составів [Текст] / Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко, О.О. Журба // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2006. – № 3/2. – С. 6-9.

19. Журба, О. О. Організація пасажирських перевезень в умовах залізничних пересадочних комплексів [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.22.01 / О. О. Журба. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 191 с.

20. Crowd simulation / Daniel Thalmann, Soraia Raupp Musse // London: Springer. – 2007. – 242 p.

21. Hänseler, F. Schedule-based estimation of pedestrian demand within a railway station / Flurin Hänseler, Nicholas Molyneaux, Michel Bierlaire, Amanda Stathopoulos // Proceedings of the Swiss Transportation Research Conference (STRC), 2014. – Vol. 5(1). – P. 14-16.

22. Гофманн-Велленгоф, Б. Навігація. Основи визначення місцеположення та скеровування [Текст] / Б. Гофманн-Велленгоф, К. Легат, М. Візер; пер. з англ. за ред. Я.С. Яцківа. – Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2006. – 453 с.

23. Design Guidelines & Specifications Managed Stations Wayfinding / Network Rail. London. Version 2. Issue date: August 2011. – 123 p.

24. ДБНВ.2.2-17:2006. Доступність будинків і споруд для мало мобільних груп населення: ДЕРЖАВНІ БУДІВЕЛЬНІ НОРМИ УКРАЇНИ. – К.: Мінбуд України, 2007.

25. Бутько, Т. В. Формування моделі організації пасажиропотоків при здійсненні пересадок на залізничному вокзалі з використанням колективного інтелекту [Текст] / Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко, О.О. Журба // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – №2. – С. 57-61.

Прохорченко Андрій Володимирович, д-р техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-88.
E-mail: andrii.prokhorchenko@gmail.com.

Паламарчук Віталій Васильович, магістр групи МЗ-Tempus-16/1-1-ОПУТ, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Prokhorchenko Andrii, Doctor of technical science., Associate Professor, Department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-88. E-mail: andrii.prokhorchenko@gmail.com.
Vitaly V. Palamarchuk, Master group MR-Tempus-16 / 1-1-OPUT, Department of operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Стаття прийнята 24.05.2017 р.

УДК 624.014.2.004

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ЩО ЗАЗНАЮТЬ ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ ПОВТОРНИХ І ЗНАКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Канд. техн. наук Г. Х. Масюк (НУВГП)

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ДЕЙСТВИИ МАЛОЦИКЛОВЫХ ПОВТОРНЫХ И ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗОК

Канд. техн. наук Г. Х. Масюк (НУВХП)

ASSESSMENT OF RELIABILITY OF REINFORCED CONCRETE BEAMS IN ACTION OF SMALL-CYCLE REPEATS AND VARIABLE LOADS

Candidate of technical sciences G. Ch. Masjuk

Використовуючи експериментальні дані, виконано приклад розрахунку оцінки надійності залізобетонних балок за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень. При визначенні оцінки надійності балок було використано існуючу методіку розрахунку надійності будівельних конструкцій при дії одноразових статичних навантажень.

Ключові слова: залізобетонні балки, малоциклові знакозмінні навантаження, надійність, випадкові величини.

Используя экспериментальные данные, выполнен пример расчета оценки надежности железобетонных балок при действии малоцикловых повторяемых и знакопеременных нагрузок. При определении оценки надежности балок была использована методика расчета надежности строительных конструкций при действии однократных статических нагрузок.

Ключевые слова: железобетонные балки, малоцикловые знакопеременные нагрузки, надежность, случайные величины.

Example of calculating the reliability assessment of reinforced concrete beams under the actions repeated small cycle loads who work in different axis using experimental data. The estimates of beams reliability was used like the method of calculating the reliability of building structures under the action of single static loads. The difference between stress-strain state of reinforced concrete structures for the repeated cyclic bending action and stress-strain state of reinforced concrete beams under the long influence unambiguous static load was compare by experimental and theoretical research. Under the action of repeated cyclic alternating loads :

beams carrying capacity is reduced by 5 to 25 percent; bending moment of crack appearance decrease threefold and the width of crack increased. Expose of that action influence depends of stress level and grade of concrete . Taking into account changes in the stress-strain state of the beams for action was repeated cyclic alternating loads covered in the issued recommendations. Since the parameters deflected mode of change be it the need to assess the reliability of such beams.

Keywords: reinforced concrete beams, small cycle loads, reliability, random variables.

Вступ. Досвід будівництва й експлуатації засвідчує, що однакові будівлі й споруди, які будуються та експлуатуються в аналогічних умовах, або їхні окремі конструктивні елементи виходять із ладу в різні випадкові моменти, тобто не можна точно визначити термін служби будівельної конструкції, а можна лише оцінити ту ймовірність, з якою буде експлуатуватися ця будівля чи споруда протягом заданого періоду. Тому в методах оцінки надійності необхідна інформація про змінність параметрів навантажень, міцність будівельних матеріалів, як випадкових величин, відхилень від розрахункових моделей і т.п. Із указаних факторів навантаження і його дії являють собою найбільш невизначені величини, що мають великі статичні розкиди. У питаннях надійності будівельних конструкцій вивчення мінливості режимів навантажень відіграє при цьому головну роль.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ще в 40-50-ті роки минулого сторіччя ряд зарубіжних і вітчизняних учених приділяли увагу проблемі безпечності будівельних конструкцій, у яких як випадкові величини використовувались не тільки міцнісні характеристики матеріалів, а й параметри навантажень. Авторами робіт у ті часи з цієї проблеми були М. С. Стрілецький, В. Вержбицький, М. Плот, О. Р. Ржаніцин та ін. Дещо пізніше з проблеми надійності будівельних конструкцій проводили фундаментальні дослідження такі науковці, як В. В. Болотін, О. С. Личев, С. А. Тімашов, Ю. Д. Сухов і багато інших. Значний внесок у вирішення проблеми надійності будівельних конструкцій, будівель і споруд зробили у своїх роботах В. Д. Райзер [1,2],

А. В. Перельмутер [3-5]. На сьогоднішній день проблемі розрахунків будівельних конструкцій на надійність присвячені роботи таких науковців, як С. Ф. Пічугін і його школа [6-10], Р. І. Кінаш [11], С. Б. Усаковський [12], Ditlevsen, O. D., Der Kiureghian, A, Song, J. [13] та ін.

Мета і задачі досліджень. Визначити оцінку надійності залізобетонних балок за дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень на основі експериментально-теоретичних досліджень.

Основна частина тексту. Діючі нормативні документи [14, 15] у розрахунках залізобетонних конструкцій не враховують передісторію їх завантажень. Хоча в процесі експлуатації ряд конструкцій зазнають дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень і напружено-деформований стан їх суттєво відрізняється від н.д.с. конструкцій, що зазнають дії одноразових статичних навантажень. До конструкцій, що зазнають дії знакозмінних навантажень різної інтенсивності, слід віднести: багатопрогонові нерозрізні балки перекриття будівель, колони крайнього ряду промислових будівель, підкранові балки, опори ЛЕП, захисні оболонки АЕС, стояки потужних вітрогенераторних установок і кранових естакад, будівель в аварійних ситуаціях і т.п. Такі навантаження можуть створюватися вітровими, сейсмічними, технологічними діями, впливами попереднього напруження.

У лабораторії кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд аспірантами безпосередньо під керівництвом автора було випробувано 57 залізобетонних балок, що зазнавали дії малоциклових повторних і знакозмінних

навантажень різної інтенсивності. Балки розмірами 100x160x2000 мм виготовлено із бетонів класів С16/20, С25/30, 30/35 і армовано двома каркасами. Армування перерізу подвійне, симетричне. Як робоча арматура використовувалась арматура класів А400 і А500С діаметром 10, 12, 14 мм. Поперечна арматура використовувалась із класу В500.

Балки випробовувались за схемою «чистого згину» у віці 30 діб і старшому. Зосереджені сили прикладались у третинах прогону ступінчастим навантаженням, приріст приймався рівним 0,1 M_u (M_u – руйнівний згинальний момент за однозначного навантаження). За цією схемою навантажень досліджувалась робота і напружено-деформований стан нормальних і похилих перерізів. Режими малоциклових повторних і знакозмінних навантажень і їх характер для різних балок були різних рівнів і змінювались від 0,2 до 0,8. Експериментальні дослідження проводились у спеціальних дослідних установках, що давало змогу створювати знакозмінні навантаження в балках без зміни їх положення.

Аналіз експериментальних досліджень показав, що знакозмінні малоциклові навантаження знижують несучу здатність балок на 6...25 % порівняно з балками, які зазнавали впливу короткочасного одноразового ступеневого навантаження до руйнування. Діапазон зниження несучої здатності балок залежить від характеру режимів і рівнів завантаження. Балки випробовувались 10-цикловими знакозмінними навантаженнями (завантаження до певного рівня, розвантаження, завантаження до певного рівня другим знаком, розвантаження – 1 цикл). Найменшу несучу здатність мали балки, що зазнавали дії знакозмінного навантаження рівнів $\eta=0,65/0,8F_u$, тобто балки, які довантажувались на 5-му циклі до $\eta=0,8F_u$.

Руйнування балок відбувалося в основному по нормальних перерізах унаслідок досягнення в робочій арматурі умовної межі текучості.

Вірогідно основною причиною зниження несучої здатності балок, що зазнавали дії малоциклового знакозмінного навантаження, є порушення структури бетону, тобто порушення його ізотропних якостей у поздовжньому і поперечному напрямках, що призводить до зменшення зчеплення арматури з бетоном.

Слід зазначити, що клас бетону, з якого виготовлялися дослідні балки, суттєво впливає на їх роботу за дії малоциклових знакозмінних навантажень. Із зниженням класу бетону в перерізах балок більш інтенсивно проходять деструктивні процеси – у результаті чого різко збільшуються деформації і напруження в робочій арматурі та знижується несуча здатність.

На основі вищевикладеного визначимо оцінку надійності балок, що зазнають дії малоциклових знакозмінних навантажень на основі числового прикладу. Для розрахунку надійності візьмемо балки з найменшою несучою здатністю (середнє значення несучої здатності 20 балок).

Числовий приклад. Вихідні дані – балка має переріз з розмірами $b \times h = 100 \times 160$ мм; $\alpha = 15$ мм; $\alpha' = 15$ мм; армування подвійне по два стержні $\varnothing 10$ із класу А400 ($A_s = A_s' = 1,57$ см²), $f_{yd} = f_{yd}' = 365$ МПа; бетон класу С16/20 ($f_{cd} = 11,5$ МПа). Розрахунковий момент $M_{ult} = 7,6$ кНм (взятий із даних випробовуваних балок.)

Оцінюємо надійність балки за методикою, викладеною в [10], з дотриманням ДБН [16].

1. Статистичні характеристики матеріалів. Визначаємо їх за розрахунковими характеристиками:

- бетон С16/20
- математичне сподівання:

$$\bar{\sigma}_c = \frac{f_{cd}}{1 - 1,64 \cdot V} = 11 \cdot \frac{5}{1 - 1,64 \cdot 0,135} = 14,76 \text{ МПа} = 1,48 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

- стандарт (коефіцієнт варіації $V_c=0,135$);
- арматура А400
- математичне сподівання:

$$\bar{\sigma}_{sc} = f_y \cdot 0 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = 25 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \quad \text{дані з експериментальних досліджень};$$

- стандарт (коефіцієнт варіації $V_s=0,0436$).

Коефіцієнти варіації V_c і V_s взято з табл. 2,31 [10].

2. Числові характеристики граничного моменту. За наведеною формулою обчислюємо математичне сподівання граничного моменту:

$$\bar{M}_{ult} = \bar{\sigma}_s A_s \cdot d - \bar{\sigma}_{sc} \cdot A'_s \cdot a' - 0,5 \cdot \frac{(\bar{\sigma}_s A_s - \bar{\sigma}_{sc} \cdot A'_s)^2}{\bar{\sigma}_c - b} = 40 \cdot 1,57 \cdot 14,5 - 25 \cdot 1,57 \cdot 1,5 - \frac{0,5}{14,76 \cdot 10} (40 \cdot 1,57 - 25 \cdot 1,57) = 851,72 \text{кНсм} = 8,52 \text{кНм}$$

Визначимо коефіцієнт для обчислення стандарту граничного моменту.

$$D_{sc} = \frac{\partial \bar{M}_{ult}}{\partial \sigma_s} = \frac{A'_s}{\bar{\sigma}_c b} [\bar{\sigma}_c d b (\bar{\sigma}_s A_s - \bar{\sigma}_{sc} \cdot A'_s)] = \frac{1,57}{1,480 \cdot 10} (1,48 \cdot 14,5 \cdot 10 - 40 \cdot 1,57 + 25 \cdot 1,57) = 20,27 \text{см}^3$$

$$D_{cs} = \frac{\partial \bar{M}_{ult}}{\partial \sigma_{cs}} = \frac{A'_s}{\bar{\sigma}_c b} [-\bar{\sigma}_c b \cdot a' (\bar{\sigma}_s A_s - \bar{\sigma}_{sc} \cdot A'_s)] = \frac{1,57}{1,480 \cdot 10} (-1,48 \cdot 10 \cdot 1,5 - 40 \cdot 1,57 + 25 \cdot 1,57) = 1,35 \text{см}^3$$

$$D_c = \frac{\partial \bar{M}_{ult}}{\partial \sigma_c} = \frac{0,5}{\bar{\sigma}_c^2 \cdot b} (\bar{\sigma}_s A_s - \bar{\sigma}_{sc} \cdot A'_s)^2 = 0, \frac{5}{1,48^2} \cdot 10 (40 \cdot 1,57 - 25 \cdot 1,57)^2 = 12,66 \text{см}^3$$

Визначаємо стандарт граничного моменту

$$\tilde{M}_{ult} = \sqrt{(D_c \tilde{\sigma}_c)^2 + (D_{sc} \tilde{\sigma}_s)^2 + (D_{cs} \tilde{\sigma}_{sc})^2} = \sqrt{(12,66 \cdot 0,199)^2 + (20,27 \cdot 1,744)^2 + (1,35 \cdot 1,09)^2} = 35,47 \text{кНсм} = 0,35 \text{кНм}$$

3. Імовірність відмови балки.

Обчислюємо характеристику безпеки балки:

$$\beta = \frac{\bar{M}_{ult} - M_u}{\tilde{M}_{ult}} = \frac{8,57 - 7,6}{0,35} = 2,77$$

Імовірність відмови балки приймаємо в залежності від коефіцієнта β за табл. Д.2 [10]

$$Q(\beta) = 4,972 \cdot 10^{-4}$$

Надійність або безвідмовна робота розглянутої балки

$$P(\beta) = 0,5 + \Phi(\beta) = 0,5 + 0,4972 = 0,9972$$

Як бачимо із отриманих результатів, надійність випробовуваних балок за дії малоциклових знакозмінних навантажень досить висока.

Висновки. За результатами аналізу експериментально-теоретичних досліджень роботи і напружено-деформованого стану залізобетонних балок, що зазнають дії малоциклових повторних і знакозмінних навантажень визначено оцінку надійності балок при випробуванні вказаних навантажень. Слід зазначити, що надійність роботи таких конструкцій в процесі експлуатації буде забезпечена.

Список використаних джерел

1. Райзер, В. Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций [Текст] / В. Д. Райзер. – М.: Стройиздат, 1995. – 348 с.
2. Райзер, В. Д. Теория надежности сооружений [Текст] / В. Д. Райзер. – М.: АСВ, 2010. – 384 с.
3. Перельмутер, А. В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций [Текст] / А. В. Перельмутер. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: АСВ, 2007. – 256 с.
4. Перельмутер, А. В. Об оценке уязвимости строительных конструкций [Текст] / А. В. Перельмутер, С. Ф. Печугин // Инженерно-строительный журнал. – С.Пб., 2014. – №5(59). – С. 5-14.
5. Перельмутер, А. В. Новые направления в анализе надежности строительных конструкций [Текст]: сб. статей / А. В. Перельмутер, С. Ф. Печугин. – Саарбрюккен, Германия: Изд-во LAP Lambert Academic Publishing, 2014. – 112 с.
6. Пичугин, С. Ф. Оценка надежности статически неопределимых конструкций [Текст] / С. Ф. Пичугин, В. А. Пашинский // Вопросы надежности железобетонных конструкций. – Куйбышев, 1977. – С. 72-76.
7. Пичугин, С. Ф. Об одной оценке надежности статически неопределимых конструкций [Текст] / С. Ф. Пичугин, А. В. Семко // Надежность строительных конструкций: межвуз. сб. науч. трудов. – Куйбышев, 1990. – С. 124-126.
8. Пичугін, С. Ф. Надійність технічних систем [Текст]: навч. посібник / С. Ф. Пичугін. – Полтава: ПолтДТУ, 2000. – 157 с.
9. Пичугин, С. Ф. Оценка надежности железобетонных балок с углепластиковым внешним армированием [Текст] / С. Ф. Пичугин // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2014. – Вып. 77. – С. 153-157.
10. Пичугін, С. Ф. Розрахунок надійності будівельних конструкцій [Текст]: монографія / С. Ф. Пичугін. – Полтава: ТОВ «АСМГ», 2016. – 520 с.
11. Кінаш, Р. І. Методи нормування тимчасових навантажень та оцінювання надійності будівельних конструкцій за умов неповної інформації [Текст]: автореф. дис... д-ра техн. наук / Р. І. Кінаш. – К.: КНУБА, 2000. – 32 с.
12. Усаковський, С. Б. С какой точностью вести расчеты прочности сооружений [Текст] / С. Б. Усаковский. – К.: КНУСА, 2005. – 160 с.
13. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006743267>
14. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Оновні положення [Текст]: [чинні від 01.06.11]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
15. ДСТУ Б.В.2.6.-156. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування [Текст]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 123 с.
16. ДБН В.1.2.-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 30 с.

Масюк Григорій Харитонович, канд. техн. наук, професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне. Тел. (068) 0024720. E-mail: g.h.masyuk@nuwm.edu.ua.

Masyuk Grigoriy Kharitonovich, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Chair of Promising, Civil Liberties and Natural Resources of the National University of Water Governance, Nature Reserve, Rivne. Tel. (068) 0024720. E-mail: g.h.masyuk@nuwm.edu.ua.

Стаття прийнята 24.05.2017 р.

УДК 69.036.3

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОЕ СОСТОЯНИЕ АРХИТЕКТУРНО-КОМПОЗИЦИОННОГО КОМПЛЕКСА В ФОРМЕ ЛЕНТЫ МЕБИУСА

Кандидаты техн. наук Л. В. Гапонова, П. А. Резник,
О. А. Калмыков (ХНУГХ им. А. Н. Бекетова),
С. С. Гребенчук (ООО «Строитель»)

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН АРХІТЕКТУРНО-КОМПОЗИЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ У ФОРМІ СТРІЧКИ МЕБІУСА

Кандидати техн. наук Л. В. Гапонова, П. А. Резник,
О. О. Калмиков (ХНУМГ ім. О. М. Бекетова),
С. С. Гребенчук (ООО «Будівельник»)

STRAIN-STRESS STATE OF ARCHITECTURAL-COMPOSITE COMPLEX IN THE FORM OF MOBIUS STRIP

PhD Tech. L. Gaponova, PhD Tech. P. Reznik., PhD Tech. O. Kalmykov,
S. Grebenchuk

В данной работе проведено численное исследование НДС сложного архитектурно-композиционного сооружения в форме ленты Мебиуса, выполненного из тяжелого конструкционного бетона с вкладышами из пенополистирола. Анализ НДС проведен методом конечных элементов (МКЭ) в специализированных программных комплексах с дополнительной обработкой выходных данных. Приведена методика анализа НДС больших объемных КЭ моделей строительных конструкций с учетом концентраторов напряжений и возможности появления вырожденных КЭ в результате автоматической триангуляции.

Ключевые слова: МКЭ, напряженно-деформируемое состояние, лента Мебиуса.

У даній роботі проведено чисельне дослідження НДС складної архітектурно-композиційної споруди у формі стрічки Мебіуса, виконаної з важкого конструкційного бетону з вкладишами з пінополістиролу. Аналіз НДС проведено методом скінченних елементів (МСЕ) в спеціалізованих програмних комплексах з додатковою обробкою вихідних даних. Наведено методику аналізу НДС великих об'ємних КЕ моделей будівельних конструкцій з урахуванням концентраторів напружень і можливості появи вироджених КЕ в результаті автоматичної триангуляції.

Ключові слова: програмні комплекси, напружено-деформований стан, стрічка Мебіуса.

In this paper, a numerical study of the strain-stress state of a complex architectural and composite structure in the form of a Mobius strip, made of heavy structural concrete with polystyrene void formers, was carried out. The analysis of strain-stress state is carried out by the finite element method (FEM) in specialized software packages with additional processing of output data. The procedure for analyzing the strain-stress state of large volumetric FE models of building structures, taking into account the stress concentrators and the possibility of appearance, degenerate finite elements as a result of automatic triangulation, is given. Verification of the proposed algorithm by numerical and qualitative comparison of the results of calculations by

different software packages was carried out. The fields of stress and displacement displacements obtained in different program packages showed sufficient convergence. The possibility of using this algorithm for the analysis of strain-stress state for other complex structures.

Keywords: FEM, strain-stress state, Mobius strip.

Введение. С развитием науки в области строительства, изобретением новых технологий возведения зданий и материалов значительно расширяются возможности инженеров. Вместе с этим также растут и требования, предъявляемые к зданиям. Инженеры и архитекторы стремятся удовлетворять не только функциональным требованиям, но и эстетическим. Каждое здание рассматривается как уникальное произведение искусства. Именно поэтому простые формы отходят на второй план, а на смену им приходят более сложные пространственные конфигурации.

Но не стоит забывать, что каждое здание должно отвечать необходимым требованиям, таким как: прочность, устойчивость, надежность, экономичность и т. д. Но принятые ранее сложные конфигурации влекут за собой необходимость решения большого

количества уравнений, выполнения ряда сложнейших математических операций, которые вручную осуществить представляется практически невозможным. Определение и анализ напряженно-деформируемого состояния (НДС) в таких конструкциях является сложной и востребованной задачей [1].

Анализ последних исследований. Архитектурно-композиционный комплекс в форме ленты Мебиуса может использоваться в качестве элемента игровых и спортивных площадок, парковых комплексов и прочего. Но главным предназначением данного сооружения является демонстрация возможностей строительной отрасли. Конструкция имеет как сложную внешнюю конфигурацию (рис. 1), так и не менее интересное внутреннее строение (рис. 2), для реализации которых используется способ безопалубочного бетонирования, а именно – торкретирование.



Рис. 1. Общий внешний вид

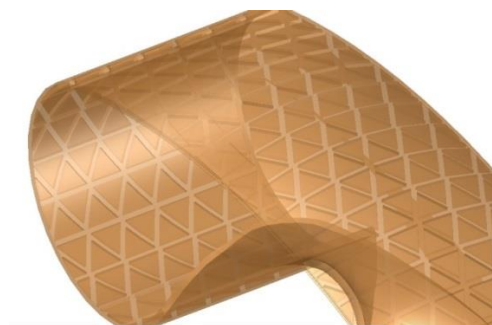


Рис. 2. Расположение вкладышей

В результате нанесения раствора образуется уплотненный слой торкрета, свойства которого отличаются от свойств бетона (торкрет обладает повышенной механической прочностью, морозостойкостью, водонепроницаемостью, характеризуется лучшим сцеплением с

поверхностью обрабатываемой конструкции). Поскольку создание криволинейной опалубки дорогостоящий, непростой и длительный процесс, требующий высококвалифицированных работников, то полный отказ от опалубки любого типа позволяет значительно

снизить финансовые расходы и временные затраты на возведение сооружения.

Раствор наносится непосредственно на арматурный каркас, сформированный таким образом, чтобы повторять очертания возводимой конструкции. Между стержнями каркаса находятся пенополистироловые вкладыши-пустотообразователи. Промежутки между вкладышами при бетонировании образуют ребра жесткости, которые обеспечивают распределение усилий и совместную работу внешних и внутренних обшивок.

Использование вкладышей позволяет облегчить конструкцию и сэкономить большой объем бетона. Но данные включения в железобетонную конструкцию меняют привычный характер работы и принцип расчета, поскольку образуется многослойная конструкция. Все эти закономерности изложены в работе «Трехслойные железобетонные конструкции» [2], написанной Майбородой и Карпюком. Необходимо учитывать характер работы связей между этими слоями. Идеальным вариантом является

обеспечение общей работы различных слоёв в местах их контакта. Эти нюансы также учитываются при расчете конструкции в ПК «ЛИРА-САПР».

Цель и задачи исследования. Цель – исследовать НДС сложного архитектурно-композиционного сооружения в форме ленты Мебиуса, выполненного из тяжелого конструкционного бетона с вкладышами из пенополистирола.

Для достижения поставленной цели решена задача сравнения НДС конструкции, модель которой выполнена из объемных конечных элементов, в ПК «Ansys» и ПК «ЛИРА-САПР».

Основная часть. Лента Мебиуса имеет сложное геометрическое строение (рис. 3). Внутреннее строение обусловлено наличием вкладышей-пустотообразователей, захороненных в тело конструкции. Общая, конструктивная толщина составляет 200 мм, приведенная – всего лишь 110 мм (с учетом ребер). Толщина наружной и внутренней обшивок – 50 мм каждая. Толщина пенополистирольных вкладышей – 100 мм.

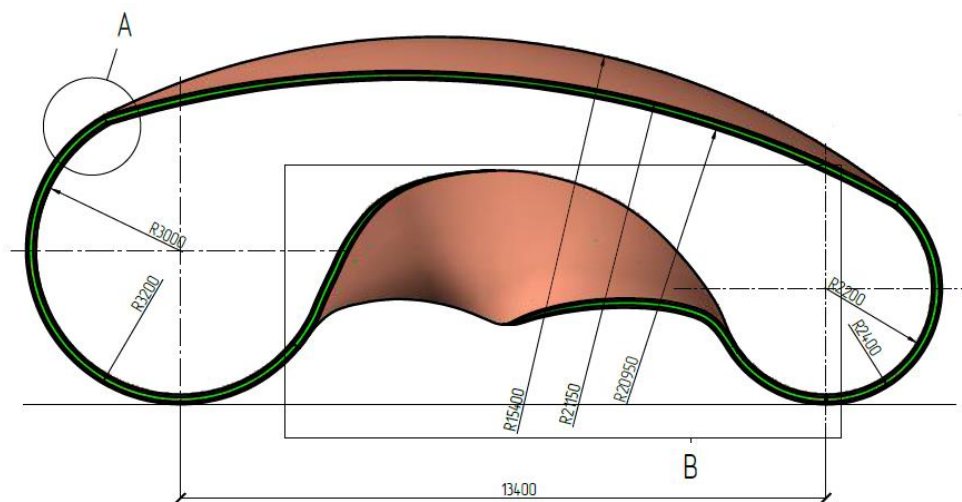


Рис. 3. Геометрические характеристики

Вкладыши-пустотообразователи имеют форму правильного треугольника, размеры которого подобраны с учетом унификации, общих габаритов

конструкции, необходимой толщины образуемых ребер жесткости.

Сооружение является многослойным только в верхней его части. Начало отсчета

положения пустообразователей определяется величиной 1 м, которая откладывается наружу от обоих опор. Остальная часть комплекса является однослойной железобетонной.

После воплощения данного проекта в жизнь он примет вид, представленный на рис. 4.



Рис. 4. Визуализация

Моделирование. Для анализа НДС рассматриваемой конструкции был выбран ПК «ЛИРА-САПР», но для создания объемной контактно-элементной (КЭ) модели было принято решение произвести триангуляцию в ПК «Ansys», а затем осуществить импортирование полученной модели в ПК «ЛИРА-САПР», для дальнейшего расчета.

Единственный формат данных объемных КЭ, поддерживаемых и ПК Ansys, и ПК ЛИРА-САПР, является .msh. К сожалению, при импорте модели, выполненной из объемных КЭ, с помощью данного формата не было получено желаемого результата.

Процедура импортирования в ПК ЛИРА-САПР из ПК «Ansys» [3, 4, 5] обычно реализуется при помощи файла с расширением .msh. При конвертации данного объекта исследования объемные элементы КЭ модели преобразовались в плоские, что делало невозможным дальнейший расчет. Следовательно,

возникла необходимость конвертации модели на входном языке процессора ПК «ЛИРА-САПР».

Последовательность действий, прежде чем исследуемая модель конструкции обрела свой окончательный вид в ПК «ЛИРА-САПР» (рис. 5):

1) возникновение идеи – разработка плоской модели будущей конструкции. Определение формы, габаритов, назначения;

2) Autodesk 3DS MAX – создание 3Д модели по разработанным ранее чертежам для визуализации и дальнейшего импорта. Модель композиционного сооружения в виде ленты Мебиуса сложно описать определенной математической закономерностью, поэтому структура формировалась графически. Как итог, получили модель, которая описана криволинейными плоскостями, но не имеет внутренней структуры [5];

3) Autodesk AUTOCAD – задание объема, внутренней структуры модели,

размещение вкладышей-пустотообразователей. Подготовка модели для дальнейшего импорта [5];

4) ПК «Ansys» – автоматическое преобразование объемной модели в КЭ модель при помощи триангуляции. Задание материалов, нагрузок и дальнейший расчет;

5) IDE Microsoft Visual Studio – написание программ для конвертации КЭ

сетки из ПК «Ansys» в ПК «ЛИРА-САПР» путем извлечения данных об узлах и элементах из модели ПК «Ansys» и преобразование их на входный язык ПК «ЛИРА-САПР»;

6) ПК «ЛИРА-САПР» – анализ полученной модели. Задание материалов, нагрузок и дальнейший расчет [6, 7, 8].

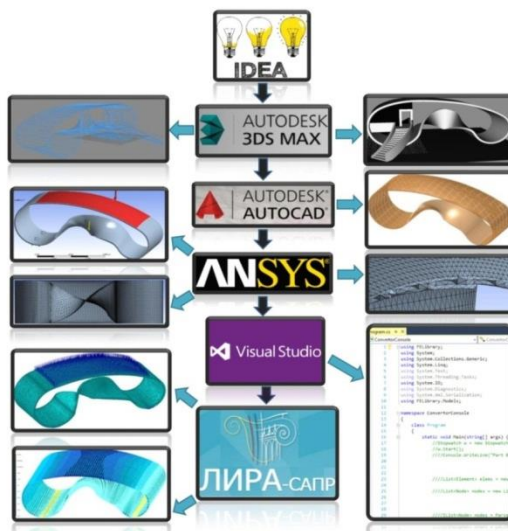


Рис. 5. Блок-схема, отображающая последовательность действий

Конечноэлементная модель содержит 41484 узла и 158226 элементов. Тип конечных элементов – 32 (тетраэдр) (рис. 6, 7).

Данный КЭ предназначен для прочностного расчета континуальных объектов и массивных пространственных конструк-

ций. В каждом из узлов КЭ имеется по три степени свободы U, V, W , представляющие собой линейные перемещения вдоль осей X_1, Y_1, Z_1 , положительные направления которых совпадают с направлением соответствующих осей [8].

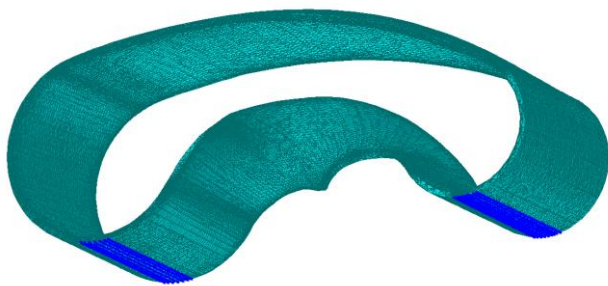


Рис. 6. Закрепления конечно-элементной модели

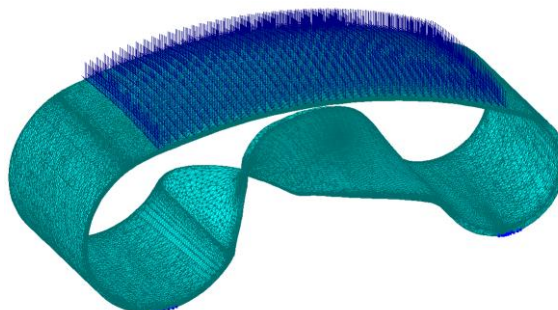


Рис. 7. Конечноэлементная модель с приложенной равномерно распределенной нагрузкой

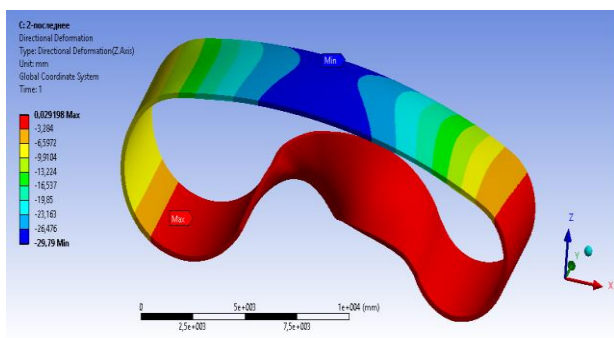
К КЭ модели были приложены равномерно распределенная нагрузка 160 кг/м^2 и собственный вес. Так как в ПК «ЛИРА-САПР» еще не реализована возможность задания распределенной нагрузки по криволинейной поверхности, нагрузка была задана в виде сосредоточенных сил, приложенных к узлам, лежащим на данной поверхности. Поскольку расположение узлов на верхней грани равномерное, то возможно моделирование равномерно

распределенной нагрузки с интенсивностью $N = q \cdot A / 2300 = 6.18 \text{ кг}$.

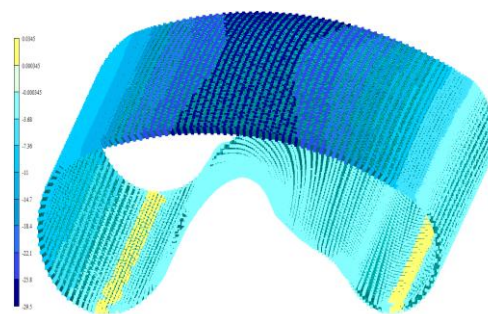
После задания жесткости, связей и нагрузки был произведен линейный расчет.

Анализ результатов. Разница при расчете перемещений (рис. 8) в ПК «Ansys» и ПК «ЛИРА-САПР» в общем составила не более 1 %.

Разница при расчете главных напряжений σ_1 (рис. 9, а, б) в ПК «Ansys» и ПК «ЛИРА-САПР» в общем составила не более 20 %.

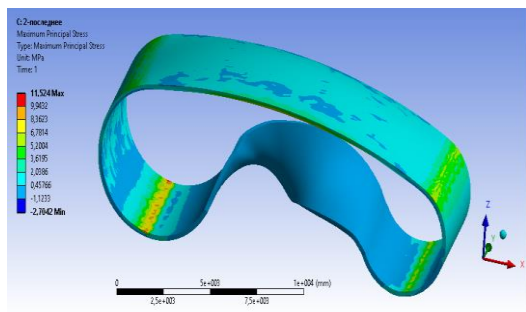


а)

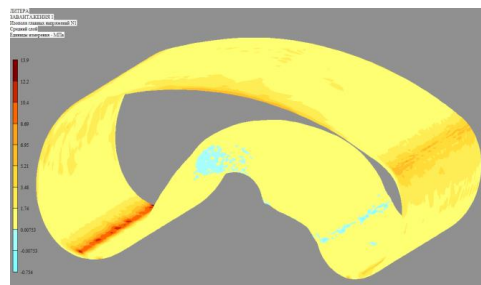


б)

Рис. 8. Изополя перемещений по оси Z: а – ПК «Ansys»; б – ПК «ЛИРА-САПР»



а)



б)

Рис. 9. Изополя максимальных главных напряжений σ_1 : а – ПК «Ansys»; б – ПК «ЛИРА-САПР»

Разница при расчете главных напряжений σ_2 (рис. 10) в ПК «Ansys» и ПК «ЛИРА-САПР» в общем составила не более 20%.

Разница при расчете главных напряжений σ_3 (рис. 11) в ПК «Ansys» и ПК «ЛИРА-САПР» в общем составила не более 20 %.

Полученные результаты расчета были проанализированы, нами были определены минимальные и максимальные значения главных напряжений и процентное соотношение элементов в зависимости от величины главных напряжений. По этим соотношениям построены столбчатые графики, показанные на рис. 12-14.

Графики наглядно показывают, что количество элементов, имеющих значения главных напряжений, близкие к

максимальным и минимальным значениям, составляет менее 0,1 %.

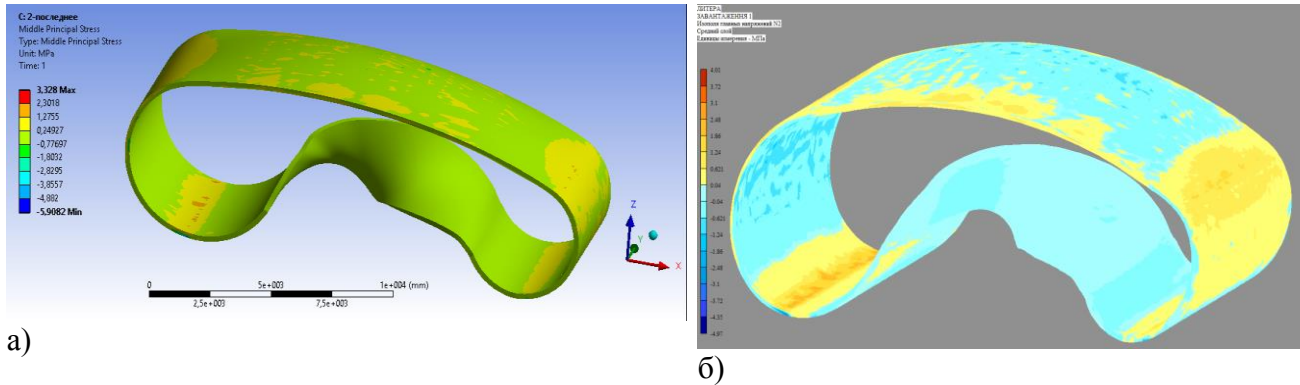


Рис. 10. Изополя главных напряжений σ_2 : а – ПК «Ansys»; б – ПК «ЛИРА-САПР»

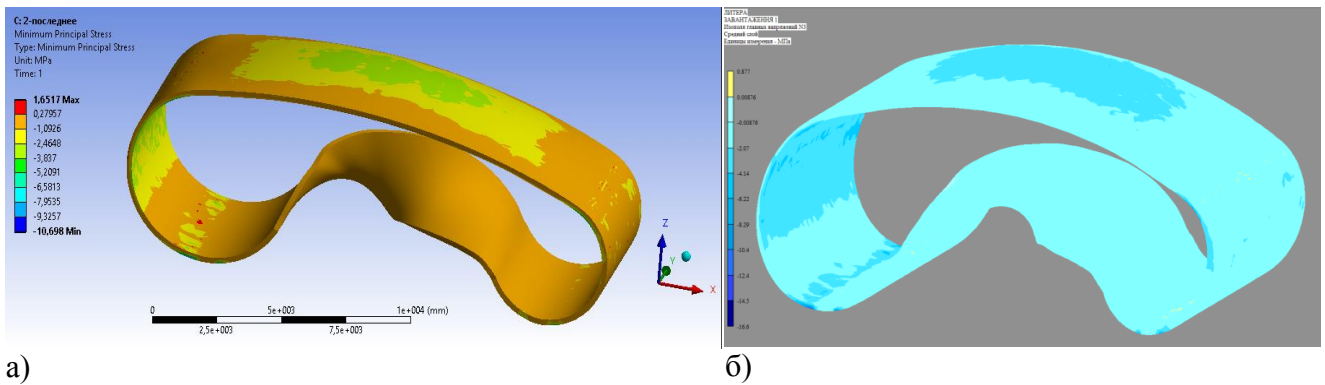


Рис. 11. Изополя минимальных главных напряжений σ_3 : а – ПК «Ansys»; б – ПК «ЛИРА-САПР»

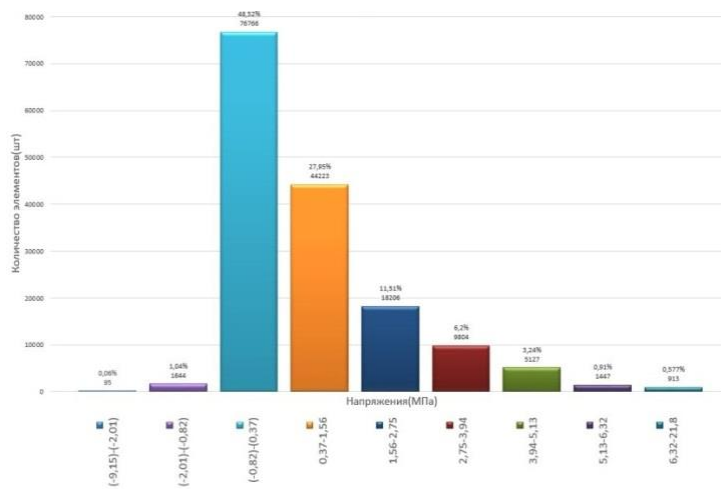


Рис.12. Количественный график элементов в зависимости от значения максимальных главных напряжений σ_1

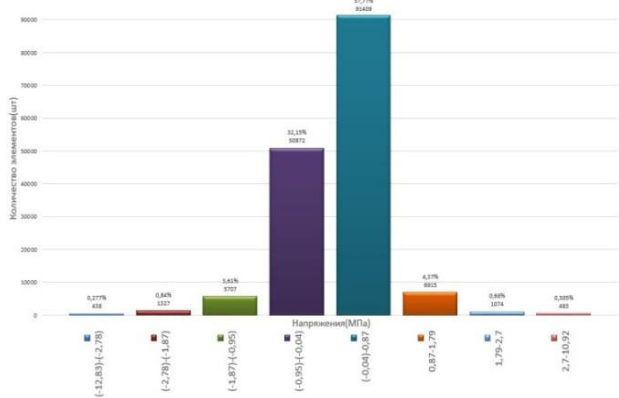


Рис. 13. Количественный график элементов в зависимости от значения максимальных главных напряжений σ_2

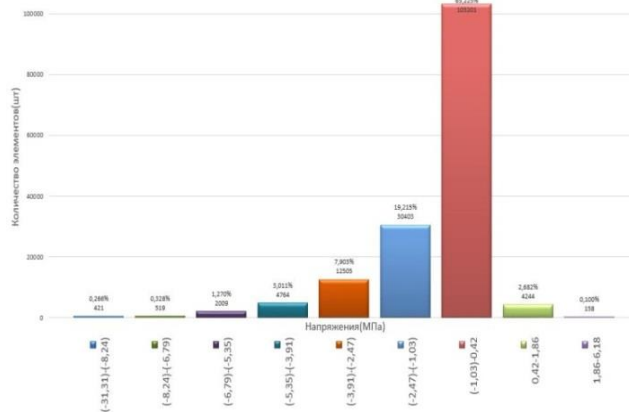


Рис. 14. Количественный график элементов в зависимости от значения максимальных главных напряжений σ_3

Выводы. Показана возможность конвертации КЭ модели сложной формы из ПК «Ansys» в ПК «ЛИРА-САПР», а также управление параметрами с помощью текстового файла на входном языке процессора. Проведено сравнение результатов, полученных при расчёте в ПК «Ansys» и ПК «ЛИРА-САПР». Сравнение показало отличия в результатах по перемещениям до

1% и более существенные отличия по главным напряжениям – до 20%.

На данный момент на площадке, предназначенной для строительства рассматриваемой в работе конструкции, проведены геодезические работы, инженерно-геологические изыскания и уже ведутся работы по устройству фундамента.

Список использованных источников

1. Sofiyev A.H., Kuruoglu N. Buckling and vibration of shear deformable functionally graded orthotropic cylindrical shells under external pressures. Original Research Article Thin-Walled Structures, Volume 78, May 2014. – P. 121-130.
2. Майборода, В. М. Трехслойные железобетонные конструкции [Текст] / В. М. Майборода, В. Ф. Карпюк. – К.: Будівельник, 1990. – 144 с.
3. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона: проблемы, опыт, возможные решения и рекомендации, компьютерные модели, информационные технологии [Текст] / А. С. Городецкий, Л. Г. Батрак, Д. А. Городецкий и др. – К.: Факт, 2004. – 106 с.
4. Explore Pervasive Engineering Simulation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ansys.com>.
5. Проектирование и расчет строительных конструкций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.liraland.ru/>.
6. Научно-исследовательский институт автоматизированных систем в строительстве Госкомградостроительства Украины. Программный комплекс Лира-Windows [Текст]: руководство пользователя. Т. IV. Раздел 3. – К., 1997. – С. 2-28.
7. Титаев, В. А. Автоматизация расчёта строительных конструкций на примере ЛИРА-подобных программных комплексов [Текст] / В.А. Титаев. – Хабаровск, 2001. – С. 146-149.

8. Демчина, Б. Г. Особливості розрахунку багатошарових плит перекриття на ПК «ЛІРА» [Текст] / Б.Г. Демчина, І.З. Рутковська, Л.І. Вознюк // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2009. – №4. – С. 179-185.

9. Представление. Проектирование. Воплощение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.autodesk.ru/products>.

Гапонова Людмила Вікторівна, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. Тел. (066) 366-00-57.

Резник Петро Аркадійович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. Тел. (050)-615-86-38.

Калмыков Олег Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. Тел. (063)-104-55-53.

Гребенчук Сергій Сергійович, головний інженер ТОВ «Будівельник», м. Харків. Тел. (050)-301-25-29.

Gaponova Lyudmila, PhD, Associate professor of the Department of Building Constructions O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv. Tel.: (066) 366-00-57.

Reznik Petr, PhD, Department of Building Constructions O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv. Tel.: (050)-615-86-38.

Kalmykov Oleg, PhD, Department of Building Constructions O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv Kharkiv. Tel.: (063)-104-55-53.

Grebenchuk Sergey, O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv. Tel.: (050)-301-25-29.

Стаття прийнята 24.05.2017 р.

УКД 656.027(477)

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ НАПРЯМКУ

Канд. техн. наук Т. В. Головка, В. В. Кудрява

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ НАПРАВЛЕНИИ

Канд. техн. наук Т. В. Головка, В. В. Кудрявая

INCREASING THE QUALITY OF SERVICE OF PARTICIPANTS FOR THE ACCOUNT OF IMPLEMENTING A SPEED MOTION AT THE RAILWAY DIRECTION

Cand. of techn. sciences T. V. Golovko, V. V. Kudriava

У статті розглянуто питання щодо підвищення якості обслуговування пасажирів за рахунок впровадження швидкісного руху на залізничному напрямку Костянтинівка-Одеса. Запропоновано варіанти раціоналізації часу прямування пасажирських поїздів. Визначена техніко-економічна доцільність впровадження швидкісного руху на магістралі Костянтинівка-Одеса.

***Ключові слова.** швидкісна магістраль, пасажирські перевезення, раціоналізація часу, стратегія диверсифікації.*

В статье рассмотрены вопросы повышения качества обслуживания пассажиров за счет внедрения скоростного движения на железнодорожном направлении Константиновка-Одесса. Предложены варианты рационализации времени следования пассажирских поездов. Определена технико-экономическая целесообразность внедрения скоростного движения на магистрали Константиновка-Одесса.

Ключевые слова: скоростная магистраль, пассажирские перевозки, рационализация времени, стратегия диверсификации.

In article questions of improvement of quality of service of passengers due to introduction of the high-speed movement on the railway direction Konstantinovka - Odessa are considered. Options of rationalization of travel time of passenger trains are offered. Technical and economic expediency of introduction of the high-speed movement on the highway Konstantinovka - Odessa is defined.

Development of high-speed and high-speed passenger traffic is one of the most important ways of development of the market of passenger traffic. It is predetermined, first, by need of removal of passenger railway communications on essentially new qualitative level which provides growth of mobility of the population, and, secondly, with need of attraction of additional passenger traffics which provides increase in profits on implementation of transportations.

For today high-speed railway transport during the organization of mass transportations of passengers surely occupies a transport niche in the range of distances up to 800 km, providing the smallest duration of stay of passengers on the way, that is the largest speed of a trip of passengers at the highest standards of safety, comfort and profitability.

Keywords: highways, passenger transport, rationalization of time, the strategy of diversification.

Вступ. Залізничний транспорт – одна із стратегічно важливих галузей транспортного комплексу України. Щоб не втратити свої позиції на ринку транспортних послуг і підвищити свою конкурентоспроможність, залізничний транспорт повинен збільшувати швидкість руху поїздів, підвищити якість послуг, що надаються, і поліпшити комфортність перевезення пасажирів до європейського рівня.

Скорочення часу перебування пасажирів у дорозі і можливості регулювання часу відправлення і прибуття поїзда вирішує впровадження швидкісного пасажирського руху на залізницях України. Таким чином, підвищення швидкості пасажирських поїздів є першочерговою необхідністю.

Аналіз попередніх досліджень. Автор статті [1] стверджує, що розбудова на території України швидкісних та високошвидкісних магістралей створить ряд конкурентних переваг не лише для

залізничного транспорту, а й всієї економіки країни за рахунок залучення додаткових обсягів транзитних вантажів. Саме тому реалізація необхідних заходів дозволить досягти синергетичного ефекту, який, з одного боку, буде проявлятися в підвищенні швидкості руху на магістралях країни, з іншого – в покращенні якості перевезень та підвищенні рівня їх безпеки, а також сприятиме закріпленню Укрзалізниці на ринку транспортних послуг. У праці [2] розроблено методичний підхід до визначення раціональних зон курсування швидкісних та високошвидкісних поїздів, який додатково враховує: стан залізничної інфраструктури та можливість її реформування; транзитний потенціал країни в пасажирському русі; стан економіки та економічний потенціал країни; привабливість інвестиційного клімату; платоспроможність різних прошарків населення; попит на користування залізничним транспортом та

стан культури населення. Врахування цих факторів дозволить підвищити ефективність впровадження та експлуатації швидкісних і високошвидкісних поїздів. Створення привабливих умов транспортного забезпечення в умовах розвитку швидкісного руху дозволить залучити на залізничний транспорт додатковий пасажиропотік з авіаційного та автомобільного транспорту, а також скоротити збитковість пасажирських перевезень на цих напрямках [3]. У роботі [4] розглядаються питання формування моделі прогнозування кореспонденцій потоків на залізничних лініях при впровадженні швидкісних пасажирських поїздів. Запропоновано процедуру настроювання моделі прогнозування на основі генетичного алгоритму з дійсним кодуванням. Проведені експериментальні дослідження підтверджують, що запропонована процедура настроювання є стійкою, прийнятно складною та дозволяє підвищити точність прогнозування. На підставі проведеного аналізу у роботі [5] визначено, що найбільш прийнятним напрямком розвитку системи швидкісних залізничних пасажирських перевезень в Україні є змішаний варіант розвитку мережі швидкісних сполучень на основі модернізації існуючих залізничних ліній для можливості руху пасажирських поїздів до 200 км/год. Даний підхід передбачає розвиток розгалуженої мережі спеціалізованих ліній, на яких поїзди здатні розвивати швидкість до 180 км/год з можливістю часткової взаємодії зі звичайною мережею. У роботі [6] розроблено методичний підхід щодо визначення оптимальних зон курсування пасажирських поїздів різних видів, який базується на зниженні їх експлуатаційних витрат та підвищенні швидкості руху при зміні організації руху за новою класифікацією поїздів, що дозволить підняти економічну ефективність або знизити збитковість пасажирських перевезень та підвищити їх

конкурентоспроможність на ринку пасажирських транспортних послуг. Для забезпечення інтеграції високошвидкісних ліній із звичайною залізничною мережею є потреба в залізничних розв'язках. Розробки та можливості японських і французьких високошвидкісних магістралей проаналізовано у праці [7]. Результати, отримані у дослідженні, свідчать про те, що в більшості країн Європи та США доцільно було б застосувати французьку модель для виконання пасажирських перевезень: є схожість з точки зору географії, розподілу населення та відстаней. Усі проаналізовані роботи доводять, що висока швидкість залізничних перевезень є життєспроможним та привабливим способом організації перевезень.

Визначення мети. Метою даної роботи є визначення техніко-економічної доцільності впровадження швидкісного руху на магістралі Костянтинівка - Одеса.

Основна частина дослідження. На сьогоднішній день швидкісний і високошвидкісний рух – це перспективний напрямок розвитку транспорту. Українська залізниця поки далека від європейських, японських та китайських швидкостей (понад 200 км/год) [8, 9]. Адже удосконалення залізничної магістралі Костянтинівка - Одеса протяжністю 932 км з середньою максимальною швидкістю руху до 120 км/год є наступним етапом організації швидкісного руху в Україні.

Запуск магістралі забезпечить скорочення часу проходження між Костянтинівкою і Одесою в 1,8 рази: з 16 годин (за існуючою залізничною інфраструктурою) до 9 годин при модернізації.

В рамках запропонованої моделі передбачається географічний поділ магістралі на чотири ділянки (рис. 1):

- Костянтинівка - Лозова-Пас. → ділянка 1 - швидкісна (немає необхідності в модернізації – 149 км);
- Лозова Пас. - Дніпро (Дніпропетровськ) – Голов. → ділянка 2 (необхідна модернізація – 152 км);

- Дніпро (Дніпропетровськ) – Голов.
 - Знам'янка-Пас. → ділянка 3 - швидкісна (немає необхідності в модернізації – 223 км);

- Знам'янка-Пас. - Одеса Головна → ділянка 4 - (необхідна модернізація – 408 км).

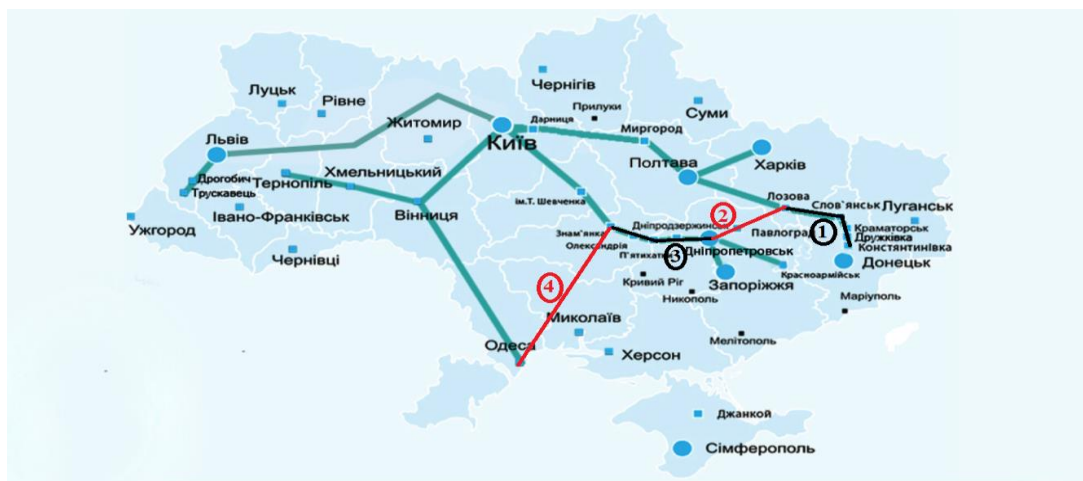


Рис. 1. Географічний розподіл магістралі на чотири ділянки

По кожній ділянці (на якій необхідно збільшити швидкість руху) намічаються заходи, що дозволяють підвищити швидкість, і визначаються необхідні для здійснення цього капітальні вкладення K .

Визначається час руху поїзда станом 0 (існуючі обмеження швидкості) і станів, на яких намічено підвищення швидкості. Обчислюється скорочення часу ходу Δt в

результаті зняття обмеження швидкості. Розраховується показник по всіх станах. Стани розташовуються в послідовності зростання. В отриманій послідовності визначаються $\Sigma \Delta t$ і ΣK .

Будується графік залежності інвестицій для отримання заданого скорочення часу руху (рис. 2).

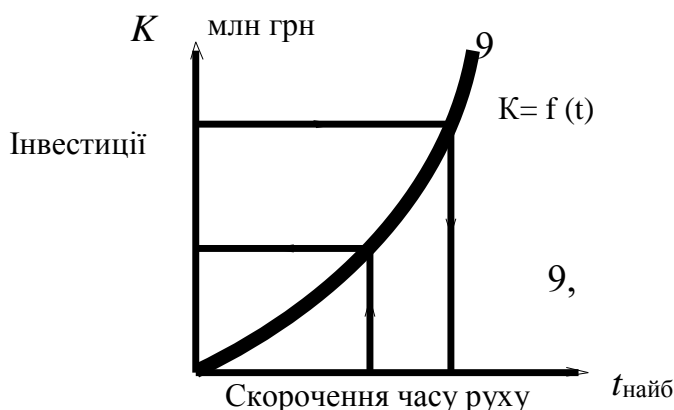


Рис. 2. Залежність інвестицій для отримання заданого скорочення часу руху

За графіком визначаються:

- максимальне скорочення часу ходу $t_{\text{найб}}$ при виділених інвестиціях на модернізацію і реконструкцію магістралі K_B з визначенням послідовності ділянок модернізації та реконструкції;

- необхідні інвестиції K_H для отримання заданого скорочення часу руху t_z і послідовність робіт, які потрібно для цього виконати.

Організація швидкісного руху поїздів на Україні сприяє розвитку науково-технічного та інтелектуального потенціалу країни, створенню нових робочих місць за рахунок розміщення замовлень на створення рухомого складу на вітчизняних підприємствах.

Техніко-економічне обґрунтування буде здійснюватися на основі порівняння конкуруючих варіантів перевезення пасажирів у напрямі Костянтинівка – Одеса

поїздами 91/92 (існуючий) та 13/14 (запропонований).

Економічний ефект від впровадження швидкісного поїзда забезпечується таким чином:

- скорочення енергетичних витрат (скорочення зупинок на шляху прямування швидкісного поїзда, збільшення швидкості руху швидкісного поїзда);

- скорочення часових витрат за рахунок зменшення вартості поїздо-години швидкісного поїзда.

Поточні експлуатаційні витрати при існуючій технології та впровадженні швидкісного поїзда

$$C = C_{en} + C_c, \quad (1)$$

де C_{en} – енергетичні витрати, грн;

C_c – часові витрати, грн.

Енергетичні витрати визначаються за формулою

$$C_{en} = ((P + Q)(\omega_o + i_p)10^{-3}L + (P + Q)(\alpha V_x)^2 10^{-6} K_3) C_{ткм}, \quad (2)$$

де P – маса локомотива, т;

Q – маса состава, т;

ω_o – основний питомий опір руху поїзда;

i_p – еквівалентний підйом на заданому напрямку;

L – відстань перевезення, км;

α – відношення швидкості початку гальмування до ходової швидкості;

V_x – ходова швидкість руху пасажирського поїзда, км/год;

K_3 – кількість зупинок на станціях для висадки пасажирів;

$C_{ткм}$ – вартість 1 ткм механічної роботи локомотива, грн.

Часові витрати на поїзд знаходяться з виразу

$$C_c = \frac{LC_{n2}}{\beta_m V_x}, \quad (3)$$

де C_{n2} – вартість поїздо-години пасажирського (швидкісного) поїзда, грн;

β_m – коефіцієнт маршрутної швидкості.

Таким чином, енергетичні витрати при існуючій технології на 2018 рік складають

$$C_{en} = ((128+1010)(4,4+1,4) 10^{-3} \cdot 932 + (128+1010)(0,75 \cdot 67)^2 \cdot 10^{-6} \cdot 16) \cdot 1,17 = 7251,13 \text{ грн.}$$

Енергетичні витрати при запропонованій технології на 2018 рік

$$C_{en} = ((172+1010)(4,4+1,4) 10^{-3} \cdot 932 + (172+1010)(0,85 \cdot 117)^2 \cdot 10^{-6} \cdot 6) \cdot 1,17 = 7557,69 \text{ грн.}$$

Часові витрати на існуючий поїзд становлять

$$C_q = \frac{932 \cdot 6547,52}{0,8 \cdot 67} = 113848,67 \text{ грн.}$$

Часові витрати на запропонований поїзд

$$C_q = \frac{932 \cdot 4910,64}{0,9 \cdot 117} = 43463,59 \text{ грн.}$$

Поточні експлуатаційні витрати при існуючій технології

$$C = 7251,13 + 113848,67 = 121099,8 \text{ грн.}$$

Поточні експлуатаційні витрати при запропонованій технології

$$C = 7557,69 + 43463,59 = 51021,28 \text{ грн.}$$

Отже, економічний ефект від впровадження швидкісного поїзда на напрямку Костянтинівка-Одеса на 2018 рік складає 70078,52 грн. Спираючись на проведені дослідження та світовий досвід, можна стверджувати, що для України буде доцільним та вигідним подальше впровадження швидкісних перевезень на всіх густонаселених напрямках. Згодом можливе поетапне збільшення швидкості руху поїздів спочатку до 200 км/год, а потім і понад 200 км/год (високошвидкісний рух), але це потребує додаткових капіталовкладень в інфраструктуру, пов'язаних з побудовою спеціально виділених залізничних колій – високошвидкісної магістралі (ВШМ). Досвід усіх здійснених проєктів ВШМ у світі показав, що в транспортних коридорах після початку експлуатації високошвидкісних поїздів відбувається перерозподіл

пасажиropотоку на користь саме високошвидкісного залізничного транспорту.

Висновок. Таким чином, розглянуто організацію швидкісних залізничних перевезень в Україні та встановлено, що сьогодні залізниці вже не повною мірою відповідають сучасним вимогам, які ставляться до транспорту, насамперед щодо тривалості поїздок. Максимальна дозволена швидкість руху пасажирських поїздів на залізницях залишається невисокою у порівнянні з європейськими залізницями. Аналіз обсягів перевезень пасажирів довів, що одним із напрямків забезпечення подальшого зростання кількості перевезень є збільшення швидкостей руху пасажирських поїздів. Відповідно до виконаних досліджень та міжнародного досвіду встановлено, що для України буде доцільним та вигідним подальше впровадження швидкісних перевезень.

Список використаних джерел

1. Корінь, М. В. Організація високошвидкісного руху як фактор забезпечення конкурентних переваг залізничного транспорту України [Текст] / М.В. Корінь // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2011. – № 34. – С. 189-194.
2. Момот, А. В. Методичний підхід до визначення раціональних швидкостей руху пасажирських поїздів та раціональних зон їх курсування [Текст] / А.В. Момот // Проблеми

економіки транспорту: зб. наук. праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2013. – Вип. 5. – С. 80-89.

3. Кішко, О. В. Удосконалення перевезення пасажирів при розвитку залізничного швидкісного руху [Текст] / О. В. Кішко, Г. М. Сіконенко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 140. – С. 55-59.

4. Пархоменко, Л. О. Процедура формування моделі прогнозування пасажиропотоків на залізничних лініях [Текст] / Л.О. Пархоменко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2013. – Вып. 5/4 (65). – С. 7-10.

5. Пархоменко, Л. О. Дослідження напрямків розвитку швидкісного і високошвидкісного пасажирського руху поїздів на залізницях України [Текст] / Л.О. Пархоменко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 145. – С. 44-50.

6. Бараш, Ю. С. Методичний підхід щодо визначення оптимальних зон курсування різних видів пасажирських поїздів [Текст] / Ю.С. Бараш, О.О. Матусевич // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2015. – Вип. 50. – С. 169-176.

7. Palacin R. High speed rail trends, technologies and operational patterns: a comparison of established and emerging networks [Text] / R. Palacin, L. Raif, Ö. Deniz., N. Yan // Transport Problems INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL. – 2014. – Volume 9. Special Edition. – P. 123-129.

8. Jianping Z. Planning and Development of High-Speed Rail Network in China // Презентація доклада на VIII всемирном конгресі по высокоскоростному залізничному транспорту. – Філадельфія, 2012. 13. Chinese high speed: in the wake of Wenzhou // International Railway Journal. 2012. – № 7. – P. 22.

9. Chinese high speed: in the wake of Wenzhou // International Railway Journal. 2012. – № 7. – P. 22.

Головка Тетяна Владиславівна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88.

Кудрява Вікторія Валеріївна, слухач НН ІППК Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (099) 329-45-13.

Golovko Tatiana Vladislavovna, PhD. Of tehn. Sciences, Associate Professor of Management of operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-88.

Kudriava Viktoriia Valeryivna, the listener NN IPPK of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (099) 329-45-13.

Стаття прийнята 26.05.2017 р.

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

**COLLECTED SCIENTIFIC WORKS OF UKRAINIAN
STATE UNIVERSITY OF RAILWAY**

Випуск 169

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

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

Відповідальний за випуск Янченко Л.В.

Редактори: Еткало О.О., Ібрагімова Н.В., Решетилова В.В.

КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Підписано до друку 30.05.2017 р.
Формат паперу А4. Папір писальний.
Умовн.друк. арк. 19,0. Тираж 105. Замовлення № .

Видавець Український державний університет залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.